5699

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LOS TUNELES DE DESVIO EN EL SISTEMA HIDROELECTRICO DE CHICOASEN

DESCARTE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

MICHELET CADET BRUNO

México, D. F. 1976

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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.

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-106

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Al Pasante señor CADET BRUNO MICHELET,
P r e s e n t e.

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ingeniero Francisco Noreña Casado, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LOS TUNELES DE DESVIO EN EL SISTEMA HIDROELECTRICO DE CHICOASEN".

I.- Descripción del sistema hidroeléctrico de Chicoasen y su localización.
II.- Justificación de la obra.
III.- Descripción del procedimiento constructivo de los tuneles de desvío.
IV.- Análisis de los precios unitarios de los tuneles de desvío.
V.- Bibliografía.

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 4 de mayo de 1976.
EL DIRECTOR

ING. ENRIQUE DEL VALLE CALDERON

EVC/GSA/'amc.

A la memoria de mi Padre,

A mi Madre

con cariño y agradecimiento

A mi hermana

A mis familiares

A Natalia

A los Ings: Francisco Noreña Casado
Carlos Castañeda Narvaez
Por sus valiosas ayudas en la elaboración de este trabajo.

A mis Maestros

con respeto

A mis Compañeros

A mis amigos.

I N D I C E

PAGS.

INTRODUCCION 1

CAPITULO I

1.- Descripción del Proyecto CHICOASEN y su localización 3

CAPITULO II

2.- Justificación del Sistema Hidroeléctrico. 14

2.1.- Disponibilidad actual de las fuentes de energía. 14

2.2.- Generación de Energía eléctrica y rentabilidad del Sistema Hidroeléctrico de CHICOASEN. 21

CAPITULO III

3.- Procedimiento constructivo de los túneles de Desvío. 24

3.1.- Análisis de alternativas para la construcción de los túneles de desvío. 24

3.2.- Secuela para la construcción de los túneles - de desvío. 29

3.2.1.- Trazos. 29

3.2.2.- Instalación del equipo de perforación y barrenación. 31

3.2.3. Carga y detonación de los explosivos. 32

3.2.4.- Ventilación. 32

3.2.5.- Acarreo de los materiales producto de la explosión. 35

3.2.6.- Fijación de los túneles. 36

CAPITULO IV

4.- Precios Unitarios y Presupuesto de los Túneles de Desvío 37

Conclusión. 74

Bibliografía. 75

túnel por construir al día crean una situación sin precedente en México.

La intención de este trabajo es mostrar una secuela de cálculo de - Precios Unitarios para los túneles que sirven de obras de Desvío.

Se espera que sea de valía tanto a estudiantes como a profesionis-- tas.

CAPITULO I

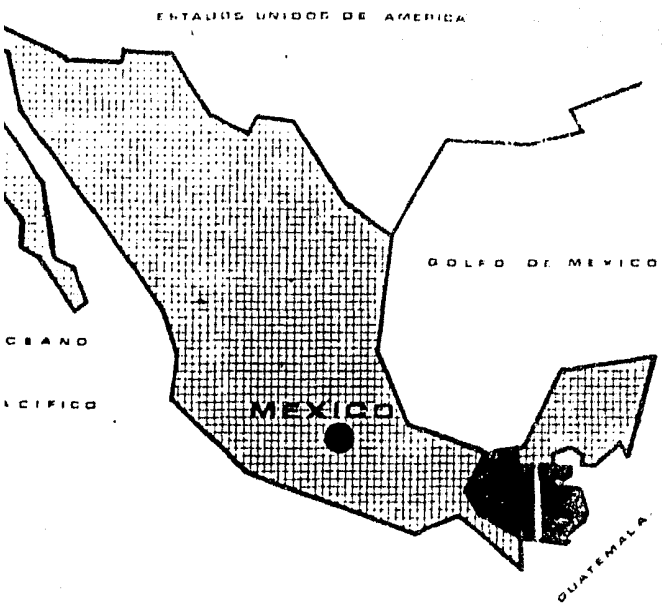
1.- DESCRIPCION DEL PROYECTO CHICOASEN Y SU LOCALIZACION.

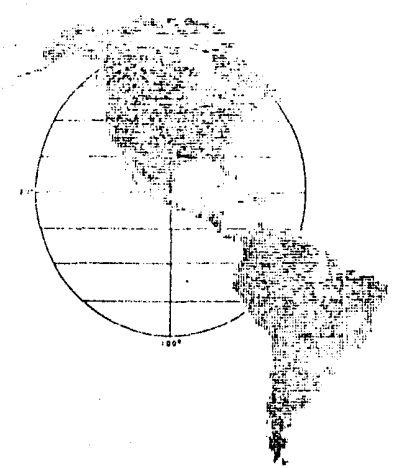
El Sistema Hidroeléctrico CHICOASEN está localizado en las cercanías de un Pueblo llamado precisamente "Chicoasén", que se encuentra en la región sureste de México, en el Estado de Chiapas, comprendido entre los 14^{o} 50' y 18^{o} 45' de latitud norte y entre los 89^{o} 04' y 94^{o} 13' de longitud oeste; se puede observar también que este Sistema está ubicado en la parte media del caudaloso Rio Grijalva, entre las Plantas Hidroeléctricas de la Angostura y Malpaso La Figura # 1 muestra la localización de este Sistema en la República Mexicana.

En lo que respecta a CHICOASEN, está relativamente cerca de la Capital Chiapaneca, Tuxtla Gutiérrez; una carretera de 80 Kms. lo separa de aquella. Una planta general del proyecto CHICOASEN puede verse en la figura # 2. La mayor parte de la obra se encuentra dónde concluye el "Cañón del Sumidero", una zona con pronunciados estrechamientos, como se puede ver en la figura # 3.

Es de importancia señalar también que el Sistema Hidroeléctrico CHICOASEN está dentro de la Cuenca Grijalva - Usumacinta, que abarca parte de los estados de Chiapas, Tabasco, Campeche, Veracruz y Oaxaca y que tiene una parte dentro del territorio Guatemalteco y una pequeña zona en Honduras Británicas.

El Proyecto CHICOASEN consta, a grandes rasgos, de las siguien-





CUENCA – GRIJALVA – USUMACINTA

Figura No. 1

LIZACION

tes partes:

1) La Cortina. - Es una estructura que se coloca perpendícular al lecho del Río, como obstáculo al flujo del mismo, con objeto de formar el almacenamiento y una derivación. En efecto, la presa será de materiales graduados con corazón impermeable. La descripción total de la Cortina puede verse en la figura # 4.

2) La Obra de Desvío. - Esta obra tiene como función primordial, desviar el Rio de su cauce original para poder trabajar en seco, en el sitio de la Cortina y manejar la avenida de diseño; consta principalmente de dos ataguías, una aguas arriba, otra aguas abajo, de un túnel auxiliar de desvío en la margen izquierda del Rio Grijalva y de dos túneles de desvío en la margen derecha del mismo.

3) La Obra de Excedencia. - La finalidad de esta obra es la de controlar la descarga de los volúmenes de agua que no pueden almacenarse dentro de la capacidad útil de la --

planta general

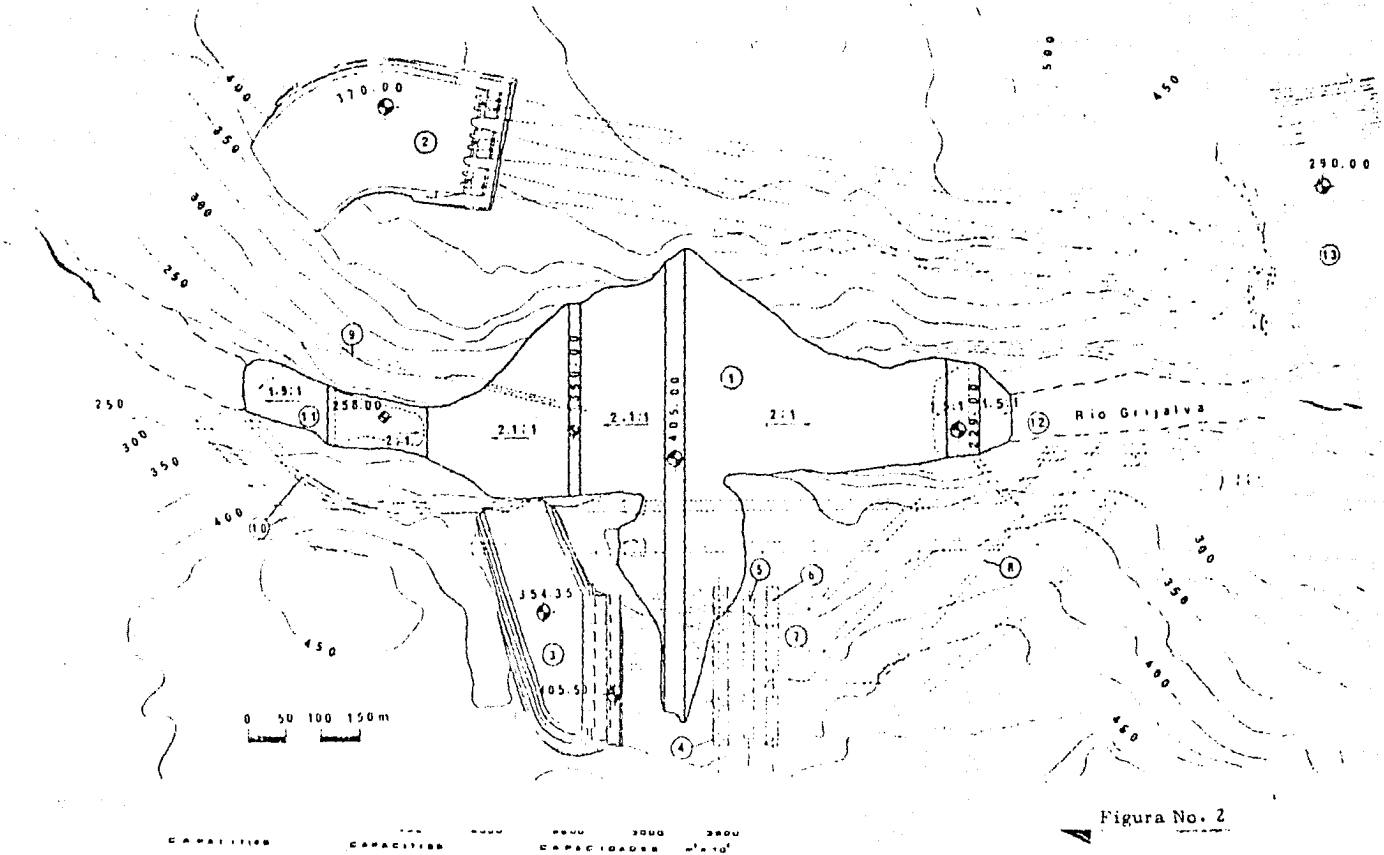


Figura No. 2

presa y así evitar que aquella sea dañada;- es de mencionarse que la obra de excedencia debe tener la capacidad hidráulica suficiente y su descarga estar localizada de tal suerte que no erosione el talud aguas abajo de la Cortina, el desfogue de la casa de máquinas y cualquier otra estructura adyacente.

Es de importancia también que las superficies de la obra de excedencia, sean resistentes a la erosión para soportar las altas velocidades creadas.

La obra de excedencia está constituída básicamente de tres vertedores en túnel, alojados en la margen izquierda y controlados por compuertas radiales.

4) La Planta Hidroeléctrica. - Esta planta está localizada en la margen derecha del Río Grijalva y consta de la obra de toma, conducción a presión, casa de máquinas subterránea, galería de transformadores, galería de oscilación, túneles de desfogue y subestación eléctrica.

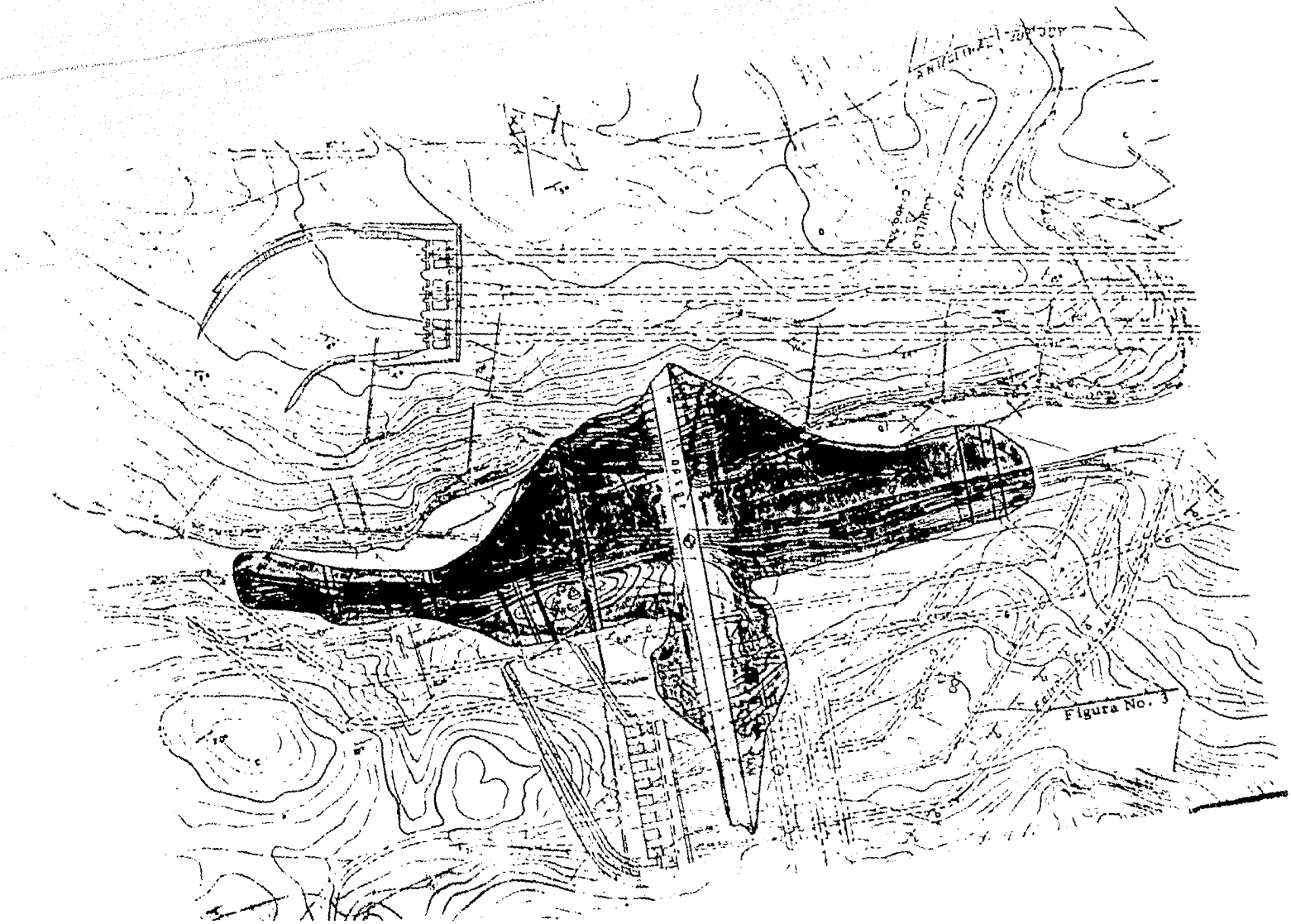


Figura No. 3

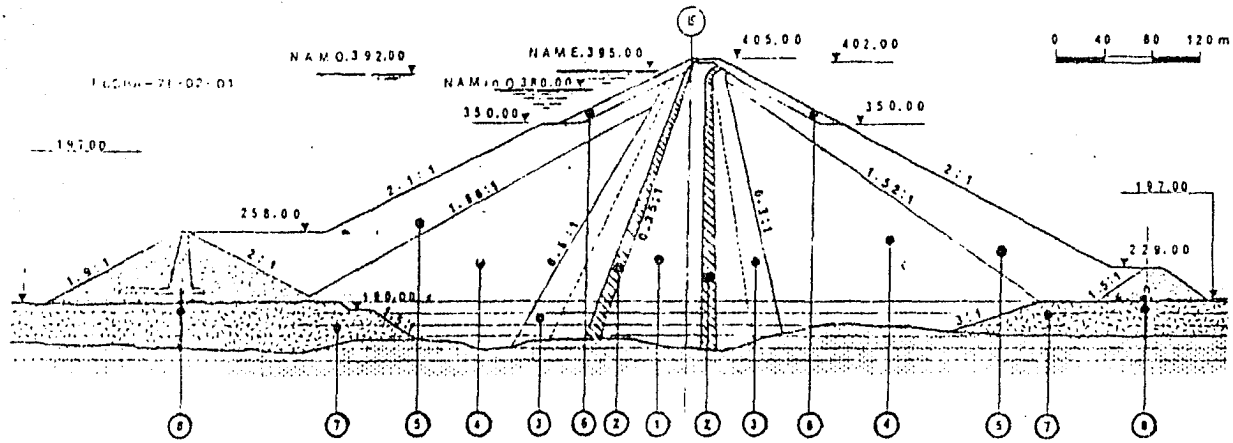
a) Obra de Toma: Esta obra consiste de un canal de acceso y ocho tomas independientes; tendrá como función principal la de controlar la extracción del agua de la presa en cantidades adecuadas y en el momento necesario para su conducción a la Planta Hidroeléctrica.

b) Conducción a Presión: El objeto de la conducción es llevar el agua desde la toma hasta las turbinas; este cometido debe conseguirse tomando en cuenta el aspecto económico; para eso, es muy importante que las pérdidas de carga y de caudal sean mínimas y que el costo sea también mínimo. La conducción consta de ocho tuberias de acero, que se encontrarán alojadas en túneles excavados en las rocas. En la Figura # 5, se puede apreciar la conducción a presión en sus diferentes cortes.

c) La casa de Máquinas Subterránea: Se puede decir que esta casa de máquinas tendrá dos partes principales:

1) La subestructura cuya finalidad será la de soportar el equipo hidráulico y eléctrico.

CORTINA DAM BARRAGE



SECCION MAXIMA DE LA CORTINA
MAXIMUM DAM CROSS SECTION
SECTION MAXIMALE DU BARRAGE

① ARCILLA COMPACTADA	COMPACTED CLAY CORE	NOYAU ARGILE COMPACTEE
② FILTRO COMPACTADO	COMPACTED FILTERS	FILTRES COMPACTES
③ TRANSICION COMPACTADA	COMPACTED TRANSITION	ZONE DE TRANSITION COMPACTEE
④ ENROCAMIENTO COMPACTADO	COMPACTED ROCKFILL	ENROCHEMENTS COMPACTES
⑥ ENROCAMIENTO ACOMODADO CON TRACTOR	TRACTOR DUMPED ROCKFILL	ENROCHEMENT EN VRAC
⑤ ENROCAMIENTO DE GRAN TAMAÑO	LARGE ROCKFILL	GROS ENROCHEMENTS
⑦ ALUVIONES	ALLUVIUM	ALLUVION
⑧ [illegible]	IMPERVIOUS SOIL	[illegible]

Figura No. 4

2) La superestructura que alojará el equipo y lo protegerá contra el medio ambiente.

Es de mencionarse que esta casa de máquinas - tendrá la clave de su bóveda a una gran profundidad, respecto al nivel del terreno natural (ver figura # 5).

d) La galería de Transformadores: Es una galería subterránea, en la cual se alojarán -- los banco trifásicos de transformadores.

e) Las galerías de oscilación: El objeto principal de las galerías de oscilación será la de proteger las turbinas contra el golpe de ariete producido por un cierre o apertura- rápidos debido a alguna falla en el Sistema.

Se utilizará dos galerías:

La primera para 5 unidades

La segunda para 3 unidades

Esas galerías serán subterráneas y serán- excavadas en roca.

f) Obra de desfogue: Esta consistirá de 3 túneles que tendrán como finalidad la de desalojar el agua que sale de la casa de máquinas en forma eficiente hasta el Río.

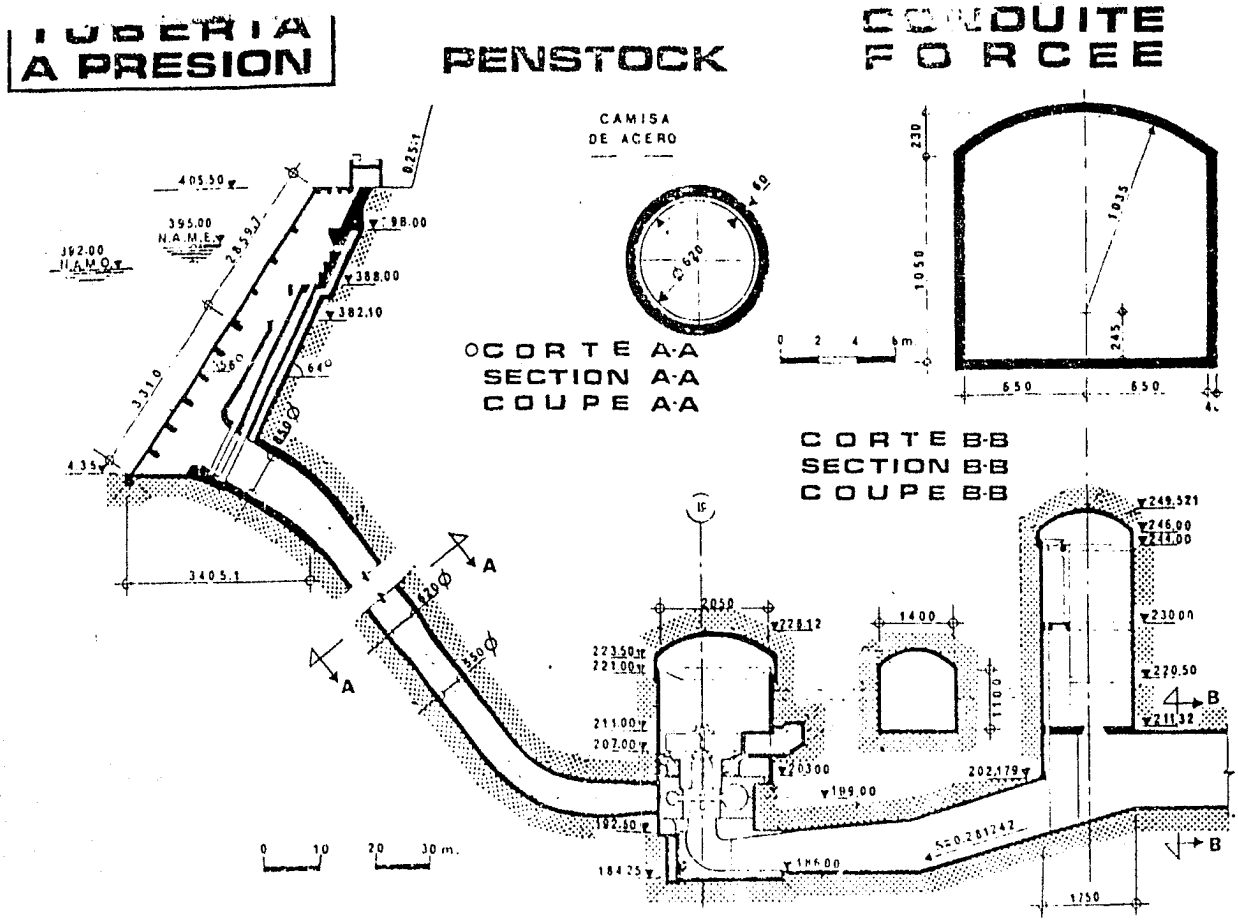
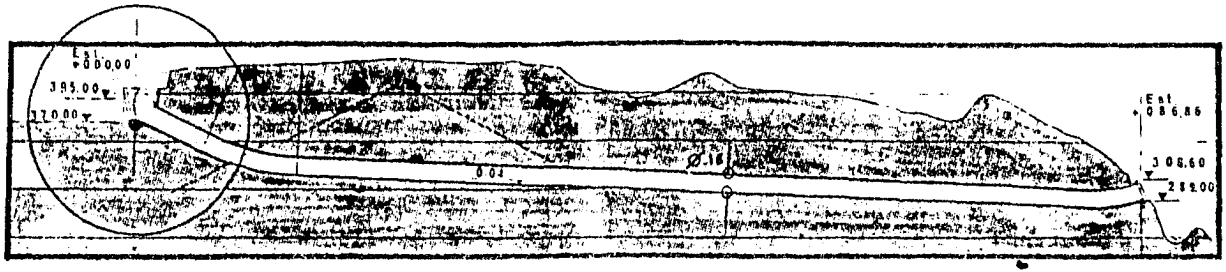


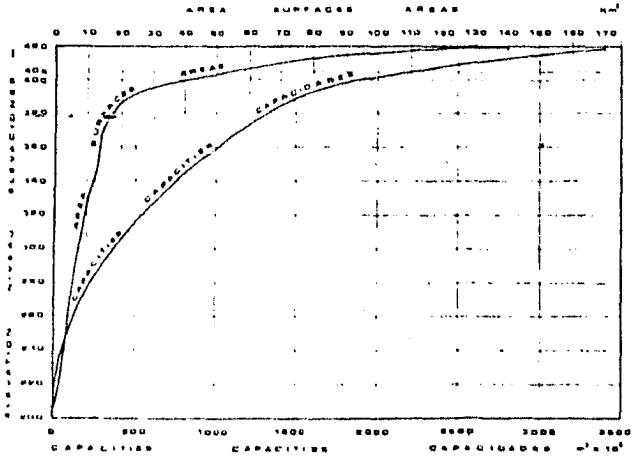
Figura No. 5

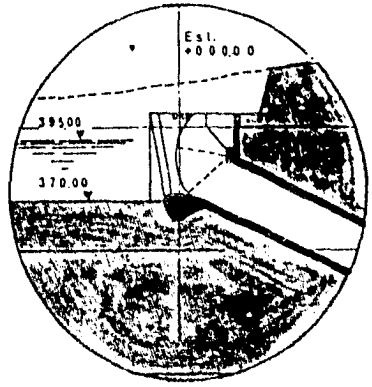
PERFIL LONGITUDINAL LONGITUDINAL PROFILE PROFIL EN LONG .



0 10 20 30 M.

PERFIL LONGITUDINAL LONGITUDINAL PROFILE PROFIL EN LONG





CAPITULO II

2.- JUSTIFICACION DEL SISTEMA HIDROELECTRICO.

Es indudable que hoy en día, la electricidad representa una fuerza indispensable en toda la estructura compleja de la vida moderna. La expansión de México podría verse seriamente limitada por el hecho de que las Plantas originales destinadas a satisfacer el consumo en los mercados de los sistemas volviesen insuficientes e incapaces de hacer frente a las crecientes demandas.

Sin embargo, dada la magnitud de este proyecto, se tiene que hacer un estudio muy profundo para ver la justificación de la obra, ya que las inversiones para llevar a cabo el proyecto son considerables.

2.1. Disponibilidad actual de las fuentes de Energía.

En la actualidad, el uso de la energía es decisivo para la productividad y el desarrollo de cualquier país. Inclusive, se ha llegado hasta tomar la relación de energía, es decir, la potencia disponible per cápita, como índice de progreso. En cuanto a México, el crecimiento demográfico y el acelerado desarrollo industrial que ha experimentado este país en las últimas décadas, han traído como consecuencia una necesidad cada vez mayor de energía eléctrica. Se ha visto que el incremento anual en la demanda de energía eléctrica es de 10%. Después de un análisis profundo de la situación, se ha llegado a la conclusión de que para alcanzar -

el objetivo, que es la de producir energía electrica,hay varias - alternativas, ya que se puede producir aquello utilizando varias fuentes de energía.

Esas fuentes de energía están lejos de ser reducidas y las principales son las siguientes:

1) La Energía Solar. - Esta energía puede considerarse en sus dos formas, energía térmica y energía luminosa; tiene como característica principal la intermitencia y la poca intensidad de - la radiación solar que llega a la tierra. La energía solar, bien puede aprovecharse en la refrigeración, en aparatos de cocina- y sobre todo en generación de electricidad. En un lugar donde- el sol brilla con frecuencia, es posible utilizar los rayos solares para calefacción y el accionamiento de los motores; sin embargo puede afirmarse que estas aplicaciones no son todavía -- prácticas desde un punto de vista económico.

Es de señalarse que en los últimos años, los conocimientos -- científicos y técnicos sobre la utilización de la energía solar - han progresado bastante, pero la posibilidad de utilizar en forma económica y comercial, la energía térmica y luminosa del sol, hasta la fecha solamente se hace en pequeña escala y no ha resultado comercial, por la competencia de los combustibles fósiles, sólidos, líquidos y gaseosos, a partir de los cuales, se puede obtener energía en sus diferentes formas, mucho más fácil y económicamente, a pesar de la crisis actual -

de energéticos.

Así en México, no es económico actualmente el aprovechamiento directo de la energía solar para fines comerciales; además en el caso de producción de electricidad, hasta ahora solamente es posible transformar en un 10% de la energía solar en forma de calor, lo que constituye un obstáculo considerable para su uso.

2) La Energía Eólica.- Desde luego, se puede transformar la energía eólica en energía eléctrica.

La energía cinética de una masa de aire puede transformarse en energía mecánica y a su vez en energía eléctrica, mediante los mecanismos y aparatos adecuados. La capacidad en Kilovatios de una instalación que aproveche la energía eólica depende de la velocidad característica del viento, de la superficie de trabajo del motor y del rendimiento mecánico del conjunto de la maquinaria de conversión. Es cierto que para aprovechar la energía eólica con éxito, es indispensable que exista viento en abundancia; o sea se debe escoger un sitio de máxima cantidad y velocidad de viento. Así es indispensable hacer investigaciones de las características del viento en diferentes sitios y a diferentes elevaciones del suelo, por periódos de tiempo bastante largos, con objeto de conocer las condiciones de óptimo aprovechamiento y para la producción de electricidad, intentar disminuír las distancias de transmisión.

En cuanto a México, la utilización actual de la energía eólica se reduce a pequeños generadores para corriente continua y a elevación de agua de pozos.

La utilización de la energía eólica para generar energía eléctrica en gran escala no es posible en este momento, ni en un futuro inmediato, ya que se encuentra en la etapa de investigaciones previas; en efecto la Comisión Federal de Electricidad tiene instalados anemémetros con fines de investigación en diferentes lugares de la República, como Bahía de Quino en Sonora, Topolobampo en Sinaloa, la Ventosa en Chiapas, la Rumorosa en Baja California, Cd. Gúzman en Chihuahua, Juchitlán en Oaxaca.

3) La Energía Térmica de los Mares.- En México, sobre todo en las zonas tropicales se presentan condiciones favorables para que, debajo de las aguas superficiales calentadas por el sol, existan aguas frías localizadas a una profundidad de acuerdo con su densidad y provenientes de corrientes que están en comunicación con los mares polares. Las condiciones necesarias para el aprovechamiento de la energía térmica de los mares es un desnivel térmico de alrededor de 20° C. como mínimo y de acuerdo con la técnica de utilización escogida, es posible obtener subproductos muy valiosos que abaratan la producción de energía.

En México se considera que las zonas adecuadas para el aprovechamiento de la energía térmica de los mares son:

En la costa oriental Tampico

En la costa occidental, los lugares entre Mazatlán y Guatemala.

Sin embargo, todavía la producción de energía eléctrica a partir de la energía térmica se encuentra en etapas de investigaciones básicas y por lo tanto no económicas.

4) La Energía Geotérmica. - Esta energía se refiere al calor interno de la tierra; sin embargo, actualmente se aplica al aprovechamiento del agua o vapor del subsuelo y a procesos para su conducción y utilización en la generación de energía eléctrica. En - Zonas relacionadas con procesos volcánicos recientes o afectadas por fenómenos tectónicos, se puede observar manifestaciones de disipación de energía, presentadas por manantiales termales, escapes de vapor y volcanes de lodo. México es una zona del planeta muy propicia para las manifestaciones geotérmicas. Es de -- mencionarse que la Comisión Federal de Electricidad tiene más- de 120 focos termales localizados en el país de los cuales han sido investigados:

Pathe en Hidalgo, en donde existe instalado una turbina experi-- mental.

Ixtlán de los Hervores, Michoacán.

Cerro Prieto en Baja California.

Así, dadas las condiciones favorables que se presentan, en el país para manifestaciones geotérmicas, con probabilidades de aprove

chamiento económico, se está desarrollando un programa amplio de investigación y de instalación de unidades turbogeneradoras.

Sin embargo, actualmente y para un futuro inmediato, no sería económico generar energía eléctrica a partir de la energía geotérmica.

5) La Energía Nuclear.- Se puede decir que es la energía calorífica desarrollada en la fisión nuclear de determinados materiales radioactivos; usando esta energía calorífica y con la ayuda de turbina-generador, se obtiene la energía eléctrica. Es de señalarse que la cantidad de energía que actualmente puede producirse de la unidad - de masa de uranio, varía mucho de acuerdo con el tipo de reactor y el proceso de combustión del propio reactor.

Es indudable que México posee gran cantidad de uranio; tal vez la - energía nuclear sea la que satisfaga las necesidades cada vez más-grandes de electricidad. Desafortunadamente, las dificultades técnicac existentes para producir este tipo de energía aún no han sido-superadas; además los costos tan elevados de las instalaciones nucleares. para generación de energía eléctrica, obtenidos en Estados Unidos, Francia. Inglaterra, hacen más difícil, el pensar en -- una utilización práctica de la Energía Atómica por el momento, sobre todo cuando se trata de electrificación a nivel nacional. Cabe-señalar que existe una planta nuclear, la Laguna Verde, en Veracruz, pero es más bien de tipo experimental.

6) La Energía Térmica.- Es la Energía proveniente de los combus

tibles fósiles, tales como el carbón, petróleo y sus derivados. Actualmente esos combustibles constituyen las fuentes principales de energía.

Es de mencionarse el hecho de que sean fuentes no renovables, hace que aún en los países con grandes reservas, dificilmente puedan cubrir sus necesidades para un futuro lejano. Además la actual crisis de los energéticos ha puesto en duda la factibilidad económica para la generación eléctrica a partir de la energía térmica de los combustibles.

7) La Energía Hidráulica.- Es la energía de posición del agua, adquirida debido a la radiación solar y a desniveles terrestres, que es transformada a energía cinética, después a energía mecánica y eléctrica. En México, la cantidad de rios es numerosa, de ahí la importancia de los aprovechamientos hidroeléctricos, ya que se usa recursos naturales renovables.

La tendencia actual es la de usar la energía hidráulica, ya que aquella proporciona soluciones económicas, con costos de producción, operación y mantenimiento, relativamente bajos.

Como se puede ver, los estudios tendientes a localizar sitios adecuados para ejecutar proyectos hidroeléctricos se justifican, ya que permiten la continuación del desarrollo de la Industria eléctrica requerido por el país, adoptando las soluciones más económicas.

2.2.- Generacion de Energía Eléctrica y Rentabilidad del Sistema Hidroeleéctrico de CHICOASEN.- El Proyecto Hidroeléctrico CHICOASEN, podrá generar dos millones cuatrocientos mil Kw.; podemos afirmar que es el equivalente a la quinta parte de la energía eléctrica que actualmente se produce en México, por lo que se destaca la importancia de la Construcción de este Sistema.

En cuanto a la factibilidad económica de este proyecto, dentro del área del aprovechamiento hidroeléctrico, se han tomado en consideración las alternativas con capacidades de 1,800 y 2,400 Mw, adicionalmente se ha considerado también la posibilidad de la instalación de una planta termoeléctrica, con turbinas de gas, que sería capaz de generar los mismos dos millones cuatrocientos mil Kw.

Para la planta hidroeléctrica de 2,400 Mw, se ha hecho el análisis económico de su construcción con una vida útil de 50 y 30 años para las obras civiles y electromecánicas.

Para la planta termoeléctrica, se ha considerado una vida útil de 30 años para la obra civil y 20 años para las turbinas de gas.

Es de mencionarse que el presupuesto de la cortina y de la obra de excedencia en los aprovechamientos hidroeléctricos asciende al 50% del total de las obras civiles.

Al analizar las diferentes alternativas hidroeléctricas, no se ha apreciado una diferencia más del 10% en cuanto a costo de obra civil, lo que significa que la diferencia principal estriba en las obras

electromecánicas.

En conclusión, el costo total es del 93% para la planta de 1,800 Mw. respecto al costo de la planta de 2,400, lo que significa que el Kw.-instalado en la planta de 2,400 Mw. resulta más económico en un 12 %.

Para la toma de decisión, en una primera etapa, se ha tomado en cuenta los precios vigentes del combustible en el mercado nacional y se ha llegado a la conclusión de que la Planta Termoeléctrica y las turbinas de gas tienen un costo anual mayor al 40% sobre el de los proyectos hidroeléctricos.

En una segunda etapa, se ha hecho el análisis tomando en cuenta los precios internacionales resultando aquí 43% más costosa que el primero.

En una tercera etapa, se ha calculado las tasas internas de rendimiento para los proyectos hidroeléctricos y la termoeléctrica, llegando a las siguientes conclusiones:

CHICOASEN	2,400 Mw.	16.81%
CHICOASEN	1,800 Mw.	16.15%
PLANTA TERMOELECTRICA	2,400Mw.	12.35%

En una cuarta etapa, se han hecho estudios sobre las relaciones de-beneficio-costo para diferentes casos de financiamiento y también se ha concluído que, a medida que mejoran los plazos y costos, es mayor el beneficio para la economía en general.

Se deduce de estos estudios, desarrollados a una tasa de interés del 12% anual, que es más ventajosa la instalación de una planta de 2,400 Mw., que la de 1,800 Mw.

Un estudio hecho por el Sistema Integrado de Planeación del Sector Eléctrico (S. I. P. S. E.), consistente en una serie de modelos matemáticos para el estudio y la planeación de los sistemas hidroeléctricos a corto, mediano y largo plazo, revela que la alternativa de 2,400 Mw. es la más conveniente.

Como se puede observar, el análisis de las diferentes alternativas demuestra claramente que el proyecto hidroeléctrico de dos millones, cuatrocientos mil Kw. es la solución más acertada. En efecto, actualmente, la crisis de los energéticos se deja sentir y el petróleo, que es un recurso no renovable, se ha consolidado más que nunca como fuente de divisas.

Esta situación ha propiciado indudablemente que la tendencia actual sea la de construír plantas hidroeléctricas, cuya justificación económica es muy favorable.

CAPITULO III

3. - PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LOS TUNELES DE DESVIO

3.1. - Análisis de Alternativas para la Construcción de los Túneles de Desvío

Es importante señalar que para llevar a cabo la construcción de esos túneles, no se ha considerado una solución única, sino que se han tomado en cuenta varias alternativas, entre las cuales se podía mencionar las siguientes, que involucran los siguientes métodos constructivos:

1. - Ataque a Sección Completa

2. - Ataque con Galería de Avance,

con sus múltiples variantes.

1. - Ataque a Sección Completa. - Este método consiste en barrenar en cada ciclo de excavación toda la sección del tunel, para obtener un avance completo.

Este método, si bien antes se empleaba en los túneles pequeños, hoy en dia también tiene gran uso con el perfeccionamiento de las plataformas de perforación, llamadas "Jumbos".

Dadas las características de esos túneles y tomando en cuenta que se tenían que construír en un tiempo muy limitado, se pensó en un principio en ese método, ya que con su uso se obtendría:

- Una reducción de los tiempos muertos, (es decir, el tiempo de la instalación y retiro del equipo de - barrenación y poblado).
- Un aumento del tiempo efectivo empleado en la barrenación, es decir, que un mismo volúmen de roca tronada se obtiene en menor tiempo (en comparación a cualquier otro método de excavación en - las mismas condiciones de terreno).
- Es económico debido a que el volúmen de barrenación por metro cúbico es menos y por lo tanto es - menor el consumo de explosivos.

Aunque estos factores eran de considerarse, se ha llegado a la conclusión de descartar el método de ataque a sección completa, por lo siguiente:

a) Por este método, siempre se lleva una secuencia en las operaciones que se componen un ciclo de - cualquier percance surgido en alguna de las operaciones, puede parar las subsecuentes y por lo tanto el avance, hasta que aquel no se resuelva.

b) Además, como las secciones de esos túneles de - desvío son grandes, la rezaga, los trabajos de topografía y las operaciones que preceden la colocación del Jumbo en el frente de ataque, se hacen ba

jo un techo y paredes mal amacizadas, lo que es peligroso para el personal y el equipo.

c) Por este método, no se sabe el comportamiento que va a presentar el terreno situado a unos metros adelante del frente que se está atacando.

2. - Ataque con Galería de Avance

a) Avance Lateral. - Es una variante del método bóveda y banqueo, con la diferencia de que en éste, la división del avance y el banqueo es vertical.

Se ha descartado este método por considerar que su uso es ventajoso - sobre todo en túneles pequeños.

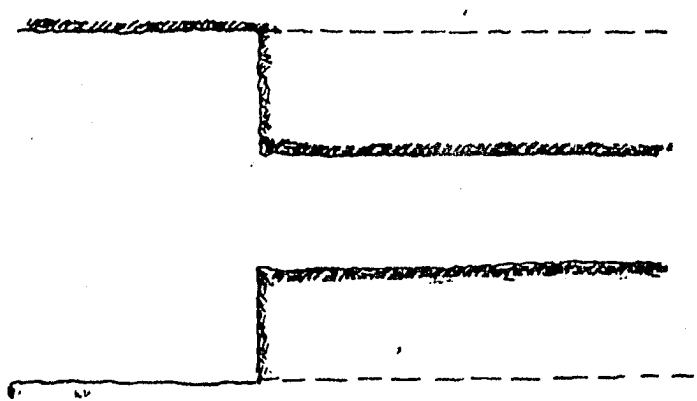
b) Galería Central ó Túnel Piloto. - Este método se usa por lo general en túneles grandes y consiste en perforar una galería de dimensiones estudiadas, de 3 m. de diámetro en el centro del túnel, lo que permite apreciar las características de las rocas y ensanchar la excavación hasta la sección final del túnel.

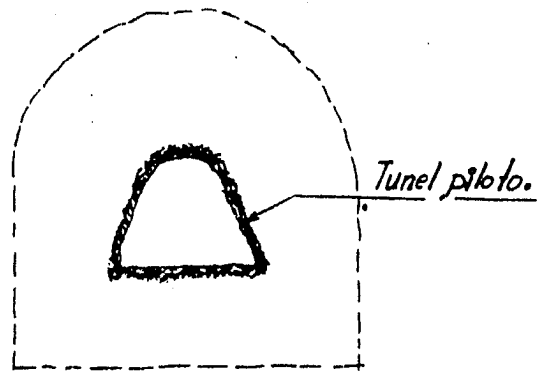
Se ha descartado este método, por considerar las limitaciones de tiempo y los problemas evidentes de sobreexcavación, debido al ensanchamiento radial.

c) Bóveda y Banqueo. - Este método consiste en atacar el frente de tal modo que la bóveda se mantenga siempre adelante que el banco.

Se ha escogido este método para presentar esas ventajas:

La bóveda viene haciendo las veces de galería, ya que debido a que este va adelante, se tiene una idea exacta de lo que es el terreno; así, - se pueden tomar precauciones necesarias que evitan las pérdidas de -





Corte longitudinal.

Sección transversal.

Método de galería central ó tunel piloto.

tiempo que ocasionan los terrenos problemáticos imprevistos.

Para el banqueo, que puede estar formado de varios bancos horizontales escalonados o bancos verticales para los trazos de los túneles de desvío, se ha tomado en cuenta los objetivos de esos túneles.

Es de mencionarse que la localización final de estos túneles es el resultado de dos etapas:

1) Las exploraciones superficiales

2) Las exploracioness ubsuperficiales.

Con el resultado de las dos etapas, se han determinado las clases de formaciones existentes, la cantidad de agua freática presente, y con eso la localización exacta de los túneles y así proceder al trazo definitivo.

3.2. Secuela para la Construcción de los Túneles de desvío.

3.2.1. Trazos.

La primera operación que se lleva a cabo en la construcción de los túneles de desvío es el trazo; en otros términos, se puede entender por trazo, la posición de agujeros perforados en la cara del túnel. Es de mencionarse que el objeto del trazo es independiente del tipo porque siempre se persigue el mismo objetivo; el problema consiste en romper un mayor volúmen de rocas con la menor cantidad de barrenos y explosivos.

Para determinar el óptimo trazo en los túneles de desvío, se ha tomado en consideración varios factores, entre los cuales destacan:

a) El tamaño del túnel.

b) La profundidad teórica de los barrenos.

c) La profundidad efectiva de los barrenos.

d) La clase de roca.

e) El método de montaje de los taladros.

En el caso de los túneles de desvío el cálculo del trazo se hace de la siguiente manera:

a) Considerando la sección superior.

1) Area sección superior

$$A = \frac{\pi R^2}{2} = 3.14 \times \frac{(6.5m)^2}{2} = 66.33\ m^2$$

2) Cálculo del número de barrenos

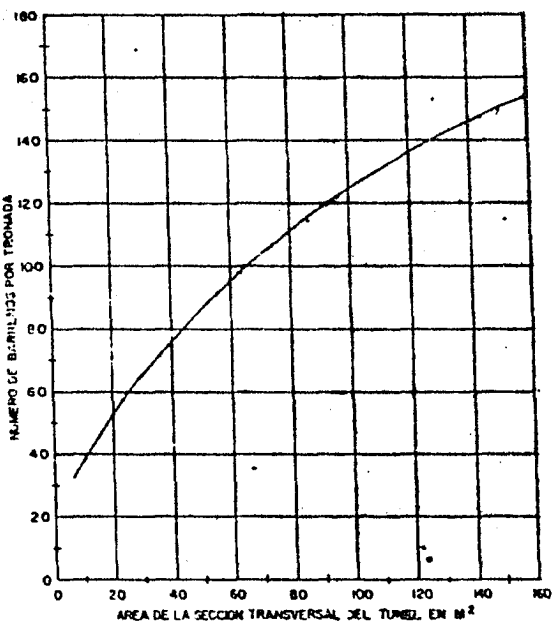

NUMERO DE BARRENOS POR TRONADA
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
0
20
40
60
80
100
120
140
160
AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL TUNEL EN M²

Figura No. 7

En la gráfica # 7 se entra con A= 66'33m^2 ⇒N= 102 barrenos

b) Considerando la sección inferior

1) Area sección inferior

A = 13 m x 6.5m - 84.5m^2

2) Cálculo del número de barrenos

En la gráfica # 7 se entra con A = 84.5m^2 ⇒N_2 = 112 barrenos

c) Número de Barrenos en toda la sección

$N = N_1 + N_2$ N_1= Número de barrenos en sección superior

N_2 = Número de barrenos en sección inferior

N = 102 + 112 = 214 barrenos.

N-214

Se considera una distancia de 70 cm. entre barrenos y una profundidad teórica de los barrenos de 3.2. m. para dar avance efectivo de 3m.

3.2.2. Instalación del equipo de perforación y barrenación

Una vez terminado el trazo, se procede a la instalación del equipo de perforación en cada frente, el cual consiste de Jumbos y equipos auxiliares. En este caso, la barrenación se realiza empleando la cuña del tipo V, llamda cuña de fragmentación, que se encuentra en el centro de la sección.

Esta cuña se dispara en primera instancia para abrir un cono hacia

el cual toman dirección los demás disparos. Este equipo se usa en los dos túneles de desvío.

3.2.3. Carga y Detonación de los Explosivos.

Al terminar la barrenación, se procede al retiro del equipo de perforación y dar lugar a la carga de explosivos en los barrenos.

Una vez terminada esta operación y con las medidas óptimas de seguridad, se lleva a cabo la detonación de los barrenos, con el empleo de estopines con retardos. Es de señalarse que la explosión se produce con las vibraciones mínimas y con un grado pequeño de lanzamiento de material.

3.2.4. Ventilación

La ventilación de los frentes es una de las operaciones muy importantes y cuya finalidad es la de eliminar y diluír los gases tóxicos, derivados del estallido de las cargas de explosivos.

La ventilación es también necesaria para suministrar en forma continua aire fresco y puro a los trabajadores. El sistema de ventilación consiste de varios ventiladores, un ducto de conducción y el conjunto de dispositivos y accesorios complementarios, cómo válvulas.

Para el cálculo del diametro del ducto de ventilación, se ha considerado la demanda máxima de aire, tanto del equipo de rezaga, como del personal.

Por razones de seguridad se han estimado también las pérdidas por

fugas de aire del orden de un 10% del caudal total de aire. A continuación se presenta esos cargos por ventilación.

Para el sistema de ventilación de esos túneles de desvío, es muy importante conocer el volúmen de aire requerido y los factores de contaminación existentes en el frente.

I Volúmen de aire necesario

a) Cargador cat 977 L;

$\frac{1 m^3}{1 \text{ minuto}}$ = 35.31 Pcm (factor de conversión)

190 HP x 2.5 x 35.31 = 16772.25 pcm.

b) Camiones de 10 m^3

Para el caso más desfavorable, o sea que estén 2 camiones dentro del túnel.

270 HP x 2x2.5 x 35.31 = 47668.5 pcm.

c) Personal e imprevistos

Considerando que 70 personas estén dentro del túnel.

70 x 35.31 = 2471.7 pcm.

d) Caudal total

16772.25 pcm + 47668.5 pcm + 2471.7 pcm = 66912.45 pcm.

e) Perdidas por fugas de aire en la conducción

10% x 66912.45 pcm = 6691.245 pcm

f) Demanda máxima de aire

66912.45 + 6691.245 = 73603.69 pcm.

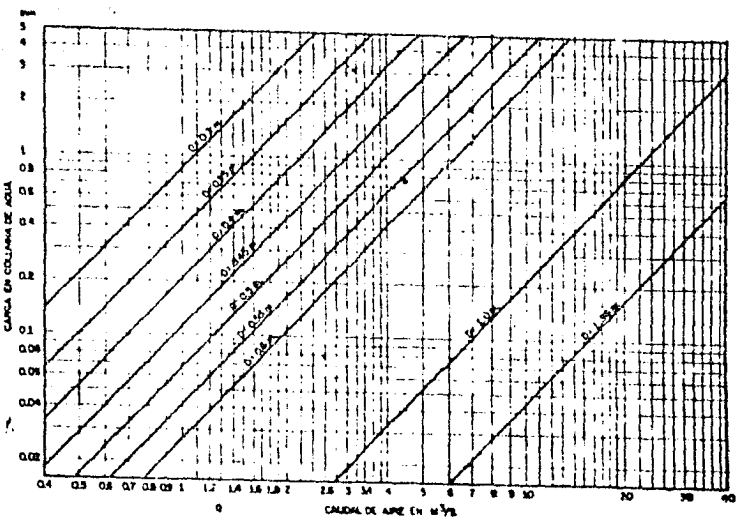

CARGA EN COLUMNA DE AGUA
CAUDAL DE AIRE EN m³/s
Q
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
2.5
3
3.5
4
5
6
7
8
9
10
20
30
40

Figura No. 8

2) Capacidad de los ventiladores

Considerando un factor de operación K = 0.90

Capacidad requerida = 80,000 pcm.

3) Diámetro de la tubería de conducción

a) Cálculo del caudal en m^3/ seg.

Considerando el factor de conversión $\frac{1 m^3}{1 min.} = 35.31$ pcm

$$\frac{73603.69 \text{ pcm}}{35.31 \times 60} = 34.74 \ m^3/seg$$

b) Diámetro de la tubería

Considerando la pérdida de carga máxima h = 5mm. en la gráfica # 8 y el caudal obtenido anteriormente tenemos

h = 5mm.

q = 34.74 m^3/ seg ⇒ D = 0.8.m

Diámetro = 0.8 m.

3.2.5. Acarreo de los materiales producto de la explosión

Para la rezaga, se decidió utilizar cargadores 977 caterpillar y camiones de 10m^3 tomando en consideración las dimensiones de la excavación y el ritmo de trabajo programado.

La selección de este cargador 977 obedece a que esa máquina requiere menores espacios para sus maniobras.

La rezaga transportada en los camiones de 10m^3 de capacidad, se depósita en los bancos de almacenamiento. El acarreo se llevá a cabo de tal forma que el tiempo de espera de los camiones fuera -

de los portales de los túneles, sea mínimo.

3.2.6. Fijación de los Túneles

La excavación de los Túneles de desvío se hace en una zona de condiciones geológicas favorables. Sin embargo, como se trata de túneles bastante largos, en algunos tramos se presentan zonas de inestabilidad en las que las rocas de las paredes y techo tienden a desprenderse, lo que constituye cierto peligro y podría retrasar las operaciones.

Para solucionar esos problemas, se hace uso de la instalación de pernos de anclaje para rocas sueltas, del concreto lanzado para algunas filtraciones encontradas en algunos tramos, y del ademe con marcos metálicos si así le amérita el tramo.

CAPITULO IV

4.- PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO DE LOS TUNELES DE DESVIO.

Para la obtención del presupuesto de los túneles de desvío, se seguirá la siguiente secuela:

Túneles No. 1 y 2 de desvío

- Excavación sección superior
- Excavación sección inferior
- Concreto en el Portal
- Costo directo
- Utilidad
- Precios Unitarios
- Presupuesto.

Túnel No. 1 de Desvío

Datos Generales del túnel No. 1 de Desvío

Sección: Paredes verticales, domo arqueado

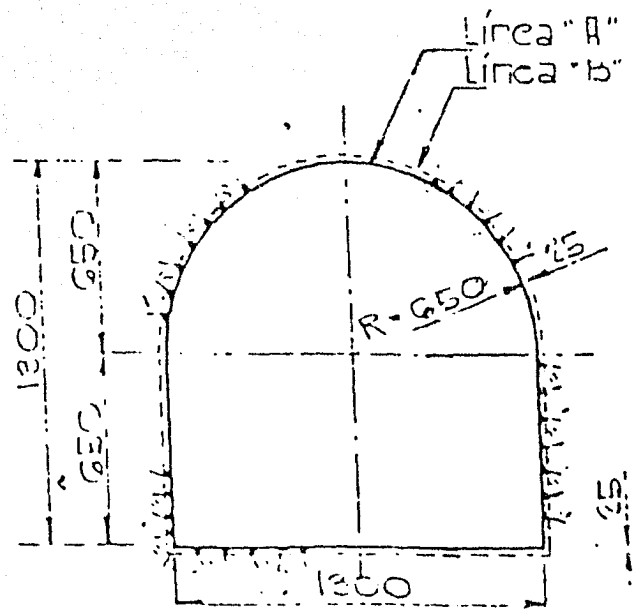
Ancho: 13 m.

Area Total: 150.83 m^2

Pendiente: S=0.0044

Longitud: 1,127 m.

Capacidad máxima: 1,900 m^3/seg



SECCION TUNELES
DE DESVIO Nos 1 y 2

Concepto 1: Excavación del túnel No. 1 de Desvío

Volúmenes de excavación

$(66.33\ m^2 + 84.5\ m^2)\ 1127\ m = 169,985\ m^3$

Debido a que es una sección bastante grande, es conveniente atacar el túnel en dos etapas:

a) En una primera etapa, se construye excavando la media sección superior y auxiliado por un túnel crucero para tener dos frentes más.

b) En una segunda etapa, se banquea la media sección faltante.

I) Etapa I, SUPERIOR

A) Longitud total de barrenación:

a) Area de la Sección I

$$A = \frac{\pi R^2}{2} = \frac{3.14 \times (6.5m)^2}{2} = 66.33\ m^2;\ A = 66.33\ m^2$$

b) No. aproximado de barrenos por tronada.

Se determina a partir de la gráfica No. 7, entrando con el valor del área, en este caso, $A=66.33m^2$ sobre el eje horizontal, se puede leer sobre el eje vertical que N=102 - que es la ordenada del punto de intersección, con la curva, obtenido de la vertical trazada de $A=66.33\ m^2$.

N=102 barrenos

c) Profundidad de barrenación.

Se considera una profundidad teórica de 3.20m.

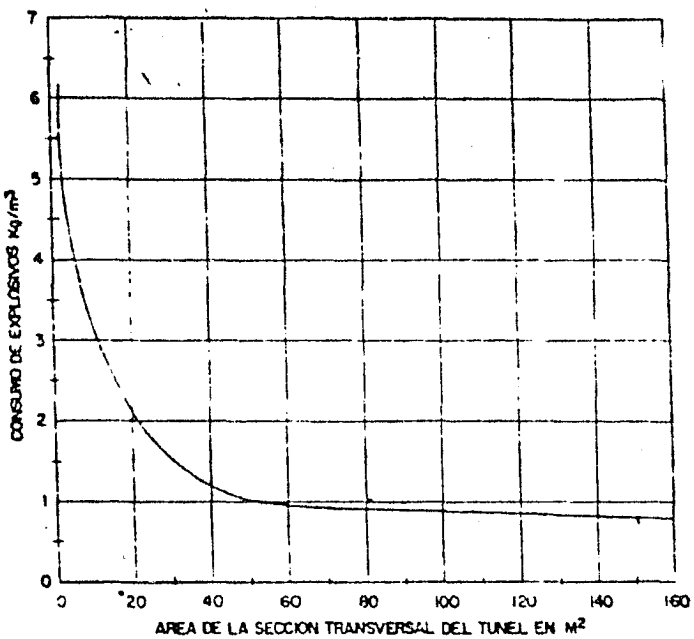

CONSUMO DE EXPLOSIVOS Kg/m³
0
1
2
3
4
5
6
7
0
20
40
60
80
100
120
140
160
AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL TUNEL EN M²

Figura No. 9

para dar avance efectivo de 3m. $h=3$ m.

d) Longitud de barrenación por ciclo

102×3.20 m $=$ 326.4 m. $l = 326.4$ m.

e) Volúmen excavado en un ciclo.

$66.33\ m^2 \times 3$ m. $=$ $198.99\ m^3$ $V_1 = 198.99\ m^3$

f) Volúmen suelto por rezagar.

Se considera un coeficiente de abundamiento K= 1.5

$V_2 = KV_1 = 1.5 \times 198.99\ m^3 = 298.49 m^3$

sueltos. $V_2 = 298.49\ m^3$ sueltos

g) Consumo aproximativo de explosivos por m^3.

Se determina a partir de la gráfica No. 9 entrando horizontalmente con el área A= 66.33 m^2; luego se traza una vertical desde ese punto hasta intersectar con la curva; la ordenada de ese punto de intersección nos dá el consumo de explosivos por metro cúbico. $E/m^3 = 0.80$ Kg/m^3

h) Consumo de explosivos por voladura,

$198.99\ m^3 \times \frac{0.80\ Kg.}{m^3} = 159.19$ Kg

$E/V = 159.19$ Kg

i) Volúmen a excavar del túnel.

Vol = A x L; 66.33 m^2 x 1127 m = 74756 m^3 $\underline{V = 74754\ m^3}$

j) Número de ciclos

$\frac{74754\ m^3}{198.99\ m^3}$ = 375 ciclos $\underline{Nc. = 375\ ciclos}$

k) Consumo total de explosivos.

159.19 Kg. x 375 = 59696.25 Kg. $\underline{E = 59696.25\ Kg.}$

l) Longitud total de barrenación.

326.4 m x 375 = 122400 m. $\underline{L_b = 122,400\ m.}$

B) Tiempo de ciclo:

a) Barrenación

Se usa un jumbo tipo Gardner Denver con 6 pistolas D - 123.

El jumbo consume 6 x 360 pcm = 2,160 pcm

Se alimentará con 2 compresores de 1,200 pcm; como son 102 barrenos, le tocará a:

$\frac{102}{6}$ = 17 barrenos / máquina

17 x 3.20 m = 54.4. m.

Si el rendimiento es de 15 m 1/h y considerando un factor de operación de 0.7

$$t = \frac{64.4\ m}{15\ m/h \times 0.7} = 5.18\ h$$

Tiempo total de jumbo:

375 ciclos x 5.18 h = 1,942.50 h/ jumbo

b) Tiempo de rezaga.

Se emplea un cargador 977 Cat y camiones de 10 m^3.

Si el rendimiento del cargador es de 70m^3/h

$\frac{112,131\ m^3}{70\ m^3/h \times 0.7}$ sueltos = 2,288 h/cargador 977

Usando 2 cargadores; t = $\frac{298.49\ m^3}{2 \times 70\ m^3/h \times 07} = \frac{64}{2}$ = 3h

c) Ciclo de camiones:

Carga = $\frac{10\ m^3}{70\ m^3/h}$ = 0.143 h = 0.143 h

Acarreo fuera del túnel $\frac{= 0.8\ Km.}{10\ Km/h}$ = 0.080 h

Acarreo dentro del túnel $\frac{=0.210\ Km}{5\ Km/h}$ = 0.042 h

Descarga 2 min. 0.033 h

0.298 h

Rendimiento: $\frac{10\ m^3 \times 0.7}{0.298\ h}$ = 23.49 m^3/h

No. de camiones: 70m^3/h = 2.97 = 3 camiones

Horas camión: 375 ciclos x 3 camiones x 4 h camión

d) Ciclo Total:

Trazo y acercamiento 1.00 h

Barrenación	5.18h
Carga y voladura	0.50h
Ventilación	0.50h
Rezaga	3.00h
Ademe o Instalación	1.00h
	11.18h

Considerando 4 tronadas al día; por tener cuatro frentes simultáneos

Tiempo total: $\frac{375 \text{ ciclos}}{4 \text{ vol/día}} = 94$ días

C) Materiales: Los materiales siguientes se usarán en esta etapa.

Barras 1-1/4" x 12'	$177.925.15
Coples	42,825.30
Brocas 1-7/8" x 1-1/4"	153,750.22
Zancos 1-1/2"	45,137.50
Tubería ventilación	155,200.00
Tubería 32" c/acc	68,750.00
Tubería 16" c/acc	22,500.00
Dinamita	344,487.50
Estopines	57,546.00
Primacord	79,173.25
Afilado brocas	46,000.00

Alambre No. 20	15,985.00
Alambre conexión	1,650.00
Focos	2,187.00
Consumo luz	43,750.00
Mangueras de 4"	40,000.00
Mangueras de 2"	7,500.00
Accesorios varios	37,500.00
	$1,337,867.30

D) Personal: Se considera el siguiente personal y su sueldo para llevar a cabo la excavación de la parte superior:

Jefe de turno	4 x $325.00	$ 1,300.00
Cabo perforación	4 x $175.00	700.00
Perforista profesión	4 x 6x$169.00	4,056.00
Ayte. Perforista	4 x 6 x $52.00	1,248.00
Poblador	4 x $117.00	468.00
Cargador explosivo	6 x $78.00	468.00
Ayte. cargador explosivos	6 x $52.00	312.00
Tubero	4x $65.00	260.00
Electricista	4x $130.00	520.00
Operador cargador 977	4x $195.00	780.00
Chofer volteo $10m^3$	4x 4 x $104.00	1,664.00
Cabo peones	4x $104.00	416.00

Peones	20 x $44.25	885.00
Bombero	4 x $104.00	416.00
Checador	8 x $52.00	416.00
Operador planta luz	4 x $104.00	416.00
Operador compresor	4 x $104.00	416.00
Mecánico aire	4 x $104.00	416.00
Chofer camión	4 x $104.00	416.00
	152	$15,573.00

E) Ventilación:

Se consideran 125 días x 20 h = 2,500 h

4 ventiladores de 30"

4 x 2,500 x $38.25 = $382.500.00

F) Maquinaria: Para el cálculo del Costo de este concepto, los cargos fijos y variables de los Equipos de excavación se han agrupado en dos grandes grupos que engloban todos los conceptos: Cargos por Depreciación, Inversión y Seguros, Cargos por consumos, Mantenimiento y Almacenaje.

Cabe hacer la aclaración de que el sueldo del Personal requerido para la operación de los Equipos esta considerado en el renglón de Personal

1) Cargo por Depreciación, Inversión y Seguros

Máquina	Precio por Unidad	No. de Unidad.
Jumbo 6 pistolas G. D.	$2,500.000.00	1
Compresor 1,200 pcm	966.250.00	2

Cargador 977	960,000.00	1
Camión 10 m^3	500,000.00	3
Bomba agua 2"	11,250.00	1
Instalaciones lote	10,000.00	
Camión plataforma 8 Tons.	237,500.00	1

Precio total	Cargo por Depresiación, Inversión y Seguros.
2,500,000.00	$375,000.00
1,932,500.00	96,625.00
960.000.00	115,200.00
1,500.000.00	180,000.00
11,250.00	1,687.50
10,000.00	
237,500.00	35,625.00
T o t a l	$804,137.50

2) Cargo por Consumos, Mantenimiento y Almacenaje.

0.60 x $804,137.50 = $482,482.50

3) Para Maquinaria:

1) Depreciación Inversión y Seguros $804,137.50

2) Consumos Mantenimiento y Almacenaje. 482,482.50

$1,286,620.00

G) Resúmen:

Materiales $1,337,867.30

Personal	1,946.625.00
Maquinaria	1,286.620.00
Ventilación	351,900.00
	$4,953.612.30

H) Costo por m^3 de sección superior

$$\frac{\$4,953.612.30}{74,754\ m^3} = \frac{\$66.27}{m^3}$$

2) ETAPA II, BANQUEO

A) Longitud total de barrenación:

a) Area de la sección = 84.5 m^2

b) No. de barrenos: N graf = 112

c) Longitud de barrenación

112 x 3.20 m = 358.4 m

(se barrena a 3.2 m para dar 3 m efectivos)

d) Coeficiente de barrenación:

$$\frac{358.4 \text{ m}}{84.5 \text{ m}^2 \times 3\text{m}} = 1.41 \text{ m } 1/\text{m}^3$$

e) Volúmen excavado:

84.5 m^2 x 3 m = 253.5 m^3

f) Volúmen suelto por rezagar:

253.5 m^3 x 1.5 = 380.25 m^3 sueltos

g) Consumo aproximado de explosivos: 0.8 Kg/ m^3

h) Consumo por voladura:

3 m x 84.5 m^2 x 0.8 Kg/m^3 202.8 Kg.

i) Volúmen a excavar del banqueo

84.5 m^2 x 1127 m = 95,231.5 m^3

j) Número de ciclos :

$$\frac{95{,}231.5 \text{ m}^3}{253.5 \text{ m}^3} = 376 \text{ ciclos}$$

k) Consumo total de explosivos

202.8 Kg. x 376 = 76,252.8 Kg

1) Longitud total de barrenación

358.4 m x 376 = 134,758.4 m

B) Tiempo de ciclo:

a) Barrenación.

Se usan perforadoras de piso. Como se tendrán 112 barrenos se usan 6 perforadoras.

$$\frac{112 \text{ barrenos}}{6 \text{ perf.}} = 18.67 \text{ barrenos / perforadora}$$

Con las 6 perforadoras se consumen 600 pcm, o sea el equivalente a un compresor de 600 pcm.

Cada pistola hará: 18.67 x 3.2.m. = 59.74 m
Con rendimiento = 10 m e/h, t = $\frac{59.74 \text{ m}}{10 \text{ m/h} \times 0.7}$ = 8.50 h

b) Tiempo de rezaga

Se emplea cargador 977 cat y camiones de 10 m^3

$$\frac{380.25 \text{ m}^3}{70 \text{ m}^3/\text{h}} = 5.43 \text{ hrs.}$$

c) Ciclo de camiones

Se considera el mismo de la etapa I, o sea 3 camiones de 10 m^3

$$\text{Horas camión} : \frac{380.25 \text{ m}^3}{70 \text{ m}^3/\text{h}} = 5.43 \text{ h}$$

Horas camión 5.43 x 3 x 376 = 6,125.04 Hrs. camión

d) Ciclo total

Trazo y acercamiento	0.50 h
Barrenación	8.50 h
Carga y voladura	0.50 h
Ventilación	0.50 h

Rezaga $\frac{5.43\ h}{15.46\ h} = 16h$

Tiempo total: $\frac{376 \text{ ciclos}}{4 \times 1 \text{ ciclo/día}} = 94$ días; t= 94 días

C) Materiales: Los materiales siguientes se usarán en esta - etapa.

Zanco 1-1/2 1600	$ 7,301.50
Coples 1-1/2 1600	6,928.00
Barras 1-1/4	28,762.50
Brocas 3"	27,055.75
Afilado brocas	8,115.00
Mangueras de 4"	20,000.00
Tubería 8"	13,750.00
Tubería 2"	4,500.00
Dinamita 16,500 t x $\frac{14,140.5}{t}$ =	233,318.25
Estopines de 14-16 ft 100 x 5 =	5,000.00
Alambre No. 20 1900 x $1.20/m	2,280.00
Alambre de conexión 200m x 4/m	800.00
Alumbrado	10,250.00
Focos	1,000.00
Consumo luz	16,000.00

Camión $10m^3$	500,000.00	3
Bomba agua 2" ϕ	11,250.00	1
Plataforma 8 t	237,500.00	1

Precio total	Depreciación , Inversión y Seguros
$1,150,000.00	161,000.00
966,250.00	48,312.25
960.000.00	115,200.00
1,500.000.00	180,000.00
11,250.00	1,687.50
237,500.00	35,625.00
T o t a l	541,824.75

B) Consumos, Mantenimiento y Almacenaje

0.60 x $541,824.75 = $325,094.85

C) Para Maquinaria

1) Depreciación, Inversión y Seguros	$541,824.75
2) Consumos, Mantenimiento y Almacenaje	325,094.85
	$866,919.60

G) Resúmen-

Materiales	397,061.00
Personal x 94 días	747,629.00
Maquinaria	866,919.00
Instalaciones	445,000.00
	$2,456,609.60

H) Costo por m^3 de la sección inferior

$$\frac{\$2,456.609.60}{95,231.5\ m^3} = \frac{\$25.79}{m^3}$$

Concepto 2: Concreto en el portal de salida del tunel No. 1 de Desvío (870 m^3).

1) Costo del concreto en la Planta

Concreto: Resistencia = 175 Kg / m^2

Agregado 3 "

a) Materiales: Considerando el siguiente proporcionamiento

Grava 3"	0.27 m^3	\$15.5/ m^3
Grava 1-1/2"	0.27 m^3	23.4/ m^3
Grava 3/4"	0.27 m^3	32.37/ m^3
Arena		87.5/ m^3
Agua		25.04/m^3
		\$183.81/ m^3

b) Acarreos de material

a Planta No. 1 \$ 12.0/ m^3

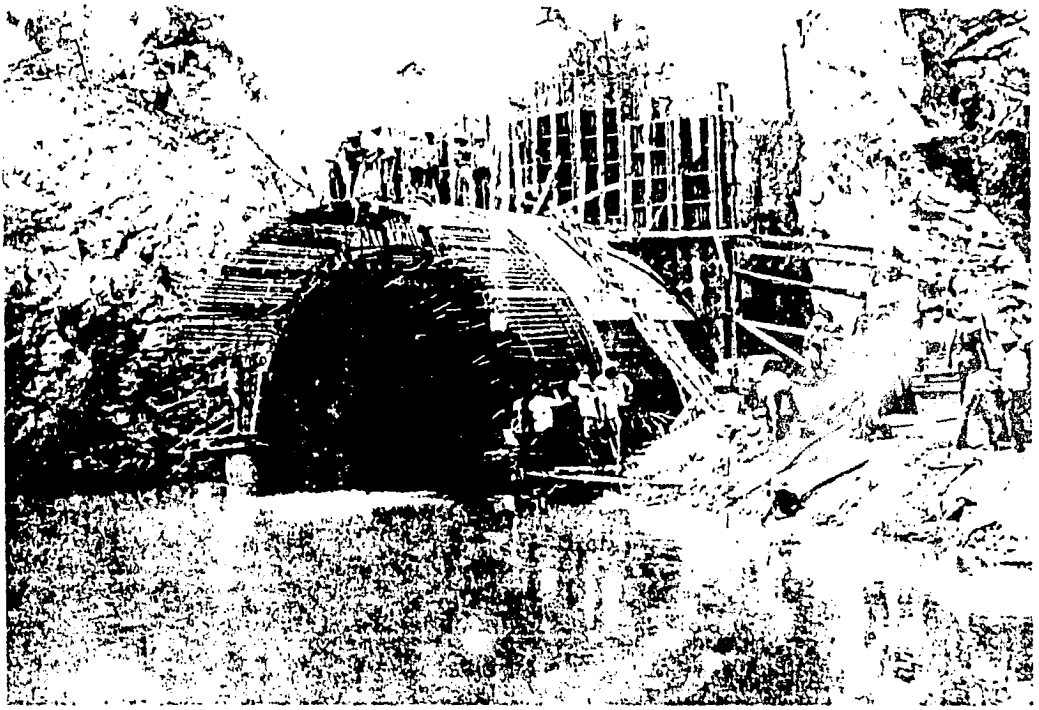
c) Instalación y desmantelamiento de Planta \$ 4.5/ m^3

d) Dosificación:

Rendimiento: 25 m^3/h

Costo: \$312.5/h = 25 m^3/h \$ 12.5/ m^3

\$212.81/ m^3



Portal de salida del Tunel No. 1 de Desvio

2) Costo del acarreo del concreto de la planta al portal de salida

A) Tiempo requerido para cada operación en un ciclo de viaje redondo:

a) Carga en planta:

$\frac{5\ m^3}{25\ m^3/h} = 0.2\ h$ — 12 min

b) Viaje a descargar a la estructura de salida

$\frac{1\ Km}{10\ Km/h} = 0.1\ h$ — 6 min

c) Descarga — 10 min

d) Viaje a la planta:

$\frac{1\ Km}{20 Km/h} = 0.05\ h$ — 3 min

e) Tiempo de espera — 10 min

41 min

B) Numero de camiones

$\frac{41\ min}{12\ min} = 3.41$ camiones

C) Producción utilizando 3 camiones

$\frac{3 \times 25\ m^3/h}{3.41} = 21.99\ m^3/h$

d) Costo acarreo usando 3 camiones

$\frac{3 \times 133.56/h}{21.99\ m^3/h} = \$18.22/\ m^3$

Costo acarreo = $18.22/m^3$

3) Costo de cimbra: cimbra curva y cimbra plana $134.5/ m^3$

4) Costo de obra falsa $207.3/ m^3$

5) Costo del equipo de colocación:

Usando una bomba de concreto P.80 con 25 m^3/h

El volúmen por colar en el portal es de 870 m^3

Se satisface esa cantidad en 5 turnos de 8 hrs., tomando en cuenta las horas desperdiciadas

Costo: $\frac{\$375 \times 8\ h}{25m^3 \times 8h}$ $15/ m^3$

6) Costo del curado del concreto $3/ m^3$

7) Costo del vibrado:

Usando vibrador de 4-1/2" con rendimiento de 20 m^3/h

Costo = $\frac{\$5.89/h}{20m^3/h}$ $0.29/ m^3$

8) Costo de resanes y limpieza $0.20/ m^3$

9)Costo mano de obra por colocación del concreto:

Se considera el siguiente personal y su sueldo para la colocación del concreto

1 Sobrestante	$120.00/t
1 Jefe de turno	180.0/t
2 Carpinteros de primera	312.00/t
2 Carpinteros de segunda	216.00/t
2 Vibradoristas	163.32/t
16 Peones	1,298.56/t
10 Albañiles	1,440.00/t
1 Checador	96.00/t
1 Electricista	240.00/t
	$4,065.88/t

Rendimiento 200 m^3/t

Costo: $\frac{\$4,065.88/t}{200\ m^3/t} = \$20.33/\ m^3$

10) Sobreconcreto: Se considera un 15% de los costos

Costo concreto : $212.81/ m^3

Acarreo: 18.22/ m^3

$231.03/ m^3 x 0.15 = $34.65/ m^3

11) Cemento: $900 t x 0.25 ton/ m^3 x 0.15 = $33.75/ m^3

12) Costo Directo

$212.81/ m^3
18.22/ m^3
134.50/ m^3
207.30/ m^3
15.00/ m^3
3.00/ m^3
0.29/ m^3
0.20/ m^3
20.33/ m^3
34.65/ m^3
33.75/ m^3
$680.05/ m^3

4-A) Precios unitarios para el Túnel No. 1 de Desvío:

4-A-I Excavación (169.985 m^3)

I) Costo directo

a) Sección superior (74,754 m^3) $66.27 / m^3

b) Sección inferior (95,231 m^3) $25.79 / m^3

c) Costo directo para todo el túnel

$$\frac{(66.27 \times 74.754) + (25.79 \times 95,231)}{169,985} = \$43.59 / m^3$$

Costo directo = $43.59 / m^3

II) Costo indirecto

Se considera los siguientes porcentajes

Administración central	2.0%
Administración de campo	2.5%
Financiamiento	2.0%
Seguros y Fianzas	1.0%
Instalaciones provisionales	2.0%
Impuestos	6.0%
Imprevistos	2.0%
Dirección, supervisión	2.5%
T o t a l	20%

III) Utilidad

Utilidad = 10% costo directo = 10% $\frac{\$43.59}{m^3}$ = $\frac{\$4.359}{m^3}$

Ut = $\frac{\$4.359}{m^3}$

IV) Precios unitarios para excavación

Costo directo	$\$43.590/m^3$
Costo indirecto	8.718
Utilidad	4.359
Total	$\$56.667/m^3$

Precio unitario = $\$56.667/m^3$

4-A-2 Portal del Túnel (870 m^3)

I)	Costo directo	$\$680.05/m^3$
II)	Costo indirecto	
	20% Costo directo =	
	20% x 680.05 =	$136.01/m^3$
III)	Utilidad	$68.00/m^3$
IV)	Precios unitarios para el portal	
	Costo directo	
	Costo indirecto	
	Utilidad	
	Total	$\$884.06/m^3$

4-B) Presupuesto para el túnel No. de Desvío

1) Excavación (169,985 m^3)

Precio unitario = $56,667/m^3$

Presupuesto = $\frac{\$56.667}{m^3}$ x 169,985 m^3 = $9,632,539.90

2) Portal de salida (870 m^3)

$\frac{\$884.06}{m^3}$ x 870 = $ 769.132.2

3) Presupuesto total para el Túnel No. 1 de Desvío

$9,632.539.90 + $769,132.2 = $10,401.672.10

Presupuesto total - $10,401,672.10

Tunel No. 2 de Desvío

Datos generales del túnel No. 2 de Desvío

Sección: Paredes verticales, domo arqueado

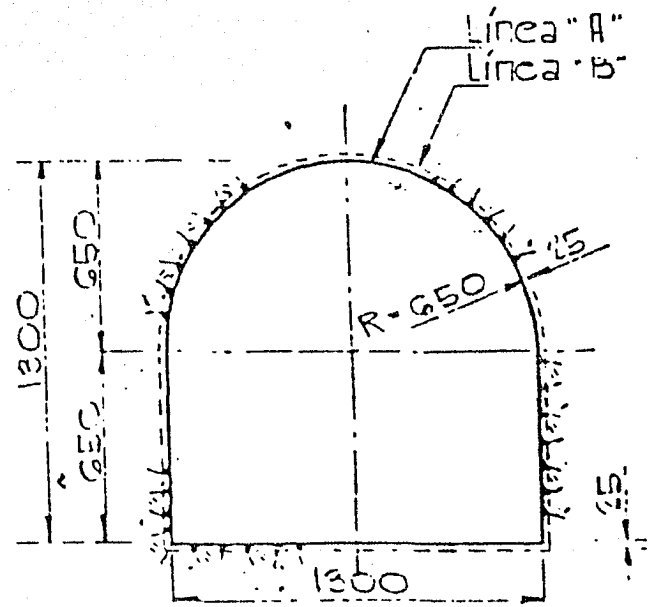
Ancho: 13m.

Area total: 150.83 m^2

Pendiente: S = 0.0064

Longitud: 1310 m.

Capacidad máxima: 2000 m^3/ seg



SECCION TUNELES
DE DESVIO Nos 1 y 2

Concepto 1: Excavación del Túnel No. 2 de Desvío.

Volúmenes de excavación

$150.83\ m^2 \times 1310\ m = 197{,}587.3\ m^3$

Como se puede ver, este túnel tiene la misma sección que el Túnel No. 1; por lo tanto, se sigue el mismo método de excavación, es -- decir, sección superior y banqueo.

I) Etapa I, SUPERIOR

A) Longitud total de barrenación:

a) Area de la Sección I: $A=66.33\ m^2$

b) No. aproximado de barrenos por tronada: N=102 barrenos

c) Profundidad de barrenación: h= 3m

d) Longitud de barrenación por ciclo: l= 326.4 m

e) Volúmen excavado en un ciclo:

$V_1 = 198.99\ m^3$

f) Volúmen suelto por rezagar $V_2 = 298.49\ m^3$ sueltos

g) Consumo aproximativo de explosivos por m^3: $E/m^3 = 0.80\ Kg/m^3$

h) Consumo de explosivos por voladura E/V = 159.19 Kg.

i) Volúmen a excavar del túnel

$66.33\ m^2 \times 1310\ m = 86892.3\ m^3$

$V = 86892.3\ m^3$

j) Número de ciclos

$\frac{86892.3\ m^3}{198.99\ m^3}$ = 436.6 ciclos N = 437 ciclos

k) Consumo total de explosivos

159.19 Kg x 436 = 69406.84 Kg. E = 69406.84 Kg.

l) Longitud total de barrenación

326.4 m x 437 = 142636.8 m L_b = 142,636.8 m

B) Tiempo de ciclo:

a) Barrenación:

Tiempo total de Jumbo t 5.18 h

437 x 5.18 h = 2663 h/jumbo

b) Tiempo de rezaga

$\frac{298.49\ m^3 \times 437}{70\ m^3/h \times 0.7}$ = 2662 h/cargador 977 t = 3 h

Ciclo de camiones: 0.298 h

c) Ciclo total: t=11.18 h

Tiempo total: $\frac{437 \text{ ciclos}}{4 \text{ vol/día}}$ = 110 días

C) Materiales: Se considera los mismos materiales que se usan en el Túnel No. 1

Costo total = $1,337,867.3

D) Personal: Se considera el mismo Personal que se usa en la excavación de la parte superior del túnel No. 1 de desvío.

Costo del Personal: $2,335,950.00

E) Ventilación: $459,000.00

F) Maquinaria: Se usa la misma maquinaria del túnel No. 1, pero con un incremento de diez por ciento del costo, por ser el túnel No. 2 más largo

Costo Maquinaria $1,415,282.00

G) Resúmen:

Materiales	$1,337,867.30
Personal	2,335,950.00
Maquinaria	1,415,282.00
Ventilación	459,000.00
	$5,548,099.30

H) Costo por m^3 de sección superior:

$$\frac{\$5,548,099.30}{86.892.3\ m^3} = \frac{\$63.85}{m^3}$$

2) Etapa II, Banqueo

A) Longitud total de barrenación:

a) Area de la sección = 84.5 m^2

b) No. de barrenos : N graf = 112

c) Longitud de barrenación

112 x 3.2 m = 358.4 m

d) Coeficiente de barrenación:

$$\frac{358.4 \text{ m}}{84.5 \text{ m}^2 \times 3\text{m}} = 1.41. \text{ m.l/m}^3$$

e) Volúmen excavado

84.5 m^2 x 3m = 253.5 m^3

f) Volúmen suelto por rezagar:

253.5 m^3 x 1.5 = 380.25 m^3

g) Consumo aproximado de explosivos: 0.8 Kg/m^3

h) Consumo por voladura: 202.8 Kg.

i) Volúmen a excavar del banqueo

84.5 m^2 x 1310 m = 110,695 m^3

j) Número de ciclos

$$\frac{110{,}695 \text{ m}^3}{253.5 \text{ m}^3} = 437 \text{ ciclos}$$

k) Consumo total de explosivos

202.8 Kg x 437 = 88,623.6 Kg

l) Longitud total de barrenación

358.4 m x 437 = 156,620.8 m

B) Tiempo de ciclo: t=110 días

C) Materiales $397,061.00

(Se hace la misma consideración del banqueo del túnel No. 1)

D) Personal: $874,885.00

(Se considera el mismo personal, empleado en el -- banqueo del t únel No. 1) para 110 días.

E) Instalaciones: $445,000.00

F) Maquinaria: $953,610.90

G) Resúmen:

Materiales	$397,061.00
Personal	874,885.00
Maquinaria	953,610.90
Instalaciones	445,000.00
	2,670.556.90

H) Costo por m^3 de la sección inferior

$$\frac{\$2,670,556.90}{110,695\ m^3} = \frac{\$24.125}{m^3}$$

Concepto 2: Concreto en el portal de salida del Túnel No. 2 de Desvío (820 m^3).

Se considera el costo directo de \$680.05/m^3, que se ha obtenido para el túnel No. 1 de Desvío, porque-se trata de las mismas condiciones de operación, -- además, los dos túneles se encuentran muy próximos.

Costo directo \$680,05/m^3.

4-C Precios unitarios para el túnel No. 2 de Desvío

4-C-I) Excavación (197,587.3m^3)

I) Costo Directo

a) Sección superior (86.892.3 m^3) $63.850/$m^3$

b) Sección inferior (110,685 m^3) 24.125/m^3

c) Costo directo para todo el túnel

$$\frac{\$ (63.850 \times 86892.3) + (24.125 \times 110,685)}{197,587.3\ m^3} = 41,594/m^3$$

Costo directo=$41.594/$m^3$

II) Costo indirecto

20% x $41.594/$m^3$ 8.319/m^3

III) Utilidad

10% x $41.594/$m^3$ 4.159/m^3

IV) Precios unitarios

$ (41.594 + 8.319 + 4.159) 54.072/m^3

Precio unitario = $54.072/$m^3$

4-C-II) Portal del túnel (820 m^3)

I) Costo directo $680.05/$m^3$

II) Costo indirecto 136.01/m^3

20% x $\frac{\$680.05}{m^3}$

III) Utilidad 68.00/m^3

IV) Precios Unitarios $884.06/$m^3$

4-D) Presupuesto para el túnel No. 2 de Desvío

1) Excavación (197,587.3 m^3)

Precio unitario = \$54.072/m^3

Presupuesto = $\frac{\$54.072}{m^3}$ x 197587.3 m^3 = \$10,683,940.00

2) Portal de salida (820 m^3)

$\frac{\$884.06}{m^3}$ x 820 m^3 \$724,929.20

3) Presupuesto total para el túnel No. 2 de Desvío.

\$10,683,940.00 + \$724,929.20 = \$11,408.869.2

Presupuesto Total = \$ 11,408,869.2

CONCLUSIONES

Como se ha podido observar en este trabajo, el Sistema Hidroeléctrico de CHICOASEN tiene grandes justificaciones, tanto sociales, como económicas.

En cuánto al análisis de precios unitarios presentado, se han pretendido con eso hacer hincapié sobre las secuelas necesarias para la elaboración de un presupuesto de los túneles, en este caso de Desvío, una de las grandes obras de Ingeniería Civil.

Si se toma en cuenta los factores complejos y a veces imprevisibles que envuelven a esas grandes obras, se puede concluír que este estudio tiene sus limitaciones, ya que cada obra tiene sus propias condiciones operantes.

Lo que se ha pretendido es, dadas las condiciones específicas actuantes, presentar un estudio detallado de precios unitarios, y por ende obtener los costos de los túneles de Desvío No. 1 y 2 del Sistema Hidroeléctrico de CHICOASEN, partiendo desde luego de una determinada planeación. Si se ha conseguido este objetivo, se puede dar uno por satisfecho.

Si además, este trabajo puede servir de guí para futuras elaboraciones de costos de túneles, la satisfacción será doble.

Biblografía

Elements of Hydraulic Engineering.	Linsley y Franzini
Handbook of Hydraulics	W. H. King
Manual de diseño de obras civiles	C. F. E.
Construction Planning, Equpment And Methods	Peurifoy
Manual de precios unitarios	S. R. H.
Construcciones Hidraulicas (Tomo II)	A. Schoklitsch
Obras Hidraulicas	F. Torres. H.
Revista ICA (Publicación marzo 75)	Consejo Editorial
Apuntes de precios unitarios	Fac. de Ing.
Apuntes de la clase de Construcción Pesada del Ing. F. Noreña Casado	
The Art. of tunne ling.	F. Szechy
Apuntes de la C.F.E. sobre el Sistema Hidroeléctrico de Chicoasen	