



9  
2ef.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGON"**

**REHABILITACION DEL TUNEL  
TENANGO-NECAXA DEL SISTEMA  
HIDROELECTRICO NECAXA**

**E. N. E. P.**



**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA :  
ALEJANDRO CARRILLO ROMERO**

**ARAGON**

**NETZAHUALCOYOTL, MEX.**

**1997**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

ALEJANDRO CARRILLO ROMERO  
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 5 de agosto del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSÉ MARIO AVALOS HERNÁNDEZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado, "REHABILITACION DEL TUNEL TENANGO-NECAXA DEL SISTEMA HIDROELECTRICO NECAXA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México., 11 de Agosto de 1997  
EL DIRECTOR

  
MARIO CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

c c p Jefe de la Unidad Académica.  
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.  
c c p Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/vr

*CR*  
*21*

AGRADEZCO A MIS PADRES, EL  
APOYO Y LA CONFIANZA QUE  
ME HAN BRINDADO SIEMPRE.

A MI HERMANA, QUE ME HA  
DADO SU CARÍÑO EN TODO  
MOMENTO.

AL ING. JOSÉ MARIO AVALOS, POR  
SU INAPRECIABLE AYUDA EN LA  
ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO.

AL ING. ARMANDO BECERRIL,  
QUE GRACIAS A SU AYUDA SE  
REALIZÓ ESTE TRABAJO DE TESIS.

MUY EN ESPECIAL AL ING. MARIO  
CERVANTES ELIAS, Y A LA COMPAÑIA  
DE LUZ Y FUERZA, POR LAS  
FACILIDADES BRINDADAS PARA LA  
REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

Y A TODAS AQUELLAS PERSONAS A LAS  
QUE APRECIO Y QUE ME BRINDARON SU  
AYUDA EN TODO MOMENTO.

GRACIAS.

# **REHABILITACIÓN DEL TÚNEL TENANGO-NECAXA DEL SISTEMA HIDROELÉCTRICO NECAXA.**

**Introducción.**

**I. Antecedentes.**

**II. Descripción general del Sistema Hidroeléctrico Necaxa.**

**III. Estudio y cálculo para la rehabilitación del Túnel.**

**IV. Catálogo de conceptos.**

**Conclusiones.**

# INTRODUCCIÓN

## **INTRODUCCIÓN**

**El campo de la Ingeniería Civil, es muy extenso, y una de sus principales obras, es la construcción de presas. Existen diferentes tipos de presas, como son las de regulación, las de almacenamiento, etc.**

**Este trabajo de tesis, se enfoca a uno de los primeros sistemas hidráulicos de presas de almacenamiento, para generación eléctrica como lo es el sistema Hidroeléctrico de Necaxa y específicamente al accidente ocurrido en el año de 1995 en la presa de Tenango.**

**Este sistema Hidráulico de presas fue ideado a finales del siglo XIX y puesto en funcionamiento, a principios del siglo XX. Debido a que la construcción de presas en aquellos tiempos, era completamente empírico, es decir, los ingenieros de aquel entonces, basaban la construcción de este tipo de estructuras en su experiencia, sin contar con estudios de avenidas máximas, gastos en los ríos, etc.**

**Estos procedimientos de construcción han causado problemas en diferentes partes del mundo, donde existe este tipo de presas, en las cuales no existen corazones impermeables, además de que la construcción del dique no se hacía en capas compactadas, sino que el material que conforma la cortina, era llevado hasta el**



**lugar de construcción con ayuda de grandes encausamientos de agua.**

**En el año de 1929 y en el año de 1947, se presentaron diferentes accidentes en el Dique de Tenango, y en el año de 1969 en el Dique Laguna, en el cual, la causa de falla se debe a la falta del control de las filtraciones, a través de los diques.**

**El capítulo I comprende; los antecedentes del Sistema Hidroeléctrico de Necaxa y su funcionamiento, además se incluyen las divisiones hidráulicas e hidrológicas que lo conforman.**

**En la descripción del Sistema Hidroeléctrico Necaxa, se detalla la interconexión de los diques, los gastos y capacidades en los vasos, así como la capacidad de generación eléctrica de la planta más importante del Sistema, que es la de Necaxa.**

**En este trabajo de tesis, el capítulo III se enfoca a la reparación realizada en el túnel de Tenango en el año de 1995, teniendo como antecedente, otro accidente similar en el Dique Laguna, así como la clasificación de los diques de acuerdo a su construcción.**

**Por último se tiene un catálogo de conceptos correspondiente a la reparación, basado en el plano anexo, al igual que las conclusiones de este trabajo.**

Este trabajo, es una recopilación de datos que en muchos casos son desconocidos para la misma Compañía de Luz y Fuerza del Centro (CLyF), por lo que espero sirva a profesionales como a estudiantes que quieran saber un poco de la historia de este sistema hidroeléctrico y de su funcionamiento, y que sirva para hacer un poco de conciencia sobre la importancia que tiene, el dar mantenimiento a una obra de esta magnitud como lo es el Sistema Hidroeléctrico Necaxa.

# ANTECEDENTES

## **SISTEMA HIDROELÉCTRICO DE NECAXA.**

### **ORIGEN DE LA FUERZA MOTRIZ EN MÉXICO.**

A principios del año de 1850, Don José Justo Gómez, Conde de la Cortina, hizo una visita expresa a la zona de Necaxa, quedando maravillado por las impresionantes cascadas que formaban el río Necaxa al seguir el cauce hacia el Golfo de México, posteriormente atraído por el contenido de sus memorias el Ing. Antonio García Cubas efectuó un intenso recorrido por la misma zona durante el mes de Noviembre de 1871 y del cual hizo amplia difusión en 1874, en que publicaba sus impresiones de un viaje a la Sierra de Huauchinango, Puebla.

Al iniciarse la colonización de "La mesa de Metlatoyuca" o de Coroneles, un francés de gran visión, el Dr. Valquiré, realmente el descubridor de las posibilidades industriales de las aguas del río Necaxa, abandonó su intento primitivo de dedicarse a la agricultura y regresó a la ciudad de México en donde se propuso y obtuvo la formación de una compañía, " La Societe du Necaxa" que se fundó de acuerdo con la concesión federal del 25 de Junio de 1895 y que en el lapso de 5 años reunió un capital que estimó suficiente para iniciar sus labores, comisionando a efecto a los Ingenieros Emilio Dessormes, Rene Frottier y Alberto González para adquirir los terrenos de "Salto Chico y la Mesa de las Flores, conocido en la actualidad como La Mesa" a su

propietario Cipriano Garrido, verificándose traslado de dominio de dichos predios en la suma de \$ 1,800.00 según contrato del 10 de Junio de 1899.

Obtenidos simultáneamente los datos técnicos necesarios se establecieron las oficinas en "La Mesa" y se iniciaron los trabajos de perforación de un túnel que iba a atravesar en la dirección SW. a NW, este túnel nunca fue terminado y actualmente se encuentra abandonado, pero todavía se le menciona como el "Túnel de los Franceses".

Como pronto se agotaron los recursos de esta empresa sin haber logrado avances de consideración, la sociedad se desintegró antes del vencimiento de su concesión, cediendo a la vez sus derechos al Dr. Frederick Stark Pearson, quién fundó con capital canadiense "The Mexican Light & Power Co. Limited" y obtuvo el control sobre todas las aguas de jurisdicción federal en el año de 1902, como cesionaria de aquella en los términos del contrato que celebró con el Gobierno del General Porfirio Díaz el 24 de marzo de 1903, "Para ejecutar y conservar las obras hidráulicas, mecánicas y eléctricas necesarias o convenientes para el aprovechamiento de la fuerza motriz, tanto de la aguas como de las caídas naturales actualmente existentes y las que puedan producirse en los ríos de Tenango, Necaxa y Xaltepuxtla..." y comprometiéndose para "... dentro de un plazo de cuatro años establecer las obras mecánicas, hidráulicas y eléctricas suficientes para producir 15,000 caballos de fuerza mecánica

(11,190 KW) y dentro del plazo de 10 años tener establecidas las obras que fueren necesarias para producir un total de 30,000 caballos de fuerza 22.380 kilowatts.

Antes de finalizar los plazos previstos por el Gobierno quedaba en condiciones el generador número 3 para hacer la primera prueba. De esta forma se iluminaba por primera vez la capital de la República con el producto de una estación perdida en los lugares mas agrestes de la Sierra Norte del estado de Puebla.

Conociendo ahora someramente los orígenes de la energía eléctrica y con el fin de comprender mejor la magnitud del sistema Necaxa, es preciso diferenciar los dos sistemas que la forman: El sistema Hidráulico formado por su cuenca de captación, sus divisiones, sus presas, túneles y derrames de excedentes. Y el sistema Eléctrico formado por sus plantas de generación y transmisión.

Debido a que los antecedentes que se tienen del Sistema Hidráulico Necaxa son muy extensos y que inician a principios del siglo XX, se presenta a continuación una breve reseña en la que se puede ver los acontecimientos más importantes ocurridos alrededor de esta obra civil.

1901 Puesta en servicio del Sistema Salto de Juanacatlán  
Objetivo: Iluminar la ciudad de Guadalajara.

- 1902 Puesta en servicio del Sistema San Miguel Regla  
Objetivo: Iluminar la ciudad de Pachuca y servicio a la  
Compañía Minera Real del Monte.
- 1903 Puesta en servicio de la planta eléctrica de Zamora,  
Michoacán; de la Compañía Guanajuato Power and  
Electric Co.  
Objetivo: Iluminar la ciudad de Guanajuato.
- 1903 Se inició la construcción de la Planta Hidroeléctrica de  
Necaxa, lugar enclavado en la Sierra Norte de Puebla  
que forma parte de la Sierra Madre Oriental.

Desde el año 1850 Don. José Justo Gómez, Conde de la  
Cortina había proporcionado datos relativos a la  
potencialidad y belleza de esta zona.

En 1871 el Geógrafo Ing. Antonio García G. publica con  
amplitud detallada sus estudios acerca de la zona.

Al no contar la región con ningún río de importancia, se  
vió la necesidad de construir la presa de Necaxa.

Inicialmente el Dr. Valquire con la "Societe du Necaxa"  
inició trabajos que posteriormente abandonó, y fue la  
"Mexican Light and Power Company Limited" al mando

**del Ing. Frederick Stark Pearson, quien lleva acabo la colosal obra de construcción hasta su culminación.**

**El dique se formó con un corazón impermeable de arcilla, de cerros aledaños, la cual se conducía disuelta en agua a través de canales que la descargaban a lo largo del mismo, luego por evaporación se extraía el agua quedando el material consolidado.**

**Se terminó con tierra zampeando ambos taludes con piedra.**

**Durante la construcción de las instalaciones en forma provisional se instaló una planta 445 mts. abajo del nivel de las obras para los servicios propios.**

- 1905 Terminación de la primera etapa de planta Necaxa con dos turbinas Pelton de 8 Mw. enviando su energía a la ciudad de México.**
- 1905 Puesta en servicio de 4 unidades de 2 Mw. logrando entonces ser la planta hidroeléctrica más grande de la república.**
- 1911 Puesta en servicio de 3 unidades adicionales en la Planta Hidroeléctrica.**



- 1922      Necaxa de 16 Mw.
- 1923      Puesta en servicio de la Planta de Tepexic con dos unidades de 15 Mw. aprovechando el agua saliendo de P. H. Necaxa 200 mts. abajo.
- 1927      Entra en servicio la 3ª unidad de P. H. Tepexic de 15 Mw.
- 1928      La planta hidroeléctrica de Tezcapa con una unidad de 1.5 Mw. y otra de 3.8 Mw. es puesta a funcionar.
- 1954      Se concluye y pone en servicio la P.H. Patla 200 mts abajo de Tepexic con 3 unidades de 1.5 Mw.

La capacidad total instalada en las cuatro plantas generadoras alcanza un valor de 210 Mw. siendo la planta más importante de todo nuestro sistema ya que abastecía toda la ciudad de México llegando hasta la zona del Oro en el Estado de México

## **APROVECHAMIENTO DEL SISTEMA NECAXA.**

### **1. Sistema en operación.**

#### **1.1 Descripción del sistema hidráulico.**

Este sistema se compone de tres divisiones:

**PRIMERA DIVISIÓN.** Río Necaxa, en la que se tienen las presas de regulación altas de Laguna y los Reyes.

La presa de los Reyes está conectada artificialmente al río Necaxa.

Las aguas de esta división descargan en el vaso de Necaxa.

Antes de llegar al vaso de Necaxa se tiene el pequeño aprovechamiento de Tezcapa ( $5 \times 10^3$  Kw).

**SEGUNDA DIVISIÓN.** La componen los ríos Hueyatlaaco, Xilocuautla y Matzontla, llegando al vaso de Acatlán de donde se pueden derivar a las presas Tenango o Necaxa.

**TERCERA DIVISIÓN.** Consiste en un túnel revestido de concreto de 30 kilómetros de longitud que capta en su recorrido, 26 ríos superficiales y algunas corrientes subterráneas. El aporte más importante es el del río Laxaxalpan.

Se inicia en la toma 26 cerca de Zacatlán, Puebla, y descarga en el río Xaltepuxtla, derivándose a su vez a la presa Nexapa o saliendo del sistema cuando los vasos están llenos.

El agua captada en las tres divisiones llega al vaso de Necaxa y de ahí pasa a las plantas generadoras de Necaxa, Tepexic y Patla.

### 1.2 VOLÚMENES DE AGUA DISPONIBLES.

En el período 1921-1982 se captaron en el sistema:

	VOLUMEN MEDIO ANUAL	GASTO MEDIO
	$10^6 \text{ m}^3$	$\text{m}^3/\text{seg.}$
1a DIVISIÓN	164	5.2
2a DIVISIÓN	79	2.5
3a DIVISIÓN	324	10.3
TOTAL SISTEMA	567	18.0

### 1.3 GENERACIÓN.

Con los volúmenes de agua disponibles se pudieron haber generado  $1004 \times 10^6$  KWH / año, sin embargo, debido a los

derrames y volúmenes de agua no utilizados, de los registros de 1931 a 1982 se tiene un gasto medio turbinado de  $15.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , equivalentes a  $866 \times 10^6 \text{ KWH/año.}$

## **2. PROYECTO TECOLUTLA.**

### **2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.**

La Comisión de Aguas del Valle de México (C.A.V.M.) dependiente de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, comunicó que tiene como proyecto inmediato el traer el agua del sistema para usarse como agua potable en área metropolitana del Valle de México.

El proyecto consiste en utilizar todas las obras hidráulicas del sistema en su estado actual, a excepción de la presa de Laguna como vaso regulador, efectuando el bombeo necesario desde los otros vasos.

### **2.2 VOLÚMENES DE AGUA QUE SE PRETENDEN TRAER AL VALLE DE MÉXICO.**

#### **2.2.1 PRIMERA ETAPA:**

Extracción media de  $9 \text{ m}^3/\text{seg.}$  del sistema existente.

### 2.2.2 SEGUNDA ETAPA:

Extracción media adicional de  $7\text{m}^3/\text{seg.}$ , para un total de  $16\text{m}^3/\text{seg.}$ , captando los escurrimientos de la parte alta de los ríos Apulco, Tecuantepec y Laxaxalpan.

## 3. AFECTACIÓN AL SISTEMA POR EL PROYECTO TECOLUTLA.

### 3.1 PRIMERA ETAPA

Extrayendo  $9\text{m}^3/\text{seg.}$  del sistema para C.A.V.M., quedarían disponibles  $9\text{m}^3/\text{seg.}$  para generar teóricamente  $502 \times 10^6$  KWH/año, el agua efectiva para generación sería de  $6.5 \text{m}^3/\text{seg.}$  a lo que corresponden  $363 \times 10^6$  KWH/año.

### 3.2 SEGUNDA ETAPA.

Se estima que la C.A.V.M. introducirá al sistema Necaxa,  $7\text{m}^3/\text{seg.}$  de la siguiente manera:

PARTE ALTA	GASTO MEDIO
RÍOS	$\text{m}^3/\text{seg.}$
Laxaxalpan	3
Tecuantepec y Apulco	4

Actualmente en la toma 26. de la tercera división, el río Laxaxalpan lleva  $4\text{m}^3/\text{seg.}$  de los cuales se captan  $3\text{m}^3/\text{seg.}$  saliendo del sistema  $1\text{m}^3/\text{seg.}$

En estas condiciones el sistema quedaría:

Total sistema existente	$18\text{m}^3/\text{seg.}$
Aportación ríos Tecuantepec y Apulco	+4
Remanente río Laxaxalpan	+1
Extracción por C.A. V.M.	-16
Remanente para Generación	$7\text{m}^3/\text{seg.}$

Con este remanente se podrían generar  $391 \times 10^6$  KWH/año teóricos, restando los derrames y el agua no usada se podrían turbinar  $4.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$  dando  $251 \times 10^6$  KWH/año.

#### 4. PROYECTOS PARA COMPENSAR AL AGUA Y LA GENERACIÓN.

#### **4.1 CUARTA DIVISIÓN.**

Consiste en captar 12 corrientes superficiales de la cuenca alta del río Cazones, por medio de un túnel de 28 km. de longitud, que se iniciará cerca de la población de Tenango de Doria, Hgo. y descargaría en la presa Necaxa.

Se realizaron por L y F trabajos obteniéndose un gasto medio aforado de  $3.8 \text{ m}^3/\text{seg.}$  (1950-1958) y planos preliminares.

El gasto medio aprovechable es del orden de  $3.0 \text{ m}^3/\text{seg.}$

#### **4.2 TERCERA DIVISIÓN.**

Mejorar las captaciones a lo largo del túnel existente, con el fin de introducir al sistema las aguas que actualmente no se aprovechan. Estas obras aportarían al sistema un gasto del orden de  $1.4 \text{ m}^3/\text{seg.}$

#### **4.3 AUMENTAR LA CAPACIDAD DE REGULACIÓN.**

Es factible construir las presas de Tezcapa con capacidad de  $20 \times 10^6 \text{ m}^3$  y Acatlán con capacidad de  $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ , así como desazolver el vaso de Necaxa (aprox.  $12 \times 10^6 \text{ m}^3$ )

#### **4.4 CONSTRUIR LA PLANTA DE PATLA II.**

## **5. COMENTARIOS.**

Las cifras mencionadas están basadas en años medios y los datos fueron obtenidos de:

Departamento Hidráulico, L y F.

Departamento de Necaxa, L y F.

C.A.V.M..

S.A.R.H. (Boletines hidrológicos).

El gasto medio de  $18 \text{ m}^3 / \text{seg.}$ , en el período 1921-1982, incluye los volúmenes derramados. El gasto medio turbinado, de 1931 a 1982, fue de  $15.5 \text{ m}^3 / \text{seg.}$

Aumentando la capacidad de regulación en el sistema y optimizando las políticas de operación del sistema los derrames disminuirían.

Todas las obras hidráulicas del sistema están en funcionamiento.



## 6. CONCLUSIONES.

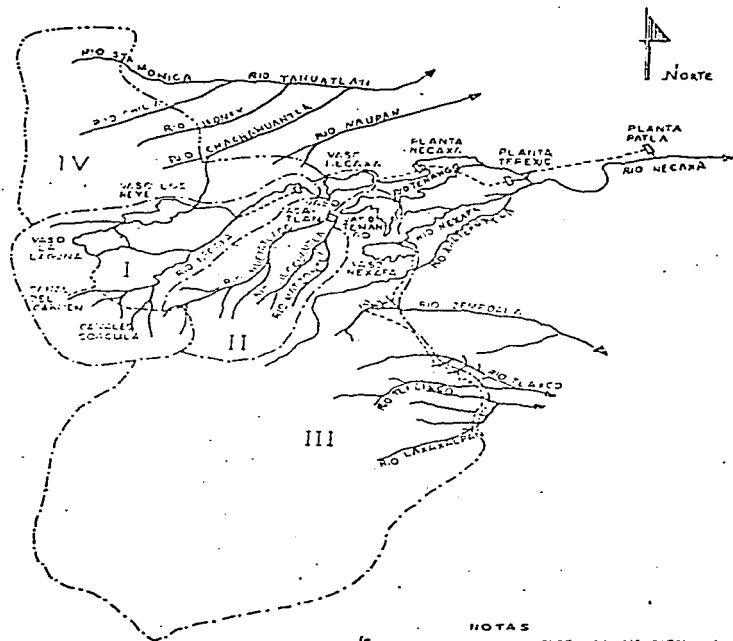
Como se puede observar en la tabla, en la segunda etapa del proyecto Tecolutla y sin que LyF ejecute trabajo alguno, la generación media anual sería del orden de un 30% de la generación actual media.

En el caso de construir la cuarta división y las mejoras de la tercera se podrían generar del orden del 60% de la actual.

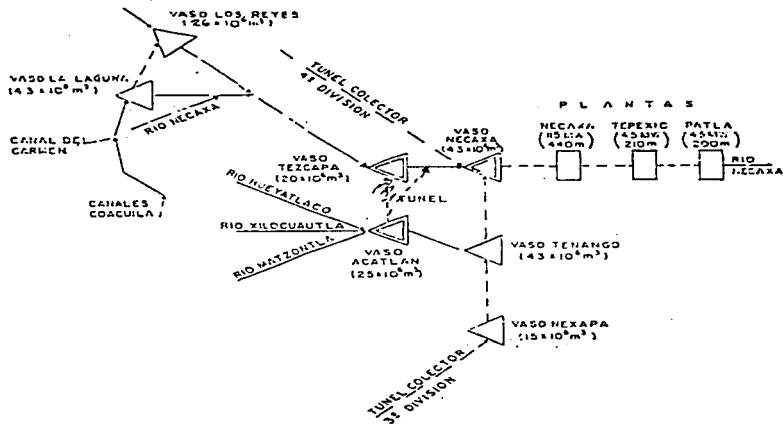
Con las mejoras y adiciones mencionadas en la planta de Patla II se llegaría a un 70%.

Por lo anterior se concluye que no es conveniente abandonar el sistema cuando C.A.V.M. exporte el agua al Valle de México. Es necesario efectuar el estudio detallado del funcionamiento mensual de los vasos del sistema así como el costo de los proyectos por realizar.

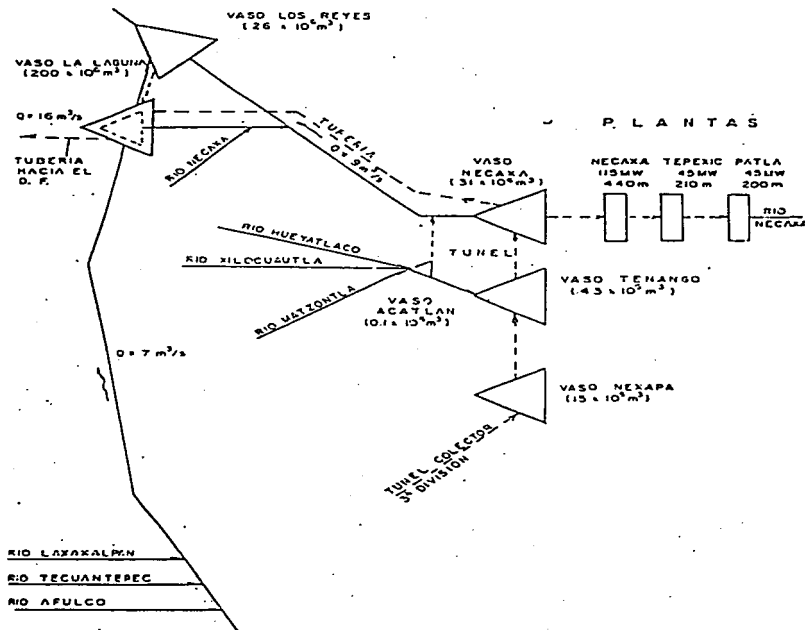
CONDICIÓN	GASTO MEDIO m <sup>3</sup> /seg.					VOLUMEN MEDIO ANUAL DISPONIBLE PARA GENERACIÓN 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	GENERACIÓN	
	EN EL SISTEMA	PARA C.A.V.M	DE OTRAS CUENCAS	TOTAL	PARA GENERACIÓN		MEDIA ANUAL 10 <sup>6</sup> KWH	%
ACTUAL	18.0	0	0	18.0	15.5	489	866	100
1ª ETAPA PROY. TECOLUTLA	18.0	9.0	0	18.0	6.5	205	363	42
2ª ETAPA PROY. TECOLUTLA	18.0	16.0	4 1	23.0	4.5	142	251	29
2ª ETAPA PROY. TECOLUTLA	18.0	16.0	4 1 3	26.0	7.5	237	419	48
2ª ETAPA PROY. TECOLUTLA	18.0	16.0	4 1 1.4	24.4	5.9	166	329	38
2ª ETAPA PROY. TECOLUTLA	18.0	16.0	4 1 2 4	27.4	8.9	281	497	57
** PATLA II	18.0	16.0	4 1 2 4	27.4	8.9	281	606	70



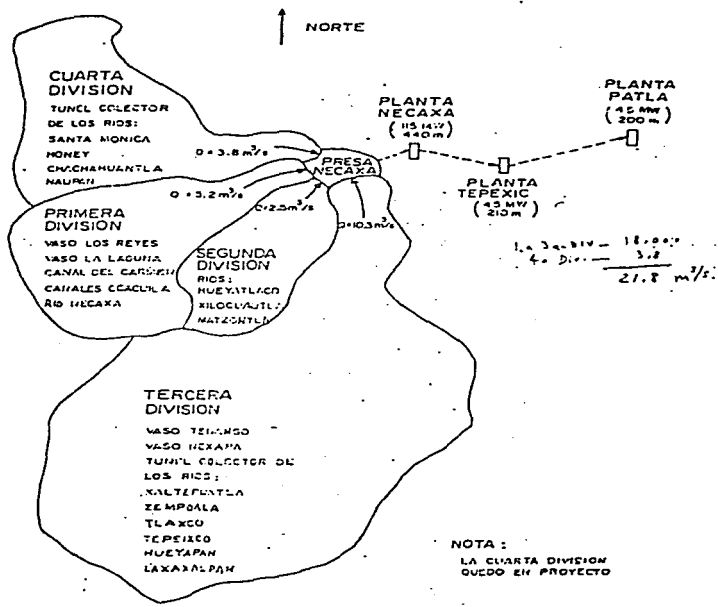
DIVISIONES DEL SISTEMA HIDROELECTRICO NECAXA



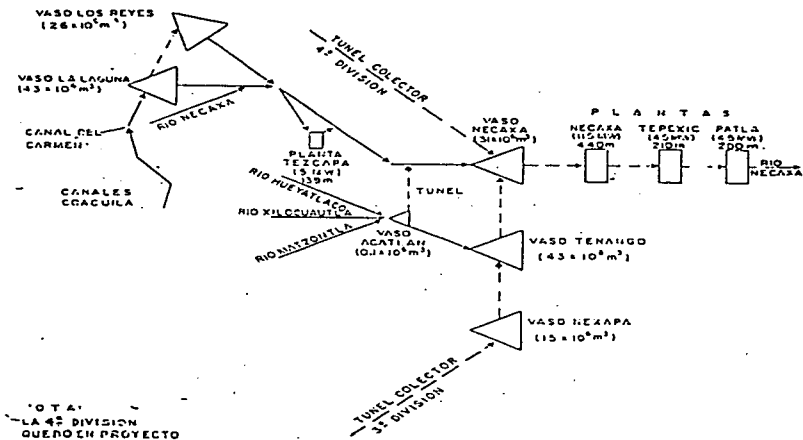
MEJORAS AL SISTEMA NECAXA ACTUAL



ESQUEMA HIDRAULICO DEL PROYECTO TECOLUTLA TOTAL



CUENCAS DE LAS DIVISIONES DEL SISTEMA NECAXA



ESQUEMA HIDRAULICO DEL SISTEMA NECAXA

DESCRIPCIÓN GENERAL  
DEL SISTEMA  
HIDROELÉCTRICO  
NECAXA



## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA HIDROELÉCTRICO NECAXA.

Debido a las necesidades del hombre por la corriente eléctrica, ahora podemos disfrutar del progreso de nuestro siglo, con el fin de conocer la magnitud del sistema Necaxa, es preciso diferenciar los dos sistemas que lo forman: El sistema Hidráulico con su cuenca de captación, sus divisiones, sus presas túneles y derrames de excedentes y el sistema eléctrico con sus plantas de generación y transmisión. Comencemos con el sistema Hidráulico.

### SISTEMA HIDRÁULICO.

El sistema Hidráulico de Necaxa, consta de una variedad de tomas de agua que captan aproximadamente unos cuarenta ríos de la zona norte de la Sierra de Puebla. El caudal se conduce por canales y túneles para almacenarlo en cinco presas que son las siguientes:

Necaxa	con capacidad de	31,000,000 m <sup>3</sup>
Tenango	con capacidad de	43,100,000 m <sup>3</sup>
Nexapa	con capacidad de	15,500,000 m <sup>3</sup>

Laguna	con capacidad de	43,500,000 m <sup>3</sup>
Los Reyes	con capacidad de	26,100,000 m <sup>3</sup>
	S U M A	----- 159,200,000 m <sup>3</sup>

El río Necaxa que constituye el tronco de la Primera División, es seguramente el segundo en importancia en la zona. Antes de ser captado y conducido por tuberías a la Planta de Necaxa, formaba las cataratas de "Salto Chico" y "Salto Grande", de 120 y 230 mts. de caída, respectivamente, que en tiempo de lluvias, se considera debe haber descargado caudales del orden de 300 m<sup>3</sup> por segundo.

La Segunda División está formada por los Ríos Cuacuila, Acaxotla, Piedras de Amolar y otros varios afluentes y termina en la Presa de Acatlán.

La línea de túneles que constituye la Tercera División, es una obra maestra de la ingeniería, consistente en un túnel revestido de concreto de 30 kilómetros de longitud que atraviesa las montañas de la Sierra de Puebla en dirección Sur-Norte, localizado entre Zacatlán y Necaxa. Este túnel tiene una capacidad de conducción de hasta 30 metros cúbicos por segundo y capta 26 ríos superficiales, varios ríos subterráneos y trabaja.

además, como galería filtrante de las montañas en toda su longitud.

El río más importante que alimenta el Sistema es el Laxaxalpan, cuyas crecientes suelen ser de 500 metros cúbicos por segundo. El dique correspondiente a la presa de Necaxa, constituye también una maravillosa obra de ingeniería, pues dada la carencia de piedra apropiada y la falta de materiales resistentes, tales como el concreto, en la época en que se inició su construcción, los ingenieros encargados de la obra decidieron utilizar, como único material la arcilla originaria de este lugar, que es de muy buena calidad.

Para la formación del corazón impermeable del dique que es la parte medular del mismo, se construyeron diques auxiliares de tierra que formaron, posteriormente, los paramentos de la obra. Estos fueron subiendo de nivel con el ritmo de avance de la construcción. La hondonada que se formó entre los paramentos se fue llenando con agua mezclada con arcilla obtenida por el deslave de lugares cercanos. Esa arcilla, se depositaba en el fondo de la superficie anegada, en partículas muy finas, y el agua que servía para acarrearla se evaporaba por acción del sol y del aire. En esta forma fue subiendo el dique milímetro a milímetro, hasta alcanzar su altura final que es de 56 metros, habiéndose requerido un término de doce años para llevar a cabo la obra.

Finalmente el dique quedó concluido con una longitud de 384 metros, y una altura máxima de 56 metros sobre el fondo del río; quedando la cresta del mismo a 1,344 metros sobre el nivel del mar. Los paramentos seco y mojado se cubrieron con piedra para protegerlos de deslaves que pudieran provocar las lluvias.

### **EL SISTEMA ELÉCTRICO.**

El sistema Eléctrico está formado por tres grandes plantas: Necaxa, Tepexic; Patla y la pequeña planta del río Tezcapa, donde se genera la corriente eléctrica que es concentrada en la Subestación "El Salto".

### **PLANTA DE NECAXA.**

La caída hidráulica estática con que trabaja la Planta de Necaxa es de aproximadamente 444 metros.

El consumo máximo de agua de la planta es de 32 metros cúbicos por segundo, dando una potencia efectiva de aproximadamente 154.000 caballos, que equivalen aproximadamente a 120.000 kilovatios.

Cuenta con diez generadores: 6 de 8,250 kilowatts con turbinas de 22.000 HP. cada uno.

Los generadores de menor capacidad fueron los primeros que se instalaron en la planta, entrando en servicio en 1905.

Todos los generadores operan a la tensión de 4.400 voltios, con lo que se alimentan los bancos de transformadores que la elevan a 100.000 voltios. Son dos bancos de 30.000 KVA. cada uno y dos de 32.000 KVA. cada uno de ellos.

Las unidades de transformadores que corresponden a cada una de las fases del sistema eléctrico se encuentran instaladas en celdas individuales dentro del edificio de la planta, siguiendo la práctica antigua.

### **TURBINAS HIDRÁULICAS.**

El movimiento que se imparte a los generadores de la planta proviene de las ruedas de impulso acoplada al extremo inferior de la flecha de cada una de las máquinas. Este equipo no es visible desde los pasillos o lugares normales de tránsito. La rueda de impulso (rueda Pelton), es simplemente una unidad de acero con cucharas del mismo material fijadas a la periferia del impulso.

El movimiento se imparte a las cucharas por medio de 2 chorros de agua que chocan en las mismas obligándolas a moverse, y haciendo girar la rueda correspondiente.

## **PLANTA DE TEPEXIC.**

La planta de Tepexic se encuentra a 680 metros sobre el nivel del mar.

Consta de 3 máquinas de 20,000 caballos cada una, o sea un total de 45,000 kilowatts. Son turbinas de reacción de flecha horizontal, las tres de tipo Francis.

Hay tres bancos de transformadores de 15,000 KVA. cada uno para elevar de 6 a 100,000 Volts la energía que se transmite a El Salto. Estos bancos están instalados a la intemperie, según la práctica moderna.

La Planta de Tepexic toma el agua en el tanque de descarga de Salto Grande por un túnel de 3.8 kilómetros de longitud, de 3.20 metros de diámetro y con un área de 8 metros cuadrados y pendiente media de 3 al millar. La capacidad máxima de conducción del túnel es de 27 metros cúbicos por segundo y la carga estática hidráulica de la planta es de 209 metros.

## **PLANTA DE PATLA.**

La planta de Patla se alimenta con el agua que descarga la Planta de Tepexic, aumentada de caudal que se deriva de los Ríos Xaltepuxtla y de Necaxa. La toma respectiva puede verse inmediatamente abajo de la planta de Tepexic, contando con

compuertas de descarga, una de las cuales es automática, y las otras dos controladas mecánicamente, para conservar el nivel del agua y una altura apropiada para el funcionamiento de la Toma y el Túnel.

#### **TÚNEL.**

El Túnel de Patla tiene una longitud total, aproximada de 6,200 metros; un área útil de 10 metros cuadrados y una capacidad de conducción de 30 metros cúbicos por segundo; tiene un diámetro de 3.60 metros. Termina en una chimenea o Tanque de oscilación de donde se derivan 3 tuberías correspondiendo cada una de ellas a una de las turbinas de la Planta.

#### **PLANTA.**

Cuenta con 3 generadores movidos por turbina tipo Francis de 200,000 caballos de fuerza. Son de 15,000 Kilowatts y entregan fuerza eléctrica a la tensión de 10,500 Volts.

Carga estática total, 200 metros; consumo máximo de agua; 30 metros cúbicos por segundo.

En el exterior de la Planta se cuenta con 3 bancos de transformadores de 15,000 K.V.A. de capacidad cada uno y con los interruptores correspondientes a los propios bancos y a la línea de transmisión de 100 KV. que conduce la energía de la planta hasta la subestación "El Salto".

#### **PLANTA DE TEZCAPA.**

Existe una cuarta Planta en el Sistema de Necaxa, que es la de Tezcapa que se aprovecha para generar con el agua que se lleva de los vasos altos (Laguna y Los Reyes), a la Presa de Necaxa mediante el río y un canal de 5,680 mts. con capacidad de 5 metros cúbicos por segundo.

La caída de la Planta de Tezcapa que trabaja como Planta de río es de 139.3 mts. y cuenta con dos unidades de capacidad total de 5,367 KW

Las turbinas son marca Voith y los generadores son marca Metropolitan Vicker's.

#### **DATOS DEL EQUIPO.**

Turbina	Nº 1	2,250	C.V.
Turbina	Nº 2	5,230	C.V.



Generador N° 1                    1,567            KW

Generador N° 2                    3,800            KW

Esta planta está conectada a la red de 23 KV. de las líneas que alimentan las estaciones de bombeo de los oleoductos de Pemex.

### MOVIMIENTO DE COMPUERTAS.

A continuación se presenta un cálculo de constantes, para calcular el gasto tanto en túneles como en los diques que forman parte del sistema Necaxa.

COMPUERTA	"C"	COMPUERTA		$\sqrt{2g}$	$CA\sqrt{2g}$
		ANCHO	ABIERTA		
Túnel Tenango	0.60	1.067	0.01	4.425	0.028
Dique Laguna	0.72	1.250	0.01	4.425	0.040
Túnel Laguna Los Reyes	0.62	1.200	0.01	4.425	0.033
Dique Los Reyes	0.70	1.500	0.01	4.425	0.047
Dique Nexapa	0.60	2.440	0.01	4.425	0.065

	ELEVACIÓN CENTRO DE LA COMPUERTA	ALTURA DE LA COMPUERTA
Túnel Tenango	1326.67	3.049

Dique Laguna	2169.25	1.800
Túnel Laguna Los Reyes	2170.95	1.200
Dique Los Reyes	2145.31	1.500
Dique Nexapa	1345.67	2.440

Para el cálculo del gasto "Q" en la compuerta del Túnel Tenango, debe tomarse como valor de "H", la diferencia de elevaciones entre el Vaso de Necaxa y el Vaso de Tenango.

El Túnel Laguna - Los Reyes, da únicamente una capacidad máxima "Q" igual a 10m<sup>3</sup>/seg.

Las compuertas de descarga de Laguna, empiezan a trabajar después de 5 cm. de abertura inicial.

#### DESCRIPCIÓN DE LA CONDUCCIÓN DEL AGUA.

En la planta de Necaxa, el agua que mueve las turbinas de la planta generadora, viene de la torre de toma de Necaxa y de la tubería de 7 pulgadas de Tenango.

La torre de toma de Necaxa está dividida longitudinalmente en dos partes; un lado Sur y un lado Norte. Cada lado tiene, a diferentes niveles, 6 compuertas de entrada de agua. De estas compuertas siempre deben estar abiertas debajo del agua, 3 de cada lado, para garantizar el gasto necesario de plena generación de la Planta de Necaxa.

Las compuertas más bajas están cerradas y tapadas con azolve.

**Los dos tubos de 8 pulgadas que salen de la Torre de Tomá al pie del dique se unen y se conectan con la tubería de Tenango.**

**Estos tubos se dividen en tres tuberías llamadas de Baja Presión; dos de ellas de 6 pulgadas y una de 7 pulgadas de diámetro.**

**Estas tuberías se unen en la Casa de Válvulas de Necaxa por medio de 3 distribuidores y de cada distribuidor parten las tuberías de fuerza (una por unidad) hasta la Planta de Necaxa. Al principio de cada tubería de fuerza, se encuentra una válvula de mariposa, que tienen por objeto, proteger la tubería en caso de rotura. Dichas válvulas pueden operarse automáticamente, manualmente ó eléctricamente.**

**A continuación de las válvulas de mariposa de cada tubería de fuerza tiene una tubería de respiración que hace las veces de tanque de oscilación rudimentario que además permite la entrada de aire en caso de vaciarse la tubería.**

**De la Casa de Válvulas, las tuberías de fuerza bajan por 3 túneles a la Planta de Necaxa.**

**Por el túnel Norte van las tuberías de las unidades 3, 4 y 5.**

**Por el túnel Centro van las tuberías de las unidades 6, 7 y 8.**

**Por el túnel Sur van las tuberías de las unidades 1, 2, 9 y 10.**

Estas tuberías tienen una longitud de 750 mts. de largo, con un diámetro y un espesor de:

Unidades 1, 2, 9 y 10 diámetro de 120 a 100 cm. Espesor de 10 a 31 mm.

Unidades 3 a 8; diámetro de 76 a 73 cm. Espesor de 10 a 24 mm.

La tubería que alimenta los excitadores es una tubería de 12 pulgadas que va por separado en el túnel Centro.

#### CASA DE FUERZA.

La Planta de Necaxa tiene 10 unidades, siendo estas las números 1, 2, 9 y 10 de 22,000 HP., 16,000 KW., y las números 3 a 8 de 11,000 HP., 8,000 KW.

Las unidades giran a 300 r.p.m. La planta cuenta, para servicio normal con 3 excitadores.

#### TURBINAS.

Las turbinas de Necaxa son del tipo de impulso Pelton de 300 r.p.m., de eje vertical, alimentadas por dos toberas colocadas diametralmente opuestas. Estas turbinas trabajan con una caída estática máxima de 443 mts.

El consumo de agua a plena capacidad de las turbinas grandes es de  $4.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$  y de las chicas de  $2.4 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , esto equivale a un gasto máximo de  $32.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$  o sea  $117,000 \text{ m}^3/\text{hora}$ , lo que equivale a una generación de  $112,000 \text{ KW}$ .

El factor  $\text{m}^3/\text{KW}$  de la Planta de Necaxa varía de acuerdo con la elevación del vaso y puede ser desde un valor mínimo (elevación de  $1301 \text{ mts.}$  -  $406 \text{ mts.}$  de caída estática-  $1.14 \text{ m}^3/\text{KWH}$ ) a un valor máximo (elevación de  $1344 \text{ mts.}$  -  $449 \text{ mts.}$  de caída estática-  $1.04 \text{ m}^3/\text{KWH}$ ).

Este último valor corresponde a una elevación de  $6 \text{ mts.}$  arriba del derrame Sur.

La eficiencia total de la Planta se tiene considerada como de un  $79\%$ .

Las turbinas 1 a 9 son marca Escher Wyss y la N° 10 es marca Morgan Smith.

Las turbinas 1, 2 y 9 tienen 26 cucharas; las 3 a 8 tienen 28 cucharas y la turbina 10 consta de 12 cucharas dobles.

Como ejemplo se da el dato de que las cucharas dobles de la unidad 10 pesan más de 400 Kg.- cada una.

Todas estas cucharas son postizas, fijadas con pernos a la rueda de la turbina.

### **TEJUELOS Y CHUMACERAS.**

Las unidades 1 a 9 tiene su tejuelo colocado arriba de la turbina y debajo del generador. La unidad N° 10 cuelga del generador. Las unidades grandes tienen además del tejuelo 3 chumaceras gufas, instaladas en la parte superior e inferior del generador y una instalada abajo del tejuelo.

Los tejuelos están encerrados en un depósito de aceite que se enfría por serpentines de agua. Las chumaceras gufas están conectadas al sistema de aceite a presión "Gould" excepto las chumaceras gufas superiores de los generadores 3 a 8 que tienen su propia taza de aceite.

### **AUXILIARES.**

El sistema de presión de aceite y lubricación Gould: Este sistema de presión de aceite se emplea para alimentar las chumaceras gufas de las unidades y para dar la presión de aceite a los servomotores de agujas y deflectores. Este sistema centralizado de presión de aceite comprende 2 bombas triplex de pistón marca

Gould movidas por turbinas hidráulicas. La capacidad del sistema de aceite es de 26500 lt. de aceite DTE Heavy medium y el consumo es de 530 lt/min. a una presión de 225 lbs./plg<sup>2</sup>.

Las bombas se alternan cada semana. En caso de emergencia se tienen 7 bombas triplex de pistón marca Biaschina. Una por cada unidad grande y una por cada dos unidades chicas. Estas bombas se ponen a trabajar un día al mes para tenerlas siempre en condiciones de funcionamiento óptimo.

#### **SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.**

Requieren refrigeración los transformadores y los tejuelos de las unidades. Esta agua con que se refrigeran es proporcionada por un sistema de enfriamiento que es movido por dos grupos motor bomba Sulzer de 110 HP a 1450 r.p.m. con un gasto de 127 lt./seg. las que también se alternan cada semana.

El agua de succión de las bombas se puede tomar del cárcamo de excitadores o de la Presa de Tepexic (salida de Necaxa). Normalmente se toma el agua del cárcamo de excitadores en vista de que en esta forma trabajan ahogadas.

Las bombas mandan el agua a un tanque alto que sirve como regulador de presión de 30 lbs./plg<sup>2</sup> y depósito de

almacenamiento. De éste tanque baja el agua y pasa a enfriar los transformadores y los tejuelos. Además existe una alimentación de emergencia de alta presión tomada de la tubería de fuerza N°1.

Los tejuelos a su vez pueden ser también alimentados por alta presión.

### **EXCITADORES.**

La excitación de la Planta de Necaxa se efectúa por separado por medio de 3 excitadores horizontales que pueden moverse por turbinas de impulso o por motores de inducción acoplados a la misma flecha. Normalmente los excitadores son movidos por las turbinas y únicamente cuando fallan éstas se conectan los motores.

Los excitadores 1 y 2 son de 2,000 amp., 125 V. a 500 r.p.m. El excitador N° 3 es de 4,800 amp., 125 V. a 500 r.p.m. Las turbinas 1 y 2 son de 370 HP y el excitador N° 3 de 860 HP

Las unidades 4, 5 y 7 tienen excitador propio de 400 amp. los que sólo se emplean para pruebas. Normalmente se usa el excitador N° 3 que tiene capacidad suficiente para producir la corriente directa (CD) que emplea toda la Planta a carga máxima. Los excitadores 1 y 2 se trabajan cuando la generación de la Planta es inferior a 90,000 KW.



## **TURBINAS.**

**Funcionamiento y Descripción:** Las turbinas de Necaxa son del tipo de impulso Pelton que utilizan la energía cinética de un chorro de alta velocidad que actúa sobre una parte pequeña de la circunferencia en cualquier instante, es decir, que el chorro descarga libremente a la presión atmosférica sobre las cucharas de las turbinas moviendo la rueda.

Las turbinas de impulso se emplean con caídas superiores a 250 mts.

En Necaxa la válvula principal admite el agua a las toberas instaladas diametralmente opuestas. La cantidad de agua que sale de las toberas depende de la abertura de las agujas. El movimiento de estas agujas es lento y el tiempo en recorrer toda la carrera es de 60 a 90 segundos. Este tiempo está calculado de tal manera que no se produzcan en el cierre sobre presiones peligrosas para la tubería de fuerza.

Para evitar las sobrevelocidades en un rechazo de carga (desconexión del generador) la turbina está equipada con deflectores que se interponen instantáneamente entre el chorro y las cucharas. Las sobrevelocidades son peligrosas por los esfuerzos de inercia a que someten la parte giratoria, así como a los sobrevoltajes que pueden producirse en el estator.

## **REGULADORES.**

Las turbinas hidráulicas están equipadas con reguladores de velocidad que están diseñados para regular la velocidad de la turbina dentro de un rango deseado aumentando o disminuyendo la cantidad de agua que se supe al impulsor para mantener balanceada la potencia entregada y la potencia absorbida por la turbina. El regulador también debe operar cuando el cambio de carga de la unidad cause una variación de velocidad.

Los reguladores en general se componen de los siguientes elementos:

1. El elemento que es responsable de la velocidad o sea el péndulo centrífugo.
2. Válvula de control que supe aceite a presión a los servomotores para controlar entrada de agua a la turbina.
3. Los servomotores que mueven el mecanismo de control, ya sea este de agujas o paletas directrices.
4. Un mecanismo de restauración que mantiene el servomotor en su posición correcta, o sea donde la potencia que recibe la turbina es igual a la carga del generador.
5. El sistema de presión de aceite para mover el servomotor.

**La operación fundamental del regulador es la siguiente:**

Una variación de velocidad origina la variación de la posición del péndulo centrífugo, este cambio de posición mueve la válvula de distribución o de control de tal manera que entra aceite a presión en el cilindro del servomotor ocasionando un movimiento de su pistón que a su vez mueve las agujas o paletas de la turbina. Este movimiento es transmitido también al mecanismo restaurador que lleva la válvula de control a su posición central una vez que se ha efectuado el movimiento de paletas o agujas necesario para compensar el cambio de carga.

El péndulo centrífugo debe responder al menor cambio de velocidad para iniciar el movimiento de corrección; la sensibilidad de este elemento es de suma importancia ya que cualquier retardo en responder al cambio de velocidad puede causar un efecto de bombeo en el regulador.

Además de los elementos fundamentales del regulador debe haber otras de protección, por ejemplo, si falla la transmisión del movimiento al péndulo centrífugo puede ser mecánico (por banda) o eléctrico por un generador instalado en la turbina y un motor en el regulador.

Los reguladores de Necaxa, excepto el de la unidad N° 10 que es marca Woodward, son marca Escher Wyss, los que tienen

**aproximadamente 30 años en servicio y su sensibilidad es baja, es decir, no responde a cambios de velocidad menores de 4%. En cambio los reguladores nuevos de la unidad N° 10 (y los de la Planta de Patla que también son marca Woodward) responden a cambios de velocidad hasta del 0.5%**

**Quando la Planta de Necaxa lleva la frecuencia esta es llevada por la unidad N° 10 con su regulador ajustado por ello.**

ESTUDIO Y CÁLCULO  
PARA LA  
REHABILITACIÓN  
DEL TÚNEL

### III. ESTUDIO Y CALCULO PARA LA REHABILITACIÓN DEL TÚNEL.

Después de la descripción que se da en el capítulo anterior, ahora hablaremos sobre el tipo de cortina que tienen los diques del Sistema Necaxa y el porque de los problemas que han presentado.

#### TIPOS DE CORTINAS.

Como sabemos, se construyen presas para crear un lago artificial, o derivar un río a una cota prefijada, con objeto de almacenar o captar los escurrimientos y regar tierras o generar energía, o bien dotar de agua potable a poblaciones o centros industriales. También sirven para regularizar el flujo de una corriente que provoca inundaciones en predios o poblados. Dichas estructuras no siempre responden a una sola de las finalidades antes enumeradas, mas bien se proyectan para funciones múltiples coordinando los servicios de riego, electrificación y regularización de avenidas, con miras al desarrollo integral de una región.

De lo anterior se puede inferir que la presa es el resultado de un estudio general, en el que intervienen las características del río, la geología de la región, la existencia de sitios apropiados para crear el embalse y cimentar la obra, de tierras de labor o

necesidades de energía en la región, o bien de poblaciones que proteger o dotar de agua.

## **CLASIFICACIÓN DE LAS CORTINAS.**

Atendiendo al procedimiento constructivo, son dos los tipos de cortina:

- Presas de relleno Hidráulico.
- Presas de materiales compactados.

### **PRESAS DE RELLENO HIDRÁULICO.**

Su característica fundamental es que los materiales integrantes de la sección, incluyendo los finos del corazón y los granulares relativamente gruesos de los respaldos permeables, son atacados en la cantera, conducidos a la cortina y colocados en ella por medios hidráulicos. Con la creación de un estanque al centro del terraplén y canales de distribución que parten de taludes exteriores, se logra una disposición adecuada del material explotado en cantera. Manteniendo un control estricto de las pendientes en los canales de distribución, los fragmentos más gruesos se depositan en la vecindad de los taludes exteriores, la fracción arcillosa o limosa se sedimentan en la parte central, y entre esta y la masa granular queda una zona de transición. Teóricamente la solución es atractiva. En la práctica, son varios

los factores que influyen en la construcción de la estructura, algunos de ellos de difícil vigilancia. A principios de siglo, los ingenieros ingleses introdujeron en México este tipo de presa (Laguna, Los Reyes, Nexapa, Tenango y Necaxa del sistema Necaxa).

#### **CANTERA.**

Debe prestarse a un ataque Hidráulico con chiflones o monitores, tener composición granulométrica aceptable y homogénea. Estos dos últimos requisitos son indispensables. El primero puede sustituirse por una explotación a base de explosivos, realizada en forma racional, para obtener el producto buscado. Pero no todas las canteras pueden servir a este propósito, y antes de tomar una decisión es necesario hacer pruebas en el campo, suficientemente amplias para que resulten representativas de una explotación en gran escala y permitan determinar variaciones en la composición del material.

#### **TRANSPORTE.**

Para que la conducción de los materiales pueda realizarse económicamente por medio de una corriente de agua, se requiere disponer de un desnivel entre la cantera y la cortina adecuado para mantener una velocidad alta. Esto limita el tamaño máximo del agregado de los fragmentos que se incorporan a la presa. Como no siempre existe dicha condición, puede ser costearle



explotar la cantera con explosivos, cargar el producto en camiones, transportarlo a la cortina y formar en ella montones, que se atacan con chiflones para repartir el material por sedimentación desde los taludes exteriores hacia el centro de la sección. Este procedimiento conocido con el nombre de semihidráulico, es más caro, pero tiene ventajas importantes sobre el anterior, al permitir clasificar los materiales en el camión y distribuirlos mejor en el sitio.

#### **TERRAPLÉN.**

Puesto que la colocación de materiales en la cortina se realiza por sedimentación, debe ser estricto el control de la velocidad del agua en las diferentes partes de la cortina, de otro modo, puede presentarse el caso de que deposite al centro una capa de arena, o bien se formen lentes de este material. Las fronteras de los que debe considerarse el núcleo impermeable y las secciones permeables son, en general variables. Las oscilaciones son causadas por cambios en la composición de la cantera y fallas de vigilancia en las pendientes de los canales de distribución y del terreno sobre el que escurre la suspensión del material.

#### **SECCIÓN DE LA CORTINA.**

El corte que se presenta en la figura 3.1 es típico de este tipo de estructuras. No sería posible destacar en forma precisa fronteras de los diversos materiales componentes, pues debido al

procedimiento de colocación de los tamaños grandes se pasa gradualmente al suelo fino que ocupa la zona central.

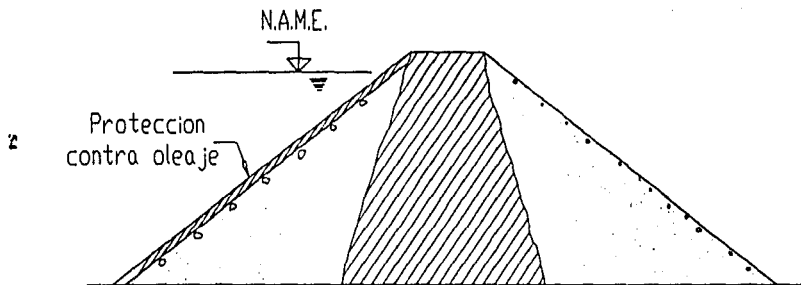


Fig. 3.1 Presa de relleno Hidraulico

Para hacer verificaciones de estabilidad, es indispensable determinar el límite entre los materiales granulares y los cohesivos, indicado en la figura como líneas irregulares. La ubicación de estas fronteras se obtiene a partir de la composición granulométrica media del material que se va a usar en la construcción, estableciendo la proporción en que se encuentran los dos tipos de suelo.

Las consecuencias de una variación importante en la cantera, o bien, de un control deficiente en la distribución del material en la cortina se exhiben en la figura 3.2.

La disponibilidad de materiales, equipo y personal experimentado, puede hacer que este procedimiento de construcción resulte atractivo por razones de costo. Sin embargo, son varias las desventajas que ameritan análisis. La más importante es que todos los materiales son colocados en estado suelto. Por tanto, puede decirse que la resistencia al corte es menor y tanto la compresibilidad como la susceptibilidad a la licuación, mayores que en cortinas de materiales compactados. En general, el volumen de una presa construida por este método es superior que otra de la misma altura realizada compactando los materiales. Las fallas de las presas de relleno Hidráulico, Fort Peck en Estados Unidos y Necaxa en México, han desprestigiado este tipo de construcción.

**El abaratamiento de los costos de colocación por capas y el desarrollo de equipos de compactación cada vez más eficientes.**

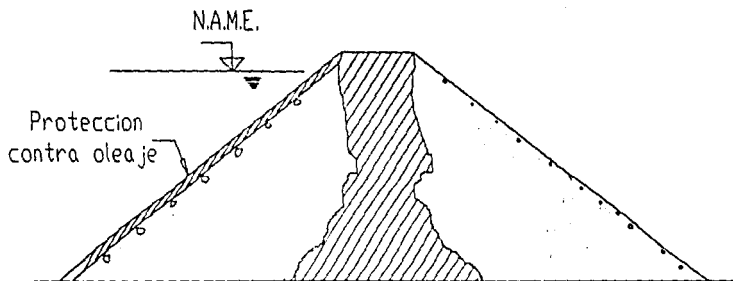


Fig. 3.2 Defectos en una presa de relleno hidraulico

han contribuido a que la alternativa de presa de relleno Hidráulico haya quedado relegada al olvido, en las dos últimas décadas; sin embargo, existe la tendencia a revivir el método aplicando nuevas técnicas de colocación y compactación de los materiales bajo agua para formar zonas que resulten impermeables.

### **PRESAS DE MATERIALES COMPACTADOS.**

La compactación de la tierra fue aplicada en Europa a principios del siglo XIX. En Inglaterra, hacia 1820, se usaron rebaños de ovejas; posteriormente, rodillos pesados de concreto o fierro. Dicha práctica fue llevada a California, EUA, por ingenieros europeos y aplicada en 1860. En ese mismo estado se desarrolló el rodillo pata de cabra (1905), con clavos de durmiente de unos 15 cm. de longitud. Los resultados fueron satisfactorios y en 1907 se compactó la presa Drum con este tipo de rodillo.

En esa época no se conocía la influencia del contenido de agua del suelo en la compactación. Varias presas construidas en Estados Unidos colocando la tierra sin controlar la humedad fallaron al entrar en operación; en la actualidad se supone que la estructura tenía capas compactadas en estado seco y otras húmedas construidas durante el período de lluvias. En Estados Unidos nacieron varias tendencias al respecto, una de ellas propiciando la colocación de la tierra con tal contenido de agua que era realmente lodo, y otra, aceptando el suelo en su

condición natural, que en las zonas áridas está muy próximo al estado seco.

En México, desde la creación de Ingeniería Experimental, Comisión Nacional de Irrigación (1936), se impone el requisito de la compactación para construir las terracerías de obras hidráulicas.

Pronto se comprendió que no había razón para colocar los filtros y las transiciones sin compactar, y se desarrollan rodillos vibratorios adecuados para este trabajo. Pocas son las estructuras de México que se han construido con especificaciones definidas al respecto. Hasta hace una década era usual exigir la colocación en capas de 20 a 30 cm, transitadas con las bandas de un tractor D8 o equivalente. En las presas Adolfo Ruiz Cortines (Mocúzari), Son., Miguel Hidalgo, Sin. y Benito Juárez (El Marqués), Oax., se extiende la norma anterior a las zonas permeables formadas con gravas y arenas. Finalmente (1960), para las presas El Infiernillo, Mich., y Netzahualcóyotl (Malpaso), Chis., se especifica la compactación de los enrocamientos, aún cuando contengan grandes fragmentos hasta de 50 a 60 cm de diámetro.

Las características de la sección en una presa de materiales compactados dependen de la disponibilidad de suelos y roca, de las propiedades mecánicas, de la topografía del lugar y de las condiciones geológicas.



## **FALLAS POR TUBIFICACIÓN.**

Fallas verdaderamente catastróficas son las debidas a la tubificación por erosión interna, ya que ellas ocurren sin previo aviso, con el embalse lleno y, a veces, muchos años después de que el vaso fue puesto en operación por primera vez. La falla del Dique Laguna Pue., que forma parte del Sistema Hidroeléctrico de Necaxa, construido a principios del presente siglo sobre una cimentación de suelos residuales y lava intemperizada, encaja justamente en la observación anterior.

## **DIQUE LAGUNA.**

### **Geología Regional.**

El dique Laguna es una de las estructuras que permite almacenar agua en el Sistema Hidroeléctrico Necaxa de la Compañía de Luz y Fuerza, localizado en la parte oriental de la Mesa Central de México, a 2,200 m sobre el nivel del mar.

El embalse se extiende en una región boscosa que tiene un desarrollo morfológico incipiente. La corteza terrestre está formada por rocas marinas plegadas (esencialmente areniscas del Jurásico), cubiertas por lavas basálticas y andesíticas alternadas con potentes depósitos de lava volcánica. El clima húmedo

(precipitación de unos 2,000 mm/año) a afectado intensamente los complejos volcánicos; con excepción de algunos afloramientos de roca, los suelos latríticos dominan en la región.

El dique se construyó sobre lavas y estratos de brecha fuertemente intemperizados, que están cubiertos por limos y arcillas porosas derivados de tobas. En algunos tramos del sitio se encuentran lentes de depósitos aluviales intercalados en las tobas, cuya permeabilidad es relativamente elevada. Los depósitos volcánicos que cubren las formaciones erosionadas del Jurásico son extraordinariamente erráticos.

#### **DESCRIPCIÓN DEL DIQUE.**

Antes de entrar en detalles, es interesante describir la práctica usual en materia de construcciones hidráulicas, a principios del siglo.

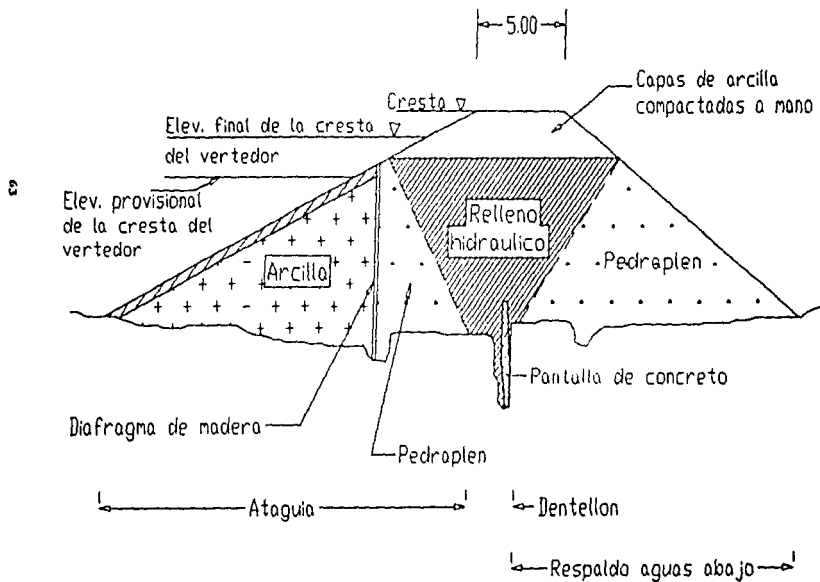
La revisión de planos generales de esa época, revela que el diseño de las presas del Sistema Necaxa (cinco en total) era empírico y que la mayoría de las estructuras sufrió cambios importantes durante la construcción. La figura 3.3 muestra esquemáticamente los criterios aplicados en México por, los ingenieros de ese tiempo.

Primero se construía una atagüfa de 10 a 15 m. de altura, aguas arriba del eje elegido. Esta estructura estaba formada por una masa de piedras y suelo arcilloso soportada por un pedraplén; y entre este y la masa impermeable, intercalaba un diafragma de madera. El material seleccionado de piedras y arcilla se colocaba en capas y era compactado a mano; no hay información acerca del contenido de agua y el espesor de las capas. El suelo se extraía de un préstamo longitudinal, localizado aguas arriba del sitio. Dicha práctica propició el acceso del agua a los depósitos susceptibles de erosión interna, subyacentes a los estratos superficiales más permeables.

El diseño final de la cortina se basaba en el comportamiento de la atagüfa, que operaba como una estructura piloto durante varios años, y en datos de escurrimiento del río durante ese lapso. La presa consistía en la atagüfa y un respaldo de enrocamiento, aguas abajo, entre las que se dejaba un espacio trapezoidal relleno de suelo acarreado hidráulicamente. Con anterioridad y en la base de la trinchera trapezoidal, se colaba un dentellón de concreto simple hasta la roca (profundidad variable). La parte superior de la cortina se construía mediante capas de arcilla compactadas a mano.

**El dique Laguna es diferente en dos aspectos del esquema antes descrito: el diafragma de madera fue sustituido por un muro de**

FIG. 3.3 TIPO DE PRESA CONSTRUIDA EN MEXICO A PRINCIPIOS DE SIGLO



concreto<sup>1</sup> y se incrementó la altura de la estructura agregando una masa de suelo arcilloso y piedras, aguas abajo. La atagufa tenía una altura de 12 m. y fue sobreelevada 4 m., varios años más tarde. Los taludes exteriores son 2:1 y el paramento mojado era protegido con mampostería; la cresta tiene 675 m. de longitud y 5 m. de ancho.

### **MEDICIÓN DE FILTRACIONES.**

Desde que se puso en operación el dique (1908) se observaron filtraciones en varios lugares, aguas abajo. No hay registros de los caudales respectivos hasta 1927, en que el flujo de agua aumentó, aparentemente por el progreso de la erosión interna.

Como la región es húmeda, no todo el flujo medido por los aforadores proviene del embalse. Con base en la comparación de caudales en la condición de vaso lleno, se estima que de 5 a 10 por ciento de los gastos registrados durante la época de lluvia no son filtraciones del embalse.

### **ROTURA DEL EMPOTRAMIENTO IZQUIERDO.**

La falla ocurrió en el extremo izquierdo del dique. Las filtraciones en esta sección de la obra se midían con el aforador

---

<sup>1</sup> El tramo izquierdo de este muro es de mampostería

2. El gasto total para el período 1966-69, así como los niveles del embalse y lluvia mensual, aparecen en la tabla 3.1. Hasta agosto de 1969, la variación del caudal de filtraciones era semejante a la registrada en años anteriores; el gasto total,  $Q_1$ , en septiembre, creció a 37 lt/seg. con el agua a la elevación 2,182.1. Este alto valor no causó alarma, ya que en 1942 se había registrado un caudal  $Q_1 = 78$  lt/seg. y no se habían planteado problemas delicados. La tabla 3.2, presenta los valores del gasto en los aforadores 1 y 2 ( $Q_1$  y  $Q_2$ ) y la precipitación durante septiembre y octubre de 1969. Mientras  $Q_1$  permanece casi constante,  $Q_2$  exhibe tendencia al aumento a mediados de octubre, cambia de 47 a 52 lt/seg. en octubre 22, pero decrece a 45 lt/seg. seis días más tarde. En la mañana de octubre 31 se reporta un caudal  $Q_2 = 75$  lt/seg. y a las 18 hrs. salió agua a presión por un conducto ubicado 150 m. al norte de la obra de toma; la dimensión de chorro creció rápidamente erosionando el pie del talud de aguas abajo. A las 22 : 45 hrs. el muro de mampostería localizado al centro del terraplén quedó al descubierto y pocos minutos después se abrió una brecha a través del dique. Por ella escurrió, en las siguientes 24 horas, un volumen de 20 millones de metros cúbicos de agua, destruyendo caminos y causando el deslizamiento masivo de varios taludes; no hubo pérdidas de vidas humanas.

TABLA 3.1

Concepto	Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nivel del embalse en m.	1966	2181.3	2181.0	2180.2	2179.1	2177.7	2174.9	2176.5	2177.9	2179.1	2180.9	2181.5	2181.2
Precipitación en mm/día		1.2	1.9	2.8	1.7	1.7	10.6	8.5	6.4	9.1	5.2	8.8	0.5
Filtraciones en litroseg		12.9	10.9	7.5	3.6	0.8	0.4	1.7	1.6	8.0	13.2	16.5	13.9
Nivel del embalse en m.	1967	2180.8	2180.4	2180.6	2180.4	2179.2	2177.7	2176.3	2175.4	2177.7	2180.3	2181.2	2181.6
Precipitación en mm/día		2.2	1.2	1.5	0.5	2.5	6.5	6.1	12.9	10.7	7.5	2.4	1.0
Filtraciones en litroseg		12.2	9.2	10.7	10.2	5.1	0.8	0.5	1.4	5.9	13.6	14.2	17.4
Nivel del embalse en m.	1968	2181.5	2181.0	2179.8	2178.4	2176.5	2175.5	2176.1	2176.9	2178.2	2179.5	2180.2	2180.6
Precipitación en mm/día		1.1	1.2	0.5	3.8	1.6	9.5	6.3	9.3	8.6	4.5	0.7	3.4
Filtraciones en litroseg		10.6	14.0	0.5	1.6	0.4	0.2	0.7	2.5	3.1	7.5	11.9	14.2
Nivel del embalse en m.	1969	2180.6	2179.9	2178.9	2177.6	2175.8	2174.4	2175.4	2177.3	2182.1	2182.7	2176.5	2176.5
Precipitación en mm/día		1.4	1.0	0.6	1.3	1.0	4.5	10.9	18.1	17.7	3.0	1.7	0.8
Filtraciones en litroseg		14.8	11.2	4.5	0.7	0.2	0.1	0.6	6.8	37.0	0.2		

Gasto total de filtraciones, niveles en el embalse y precipitación mensual (1966-1969)

**TABLA 3.2**

Día	Septiembre 1969				Octubre 1969			
	Nivel del embalse en m.	Caudal, en lit/seg.		Precipitación en mm.	Nivel del embalse en m.	Caudal, en lit/seg.		Precipitación en mm.
		Aforador 1	Aforador 2			Aforador 1	Aforador 2	
1	2180.0	11.8	16.3	25.7	2182.7	16.3	41.8	0.0
4	2180.6	13.7	24.5	11.5	2182.8	15.1	43.1	0.0
7	2181.6	45.3	43.1	81.5	2182.8	13.9	43.1	13.0
10	2182.2	48.5	47.2	27.0	2182.8	14.2	43.6	5.0
13	2182.3	20.1	41.0	11.5	2182.8	13.9	45.3	22.9
16	2182.6	18.8	45.3	0.0	2182.7	12.9	45.3	5.0
19	2182.7	18.3	35.0	3.8	2182.8	13.5	47.2	0.0
22	2182.7	17.5	36.9	0.0	2182.8	12.9	52.4	2.0
25	2182.8	16.3	38.8	1.0	2182.8	12.9	54.8	0.0
28	2182.8	16.3	42.2	29.0	2182.7	14.4	45.3	11.9

Filtraciones registradas en los aforadores 1 y 2, niveles en el embalse y precipitación en sep. y oct. de 1969 (antes de la falla)

### INVESTIGACIÓN DE LA FALLA.

En vista de que la rotura del dique había sido provocada por erosión interna en la cimentación, no solo se realizó una investigación amplia de este sitio, sino también de los restantes diques que integran el Sistema Hidroeléctrico de Necaxa. La razón fue que dichas estructuras han tenido filtraciones producidas por erosión interna. En cada una de ellas se exploró con perforaciones y muestreo los materiales del dique y la cimentación; al mismo tiempo, en forma sistemática se determinaron permeabilidades in situ ( prueba Lefranc ). Se instalaron Piezómetros ( tubo abierto ) en la mayoría de los pozos de exploración. Las muestras de suelos obtenidas se



identificaron mediante la determinación de propiedades índice y se hicieron ensayos de composición química del agua intersticial.

El dique Laguna fue investigado con 14 perforaciones de 10 a 33 m. de profundidad; se colocaron 16 Piezómetros en los estratos más permeables del terraplén y la cimentación.

### **ESTRATIGRAFÍA Y PERMEABILIDAD.**

De los 14 pozos de exploración, 10 fueron perforados desde la cresta; la perforación LA-14 se localizó aguas abajo, en la parte central del dique, y los sondeos LA-9, 10 y 11, en la zona destruida del empotramiento izquierdo. No fue posible determinar con precisión el contacto entre el terraplén y la cimentación. Las pruebas Lefranc demostraron que el coeficiente de permeabilidad horizontal,  $K_h$ , es del orden de  $10^{-2}$  cm/seg. en varios puntos de la cimentación y del dique.

En el extremo derecho del dique, se localizó un estrato de basalto intensamente alterado ( arcilla porosa ) con lentes de arena, de 10 m. de espesor; la permeabilidad  $K_h$  varía de 2 a 3 x  $10^{-2}$  cm/seg. Este material cubre a una pudinga basáltica intemperizada que tiene, en promedio, valores  $K_h$  de  $10^{-3}$  cm/seg.

En el tramo comprendido por las estaciones 4 y 12, el basalto alterado tiene un espesor de solo 1 m. y la pudinga basáltica, debajo, acusa una permeabilidad variable entre 2 y 6 x  $10^{-3}$

cm/seg. Se registro pérdida total de agua (posiblemente, una tubificación) 6 m. arriba del contacto terraplén cimentación en el sondeo LA-4.

Entre las estaciones 12 y 15, el dique fue construido sobre el basalto alterado ( arcilla porosa ), que contiene varios lentes de ceniza volcánica;  $K_h$  está comprendido entre  $10^{-4}$  y  $10^{-3}$  cm/seg. Este suelo descansa sobre la pudinga basáltica con una permeabilidad  $K_h$  de  $3 \times 10^{-3}$  cm/seg., en la parte superior,  $K_h$  decrece rápidamente con la profundidad en esta formación.

De la estación 15 hacia el empotramiento izquierdo, la pudinga basáltica aparece cubierta por el basalto intemperizado, una capa de ceniza volcánica ( 1 m. de espesor ) y arcilla color café claro; el coeficiente  $K_h$  es  $10^{-2}$  cm/seg. o mayor para los suelos encontrados arriba de la pudinga.

#### **MOVIMIENTOS DEL DIQUE.**

Se revisó el registro de desplazamientos horizontales y verticales medidos periódicamente en la cresta. Los asentamientos fueron de 1 cm. en el lapso 1958-1966 y ellos reflejan, probablemente, el colapso de conductos desarrollados por erosión interna en las capas superiores de la cimentación. Los desplazamientos horizontales variaron erráticamente de 3 a 4 cm, excepto en el tramo izquierdo que comprende la brecha abierta por el agua,

donde no se habían observado movimientos antes de octubre de 1969.

#### **PRUEBAS DE LABORATORIO.**

Con los especímenes muestreados del terraplén y la cimentación, se determinaron contenidos de agua natural, límites de Atterberg y pesos específicos de sólidos. La carta de plasticidad revela que la mayoría de los materiales usados en la construcción del dique, así como los presentes en las capas superiores de la cimentación, son limos y arcillas con límites líquidos y comprendidos entre 45 y 90 por ciento ( MH Y CH ).

Los ensayos de sedimentación indicaron que el basalto intemperizado ( arcilla porosa ) se floclula en agua destilada; este fenómeno no ocurre si dichas pruebas se efectúan con agua del embalse. El análisis químico de esta última acusa baja concentración de Cl y alto contenido de  $SO_4$ . Una composición inversa en cuanto a los iones antes mencionados fue encontrada para el agua exprimida del basalto alterado. Por tanto, existe la posibilidad de reacción química.

Se realizaron tres ensayos de percolación con muestras de basalto intemperizado, extraídas de profundidades variables entre 14 y 16 m. en los sondeos LA-1, 4 y 8 . Se alojaron en oedómetros especímenes de 6.3 cm de diámetro y 2.54 cm de altura, los cuales fueron saturados con agua del embalse bajo una presión aproximadamente igual a la que tenían en el terreno. Después de

la saturación, se hizo fluir agua de la cabeza a la base del espécimen, con un gradiente del mismo orden que el estimado para las condiciones de operación normal del dique; el tiempo de ensaye en esta fase varió de 200 a 3000 min. El gradiente Hidráulico,  $i$ , fue posteriormente aumentado en forma gradual, registrando los gastos de percolación. El gasto de  $10^{-4}$  cm<sup>3</sup>/seg. para  $i = 0.86$  se incrementó 60 veces cuando  $i = 35$ , lo cual sugiere que se estaba desarrollando erosión interna en el espécimen. Los ensayos de referencia para estudiar la susceptibilidad de los suelos residuales cohesivos, son de carácter preliminar.

#### TRABAJOS DE REPARACIÓN.

El tramo destruido por el agua, después de una limpia cuidadosa de la cimentación y cortes laterales, fue reconstruido con suelo residual semejante al usado en la vieja estructura, dispuesto en capas compactadas con rodillo.

Al fin de controlar el flujo através del dique y los estratos superiores de la cimentación, se decidió construir desde la cresta una pantalla de bentonita-cemento, aguas arriba del muro existente. En tramos de 2.5 m. de longitud, se excavó una zanja con cucharón de almeja accionado por un servomecanismo hidráulico, de 60 x 280 cm. A medida que avanzaba la excavación, los materiales eran sustituidos por lodo de bentonita-cemento preparado en planta. Dicha mezcla contenía aditivos

para retardar el fraguado y permitir la operación del equipo hasta la profundidad deseada. La resistencia a la compresión simple del lodo, tres meses después del colado era de 10 kg/cm<sup>2</sup>, aproximadamente; la superficie total de esta pantalla plástica fue 12600 m<sup>2</sup> y su profundidad máxima 26 m.; el trabajo se efectuó en 100 días solamente.

### COMPORTAMIENTO DEL DIQUE.

Se observó una reducción sustancial en el flujo de agua al terminarse la pantalla impermeable, en junio de 1971. La comparación de datos antes y después de la reparación no es sencilla, por la influencia de la lluvia en las mediciones. Por ejemplo, en la tabla 3.3 se presentan valores de diciembre de 1971<sup>2</sup> estando el nivel del vaso a su máxima elevación y en la época seca; a su vez, en la tabla 3.2 aparecen los gastos de la ruptura del dique, pero tomados en la estación húmeda ( sep. y oct. 1969 ). El caudal medio en los aforadores 1 y 2 son 5.5 y 2.05 lts/seg. , respectivamente, en diciembre de 1971; los valores correspondientes en octubre de 1969 ( antes de la falla ) eran 14 y 46.2 lts/seg.

---

<sup>2</sup> El aforador 2 fue destruido en octubre de 1969 y reemplazado más tarde por seis nuevos dispositivos de medición. Los datos de esta tabla bajo el nombre de aforador 2, son sumas de los gastos registrados por los nuevos medidores.

Las observaciones piezométricas no son concluyentes y los movimientos de la cresta caen en el intervalo de error de las mediciones.

**TABLA 3.3**

Día	Nivel del embalse	Caudal en lts/seg.		Precipitación en mm.
		Aforador 1	Aforador 2	
1	2182.5	6.0	1.9	2.0
4	2182.5	5.3	2.2	0.0
7	2182.6	5.8	1.9	0.0
10	2182.6	5.6	2.0	0.0
13	2182.5	5.5	2.4	0.0
16	2182.5	5.3	1.8	0.0
19	2182.4	5.3	1.9	0.0
22	2182.5	5.3	1.8	17.0
25	2182.5	6.0	2.5	0.0
28	2182.6	5.5	2.1	0.0
31	2182.6	5.3	2.1	0.0

Gasto de infiltración en los aforadores 1 y 2, niveles en el embalse y precipitación en dic. de 1971 (después de la reparación).

El accidente en la Presa Laguna, es uno de los principales problemas que se presentan en el tipo de construcción de cortinas de relleno Hidráulico, sin embargo el problema de la falla detectada en el túnel de interconexión entre las presas de Tenango y Necaxa, el mes de enero de 1995 no tiene vestigios de que haya sido una falla por tubificación.

El reporte de la falla en el túnel antes mencionado, presenta lo siguiente:

## **DIQUE TENANGO.**

**1. DETECCIÓN DE LA FALLA:** Durante la primera semana del mes de enero de 1995, los encargados de la Presa Tenango del Departamento Hidráulico de Necaxa, detectaron la formación de un remolino de agua con fuerte corriente, localizado entre la obra de toma y la primera compuerta de control del túnel. Se efectuaron maniobras hidráulicas con las compuertas de la torre de toma y con la compuerta de control, determinándose que existía una filtración del agua de la Presa Tenango, hacia el túnel de conducción a la Presa Necaxa.

**2. HIPÓTESIS APLICABLE.** Se trata de un túnel de aproximadamente 2.70 m de diámetro, con blindaje interior a base de placa de acero. Es probable que algún lugar de la zona entre, la obra de toma y la primera compuerta de control, se haya deteriorado el blindaje hasta el punto en que cedió, por la presión del tirante de agua de la Presa, lo que hace que el agua se filtre sin control através de ese orificio de dimensiones desconocidas, provocando el remolino que se ve en la superficie, mismo que deja de observarse cuando se cierra la primera compuerta de control, fig. 3.4.

**3. RIESGO QUE REPRESENTA.** El riesgo que representa este hecho, es que el agua que ya penetró hasta la superficie exterior del túnel, avance buscando vías de salida entra la tierra y el túnel, provocando que se formen cavernas que permitan el

desplazamiento del agua y una fractura mayor aguas abajo en el mismo, o bien que el agua tome otro rumbo y aparezca en forma de manantial en algún lugar aledaño a la zona con el consecuente riesgo civil que representa un brote de agua en forma incontrolada en un área que se encuentra densamente poblada.



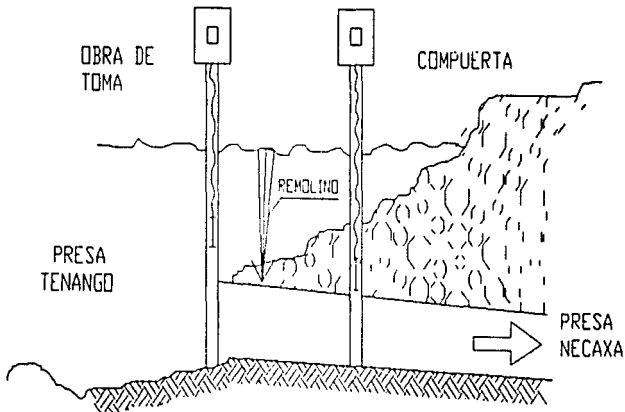


FIG. 3.4  
DETALLE VASO DE  
TENANGO

**4. PRIMERAS MEDIDAS.** Como puede verse en la figura 3.5, el sistema Hidráulico de las Presas que se alimentan con agua de la tercera división está interconectado con los vasos de Nexapa, Tenango y Necaxa.

Se ordeno transvasar agua de la Presa de Tenango a Necaxa, para disminuir la presión del tirante de agua sobre el túnel alcanzando al día 19 de enero de 1995 los siguientes volúmenes en cada vaso.

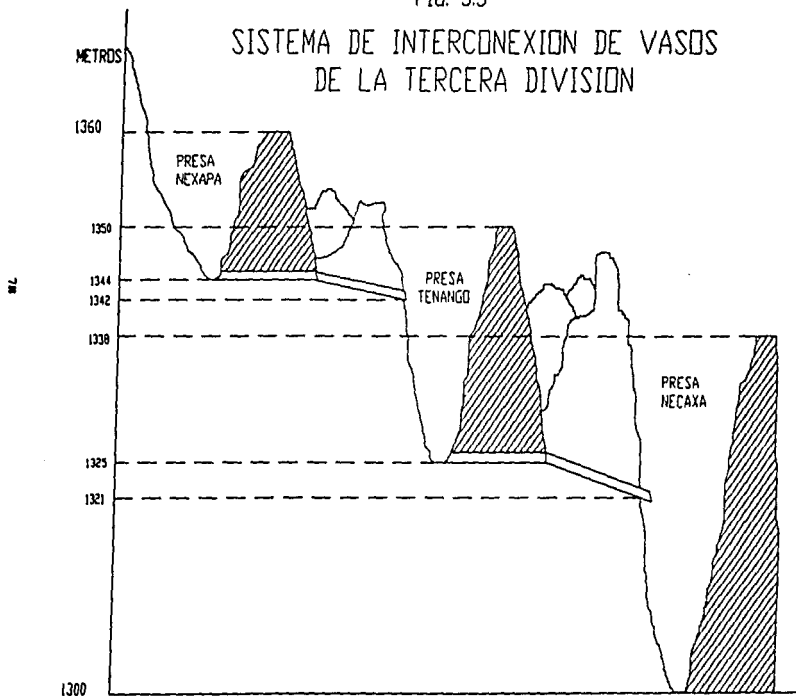
VASO	VOLUMEN ( $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ )
NEXAPA	16.5
TENANGO	17
NECAXA	29
<b>TOTAL</b>	<b>62.5</b>

Así mismo se ordenó operar a plena carga en la Central para consumir el agua en la Presa de Necaxa, para poder vaciar la Presa de Tenango, y proceder a la inspección del túnel.

Considerando el agua, que por escurrimiento diario penetra a Nexapa y Tenango, más los volúmenes de agua que se redujeron en estos vasos, se estimó necesario gastar un total de 50 millones de metros cúbicos de agua, lo que representa absorber ese volumen en aproximadamente 50 días, por lo que se estimó que en el mes de marzo se estaría en posibilidades de hacer una

FIG. 3.5

SISTEMA DE INTERCONEXION DE VASOS  
DE LA TERCERA DIVISION



inspección visual en el lugar de la falla y a lo largo de todo el túnel con el fin de tomar las medidas pertinentes para su reparación.

**RIESGO ECOLÓGICO.** El vaciado de la Presa de Tenango, es una maniobra normal que se presenta periódicamente en temporada de estiaje prolongado, quedando únicamente alimentada por el río Tenango cuyo escaso caudal formado por escurrimientos naturales, permite la preservación del entorno ecológico y la fauna del lugar, por el tiempo que dure la sequía.

Una vez que el nivel del espejo de agua descendió, se pudo observar la magnitud de la falla. Se encontró que una parte de la cortina que divide las Presas de Tenango y de Necaxa se encontraba dañada exponiendo el túnel, esto provocó que el tramo del túnel de interconexión se dañara.

Los antecedentes de esta reparación son los siguientes:

El 23 de Diciembre de 1994 se presentó una falla en el túnel de Tenango a Necaxa en el tramo de la torre de toma a la válvula número 1. El tubo de acero remachado, quedó doblado como se indica en la figura 3.7, para realizar la reparación del túnel, se realizaron los siguientes trabajos:

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

1. Para trabajar en la reparación a cielo abierto, se realizó una excavación como se presenta en las figuras 3.6 y 3.8.
2. Se armó y se coló la losa inferior del cajón que se muestra en la figura 3.9
3. Se colocaron los tramos de tubo de placa de acero rolada con longitudes de 1.83 m. transversalmente, hasta completar la longitud de toda la tubería.
4. Se colocaron las paredes del cajón y por último las tapa del cajón de concreto.
5. Se rellenó y compactó el suelo en la zona excavada.

#### **PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.**

- 1.- Realizar la excavación como se muestra en las figuras 3.6 y 3.8.

Algo sumamente importante, en esta reparación, era el mantener la verticalidad de la obra de toma y de la torre de la válvula número 1, por lo que se tomaron lecturas constantes de sus niveles, además de que la excavación cerca de la válvula número 1, se amplió con el fin de evitar empujes del material sobre esta torre.

RI

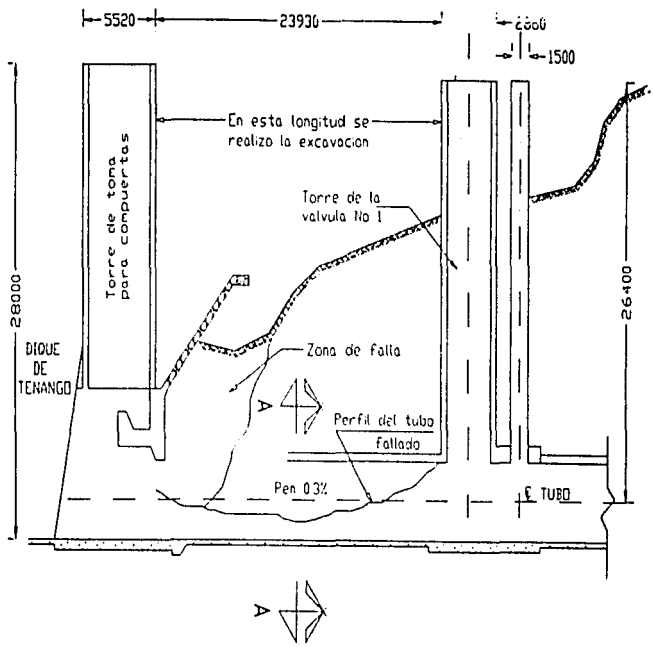
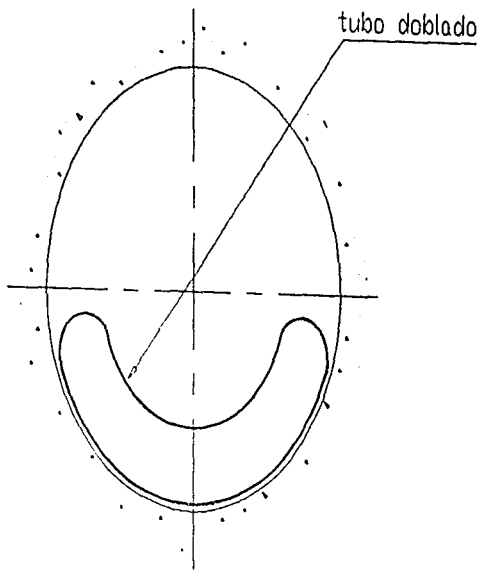
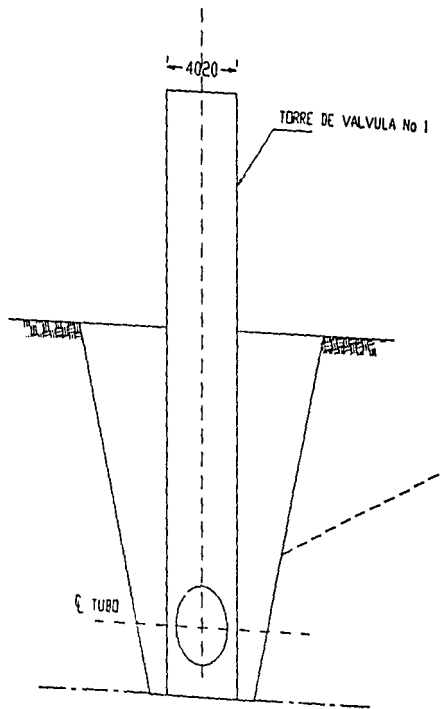


FIG. 3.6  
TUNEL TENANGO NECAXA

(Vista longitudinal en torres de toma y de valvula No 1)



SECCION A-A EN TUNEL  
FIG. 3.7



SECCION DE EXCAVACION  
FIG. 3.8



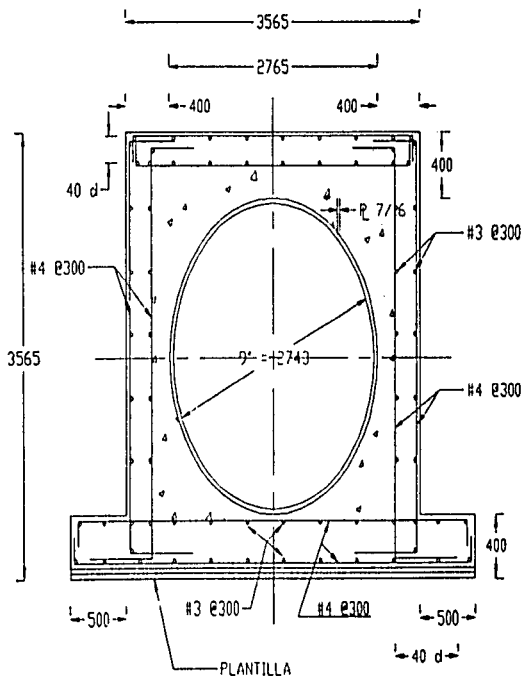
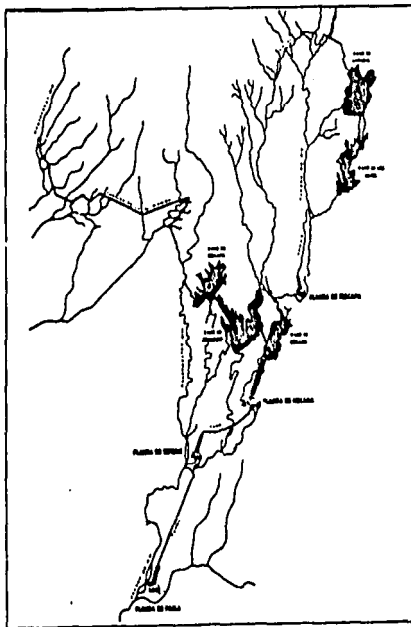


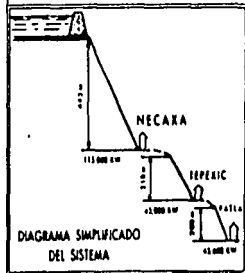
FIG. 3.9 CAJON DE CONCRETO PARA PROTECCION DEL TUBO DE LA TORRE DE TOMA A LA TORRE DE LA VALVULA No 1.

# SISTEMA DE NECAXA



VASOS	ELEVACION	CAPACIDAD
	METROS	METROS CUBICOS
LAGUNA	2183	43 500 000
LOS REYES	2165	26 100 000
NEXAPA	1360	15 500 000
TENANGO	1350	43 100 000
NECAXA	1238	31 000 000

TOTAL 171 200 000



1 METRO LINEAL 3.281 PIES  
1 METRO CUBICO 35.31 PIES CUBICOS

Plano de la región Hidrológica de Necaxa, Pua., cuyas aguas se utilizan para mover el sistema escalonado de Necaxa.

2.- Preparar la plantilla para que el cajón de concreto quede desplantado en suelo firme.

3.- Colar la parte inferior del cajón de concreto, a partir de la torre de toma.

4.- Colocar tramos de tubo completos, para realizar en el campo únicamente soldaduras transversales.

5.- Terminar de colar el cajón de concreto con acelerante para fraguado rápido.

6.- Rellenar con arcilla, producto de la excavación, compactando el material.

7.- Colocar una cortina en el canal de llamada para que durante los colados, no se tenga agua.

El concreto que se utilizó para esta reparación, tiene una resistencia de  $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ , se utilizó acero de refuerzo  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ , y un acero estructural A-36  $f_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$ .

Se realizó una inspección visual dentro del túnel, para revisar los daños que el accidente había ocasionado, ya que el agua había arrastrado además de arcilla y boleos, grandes rocas, una de las cuales se atoró cerca de la salida del túnel del lado de la presa de Necaxa. Esta roca, rompió válvulas que se habían colocado en

perforaciones previas, con el fin de evitar que el agua que circula por el túnel salga de este, pero aceptando que el agua del nivel freático del lugar entre al túnel, siendo así aprovechada en la planta de generación eléctrica de Necaxa.

La realización de esta inspección permitió observar, que la placa de acero remachado que forma el blindaje de este túnel, está dañado en gran parte del mismo, en algunos lugares, existen perforaciones provocadas por la corrosión, en las que claramente se pueden observar el concreto simple que rodea este blindaje, sin embargo en algunas otras perforaciones ya no hay concreto y se puede apreciar el material que forma la cortina.

En el recorrido del túnel, se fueron marcando los lugares mas dañados de las placas, en donde el laboratorio de Compañía de Luz realizó estudios de espesores, obteniendo resultados preocupantes.

Las mediciones se iniciaron a partir de la falla que se ubicaba en el vaso de Tenango en dirección al vaso de Necaxa, desde la segunda compuerta, es decir la torre de la válvula número 1.

Las mediciones se tomaron en las paredes de la tubería en sentido de las manecillas del reloj en los cuadrantes indicados, viendo hacia la compuerta de Tenango.

Los números indicados entre paréntesis corresponden a las referencias puestas por los topógrafos. Las lecturas están dadas en milésimas de pulgada.

Lienzo # 4 (1)

Cuadrante 1:-----

Cuadrante 2:326, 325, 329, 325, 337, 385, 320, 386, 390, 300,  
400, 302, 382.

Cuadrante 3:-----

Cuadrante 4:300, 304, 299, 297, 310, 409, 411, 405, 304, 306,  
298, 299.

Lienzo # 6 (2)

Cuadrante 1:294, 296, 300, 295.

Cuadrante 2:374, 371, 335, 340, 333, 337, 340, 342, 406, 414,  
409, 406.

Cuadrante 3:-----

Cuadrante 4:45, 46, 340, 320, 74, 349, 365, 360, 86, 48.

Lienzo # 8 (3)

Cuadrante 1:326, 41, 325, 324.

Cuadrante 2:404, 403, 385, 384, 80, 96, 112, 71, 56, 63, 72.

Cuadrante 3:-----

Cuadrante 4:45, 46, 340, 329, 74, 349, 365, 360, 86, 48.

Lienzo # 11 (4 y 5)

Cuadrante 1:73, 56, 29, 76.

**Cuadrante 2:**60, 79, 60, 34, 414, 413, 411, 396, 386, 72, 56,  
77, 60.

**Cuadrante 3:**-----

**Cuadrante 4:**403, 402, 398, 32, 27, 396, 59, 66, 120, 122, 362,  
358, 360, 379.

**Lienzo # 15 (7)**

**Cuadrante 1:**89, 54, 87, 77.

**Cuadrante 2:**342, 40, 390, 391, 389, 35, 112, 381, 392, 369, 34,  
370, 374, 375, 378.

**Cuadrante 3:**-----

**Cuadrante 4:**390, 389, 391, 397, 400, 399, 297, 407, 390, 410,  
402, 399, 384, 397, 403, 398, 396.

**Lienzo # 18 (perforado)**

**Cuadrante 1:**311, 312, 294, 303, 315, 311, 64, 306, 319, 305,  
75.

**Cuadrante 2:**401, 424, 400, 405, 393, 385, 42, 50, 53.

**Cuadrante 3:**392, 394, 55, 386, 45, 59, 340, 388, 372, 390.

**Cuadrante 4:**370, 68, 408, 409.

**Lienzo # 23 (10)**

**Cuadrante 1:**40, 38, 350, 352, 70, 39, nota: (tubo roto en esta  
parte)

**Cuadrante 2:**30, 349, 368, 372, 101, 32, 360, 370, 366, 94, 101,  
32, 356.

**Cuadrante 3:**-----

**Cuadrante 4:**389, 410, 390, 396, 387, 395, 346, 352, 36, 341,  
363, 374, 385, 362.

**Lienzo # 27 (12)**

**Cuadrante 1:**50, 72, 44, 43.

**Cuadrante 2:**386, 399, 397, 382, 387, 47, 390, 394, 384, 154,  
385, 397, 36, 373, 128, 386.

**Cuadrante 3:**-----

**Cuadrante 4:**112, 364, 389, 356, 160, 361, 365, 35, 287, 377,  
365, 368, 37.

**Lienzo # 31 (perforado)**

**Cuadrante 1:**285, 248, 299, 310, 304, 289, 311, 294, 296, 306,  
315, 310.

**Cuadrante 2:**401, 406, 58, 49, 66, 65, 64, 70, 35, 52, 73, 84.

**Cuadrante 3:**-----

**Cuadrante 4:**36, 39, 370, 360, 45, 60, 370, 48, 47.

**Lienzo # 33 (perforado)**

**Cuadrante 1:**318, 323, 319, 321, 335, 324, 317, 336.

**Cuadrante 2:**374, 372, 47, 377, 374, 374, 44, 50, 396, 367, 346.

**Cuadrante 3:**366, 315, 332, 338, 54, 35, 64, 30, 327, 44, 517,  
340, 364, 53, 43, 58.

**Cuadrante 4:**351, 40, 379, 58, 36, 360, 364, 367.

**Lienzo # 42 (perforado)**

**Cuadrante 1:**296, 281, 303, 321, 310, 293, 68, 298, 300, 294,  
293, 298, 294, 295.

Cuadrante 2:406, 45, 56, 52, 402, 38, 394, 412, 397, 46, 32,  
47, 387, 397, 47.

Cuadrante 3:41, 40, 60, 41, 391, 42, 364, 47, 56, 47, 360.

Cuadrante 4:-----

Lienzo # 46 (14)

Cuadrante 1:55, 386, 38, 36, 121. nota (presenta filtraciones)

Cuadrante 2:367, 380, 386, 400, 405, 413, 407, 305, 78, 57, 36,  
400, 412, 410, 409.

Cuadrante 3:-----

Cuadrante 4:395, 381, 36, 46, 384, 417, 418, 399, 396, 407,  
410, 396, 403, 399.

Lienzo # 54 (perforado)

Cuadrante 1:347, 360, 44, 46, 363, 344, 347, 360.

Cuadrante 2:32, 392, 395, 402, 392, 383, 39, 66, 60.

Cuadrante 3:80, 55, 380, 390, 398, 379, 36, 53, 38.

Cuadrante 4:396, 379, 390, 396, 387, 395, 59, 400.

•

Lienzo # 58 (perforado)

Cuadrante 1:324, 320, 335, 340, 327, 222, 339, 321, 328.

Cuadrante 2:372, 374, 370, 375, 372.

Cuadrante 3:381, 354, 352, 358, 361, 352, 342, 49, 358, 372,  
353, 372, 384.

Cuadrante 4:359, 366, 363, 341, 371, 33, 49, 52, 369, 375, 298.



**Lienzo # 62 (16) (con filtraciones)**

**Cuadrante 1:**53, 72, 66, 55, 69, 60.

**Cuadrante 2:**354, 356, 357, 367, 369, 351, 380, 354, 381, 376,  
337, 69, 71, 88, 92, 104, 391, 376, 367, 370.

**Cuadrante 3:**-----

**Cuadrante 4:**366, 356, 364, 37., 363, 361, 380, 404, 335, 377,  
374, 38, 72, 68, 42, 120.

**Lienzo # 73 (18) (perforado)**

**Cuadrante 1:**340, 344, 378, 350, 330, 328, 327, 330, 330, 328.

**Cuadrante 2:**352, 352, 353, 354, 369, 360, 363, 365, 363.

**Cuadrante 3:**328, 332, 330, 334, 322, 336, 351, 348, 335, 339,  
347, 328, 351.

**Cuadrante 4:**400, 375, 376, 372.

**Lienzo # 75 (con filtraciones)**

**Cuadrante 1:**329, 334, 334, 331, 350, 328, 337, 323, 54, 53,  
318, 323, 321.

**Cuadrante 2:**390, 385, 379, 60, 394, 390, 52, 396, 413, 418,  
385, 389, 386.

**Cuadrante 3:**-----

**Cuadrante 4:**351, 349, 358, 360, 48, 26, 34, 32, 37, 36, 44, 27.

**Lienzo # 85 (con filtraciones)**

**Cuadrante 1:**378, 374, 385, 376.

**Cuadrante 2:**348, 355, 339, 351, 363, 354, 350, 367, 51, 360,  
351, 360.

Cuadrante 3:392, 367, 380, 383, 408, 350, 391, 373, 384, 372,  
395, 378.

Cuadrante 4:372, 365, 358, 383, 353, 380.

**Lienzo # 93 (con filtraciones)**

Cuadrante 1:350, 345, 355, 352, 354, 360, 340, 345.

Cuadrante 2:379, 382, 382, 365, 368.

Cuadrante 3:354, 372, 368, 372, 370, 377, 376, 370, 368, 374.

Cuadrante 4:372, 369, 371, 377, 362, 368, 360, 359, 376.

**Lienzo # 137 (taponado)**

Cuadrante 1:351, 350, 344, 343, 371, 358, 363, 363, 369.

Cuadrante 2:56, 394, 42, 63, 55, 30, 63, 42, 37, 400, 406, 33,  
40.

Cuadrante 3:355, 333, 340, 339, 346, 345, 379, 302, 337.

Cuadrante 4:40, 75, 373, 48, 389, 363, 38, 375, 383, 45, 374.

**Lienzo # 139 (taponado)**

Cuadrante 1:364, 365, 376, 400, 371, 369, 366.

Cuadrante 2:347, 332, 338, 342, 398, 357, 344, 348, 347, 354,  
350, 360.

Cuadrante 3:352, 344, 341, 338, 362, 359.

Cuadrante 4:329, 332, 49, 77, 375, 372, 373.

**Lienzo # 140 (25) (parchado y taponado)**

Cuadrante 1:360, 355, 348, 350, 357, 349, 348, 351, 354.

Cuadrante 2:379, 375, 381, 368, 331, 357, 370, 387.

Cuadrante 3:336, 382, 371, 375, 31, 47, 156, 374, 87, 31, 26,  
350.

Cuadrante 4:46, 321, 329, 47, 43, 54, 55.

**Lienzo # 150**

Cuadrante 1:369, 368, 367, 370, 13, 362, 366, 374, 370, 371.

Cuadrante 2:64, 329, 35, 40, 45, 328, 333, 314, 331, 325.

Cuadrante 3:326, 318, 335, 66, 340, 356, 345, 340, 80, 362,  
360, 340.

Cuadrante 4:340, 342, 357, 39, 351, 350, 349, 327, 336, 364.

**Lienzo # 162**

Cuadrante 1:348, 346, 338, 353.

Cuadrante 2:184, 348, 8, 174, 176, 185, 385, 196, 186, 373.

Cuadrante 3:68, 35, 42, 383, 31, 30, 388, 34, 318, 337, 334,  
363, 328, 335.

Cuadrante 4:366, 367, 374, 387, 32, 368, 363, 354, 322, 325.

**Lienzo # 168 (28)**

Cuadrante 1:348, 350, 351, 347, 346, 290.

Cuadrante 2:388, 372, 321, 357, 328, 319, 327, 353.

Cuadrante 3:340, 341, 396, 336, 333, 333, 351.

Cuadrante 4:366, 367, 374, 387, 32, 368, 363, 354, 322, 325.

**Lienzo # 200 (con filtraciones)**

Cuadrante 1:377, 374, 370, 370, 374, 378, 371.

Cuadrante 2:415, 67, 405, 54, 65.

Cuadrante 3:366, 351, 382, 55, 394, 364.  
Cuadrante 4:370, 372, 374, 375, 372, 370, 376.

**Lienzo # 220**

Cuadrante 1:392, 381, 390, 385, 387, 40, 38, 92, 33.  
Cuadrante 2:76, 350, 357, 217, 205, 353, 53, 54.  
Cuadrante 3:323, 332, 307, 305, 327, 334, 341  
Cuadrante 4:382, 383, 410, 34, 48, 386, 51, 47

**Lienzo # 252 (picado con filtraciones)**

Cuadrante 1:376, 398, 35, 369, 127, 397, 398, 44, 56, 39, 38.  
Cuadrante 2:385, 388, 390, 372, 57, 45, 396, 395, 59, 400, 52,  
51.  
Cuadrante 3:49, 380, 379, 387, 392, 57, 391, 385, 371.  
Cuadrante 4:398, 364, 376, 384, 66, 49, 375, 45, 350, 62, 56,  
357, 395

**Lienzo # 254**

Cuadrante 1:391, 380, 368, 354, 391, 390, 342, 380, 377, 390.  
Cuadrante 2:350, 348, 352, 46, 351, 64, 340, 351, 42, 375, 352,  
380, 350, 352, 355  
Cuadrante 3:380, 383, 366, 381, 177, 390, 370, 379, 389, 391,  
341, 370  
Cuadrante 4:377, 375, 369, 177, 369, 380, 398, 374, 372.

**Lienzo # 260 (responder a junta)**

Cuadrante 1:336, 344, 35, 346, 352, 342, 341, 344, 350, 345.

Cuadrante 2:361, 358, 357, 90, 70, 322, 372, 333, 43, 365, 355,  
39, 355.

Cuadrante 3:-----

Cuadrante 4:361, 400, 381, 372, 374, 400, 376, 382, 370, 369.

Lienzo # 271 (taponado)

Cuadrante 1:352, 350, 351, 355, 366, 388, 361, 356, 340, 359,  
350.

Cuadrante 2:39, 40, 400, 386, 391, 405, 38, 49, 46, 399, 406,  
395.

Cuadrante 3:390, 86, 400, 410, 341, 338, 349, 370, 44, 342,  
398, 350, 364, 138.

Cuadrante 4:43, .81, 380, 379, 378, 377, 340, 371, 372, 370,  
58, 372, 50, 45, 50, 31, 47.

Lienzo # 290

Cuadrante 1:354, 393, 355, 351, 354, 356, 349, 363, 334.

Cuadrante 2:343, 346, 350, 44, 45, 400, 378, 127, 99, 310, 67,  
68, 60.

Cuadrante 3:346, 343, 354, 348, 71, 70, 71, 350, 359, 343, 79,  
359, 356.

Cuadrante 4:42, 56, 372, 40, 58, 367, 54, 377, 393, 390, 392,  
70, 133, 376.

Lienzo # 314 (34) (múltiples perforaciones)

Cuadrante 1:370, 377, 365, 363, 365, 361, 363, 365, 388.

Cuadrante 2:388, 395, 391, 387, 108, 390, 398, 395, 410, 396,  
400, 99, 73, 398.

Cuadrante 3:46, 386, 395, 387, 386, 400, 398, 395, 402, 54,  
373, 403.

Cuadrante 4:359, 384, 368, 380, 45, 50, 365, 372, 399, 400,  
356, 370, 135.

**Lienzo # 317 (múltiples perforaciones)**

Cuadrante 1:347, 349, 346, 350, 354, 340, 330, 351, 326, 344,  
342, 350.

Cuadrante 2:356, 355, 69, 358, 362, 368, 390, 347, 351, 360,  
50, 45, 370, 40, 36, 30.

Cuadrante 3:347, 364, 313, 320, 347, 400, 399, 348, 280, 284,  
350, 341, 351, 344, 348, 361.

Cuadrante 4:398, 366, 370, 337, 340, 337, 332, 43, 55, 383, 52,  
47.

**Lienzo # 319 (36) (múltiples perforaciones)**

Cuadrante 1:359, 340, 331, 345, 362, 334, 342, 340.

Cuadrante 2:366, 379, 208, 392, 42, 211, 216, 58, 82, 370.

Cuadrante 3:353, 334, 343, 342, 107, 276, 66, 34, 330, 335,  
288.

Cuadrante 4:64, 316, 317, 339, 330.

**Lienzo # 320 (37) (múltiples perforaciones)**

Cuadrante 1:45, 382, 373, 398, 381, 373, 366, 32, 377, 378.

Cuadrante 2:404, 37, 38, 56, 415, 39, 45.

Cuadrante 3:360, 79, 25, 110, 126, 101, 107, 369, 370, 381.  
Cuadrante 4:256, 334, 318, 320, 378.

Lienzo # 324 (38 y 39) (múltiples perforaciones)

Cuadrante 1:389, 376, 370, 380, 377, 386.

Cuadrante 2:397, 401, 400, 404, 432.

Cuadrante 3:375, 393, 360, 366, 365, 360, 341, 346, 372, 379,  
380.

Cuadrante 4:397, 403, 396, 375, 36, 25.

Lienzo # 328 (40) (múltiples perforaciones)

Cuadrante 1:367, 359, 372, 364, 370, 370, 376.

Cuadrante 2:383, 387, 400, 25, 398, 36, 384.

Cuadrante 3:383, 382, 394, 364, 36, 381, 25, 322, 383, 289,  
323, 321.

Cuadrante 4:383, 365, 395, 359, 368.

Lienzo # 341 (múltiples perforaciones)

Cuadrante 1:357, 363, 370, 364, 373, 358, 345, 339, 364, 379.

Cuadrante 2:407, 395, 412, 403, 37, 40, 404, 398, 398, 25, 401,  
30.

Cuadrante 3:363, 364, 331, 303, 397, 377, 379.

Cuadrante 4:372, 361, 360, 394, 340, 383, 335, 25, 358.

Lienzo # 346 (múltiples perforaciones)

Cuadrante 1:379, 356, 374, 377, 381, 380, 55, 49, 40, 400, 105,  
376.

**Cuadrante 2:**414, 399, 410, 415, 39, 44, 415, 406, 410.  
**Cuadrante 3:**40, 29, 76, 43, 377, 77, 374, 44, 70, 326, 68, 378.  
**Cuadrante 4:**391, 383, 20, 29, 36, 390, 398, 376, 379, 375.

**Lienzo # 347 (con filtraciones)**

**Cuadrante 1:**355, 366, 379, 328, 355, 75, 37, 331.  
**Cuadrante 2:**393, 385, 397, 394, 40, 410, 390, 402, 30, 35, 40,  
46.  
**Cuadrante 3:**399, 403, 402, 411, 400, 27, 25, 79, 80, 400, 402,  
381.  
**Cuadrante 4:**399, 340, 354, 358, 349, 356, 344, 350, 351.

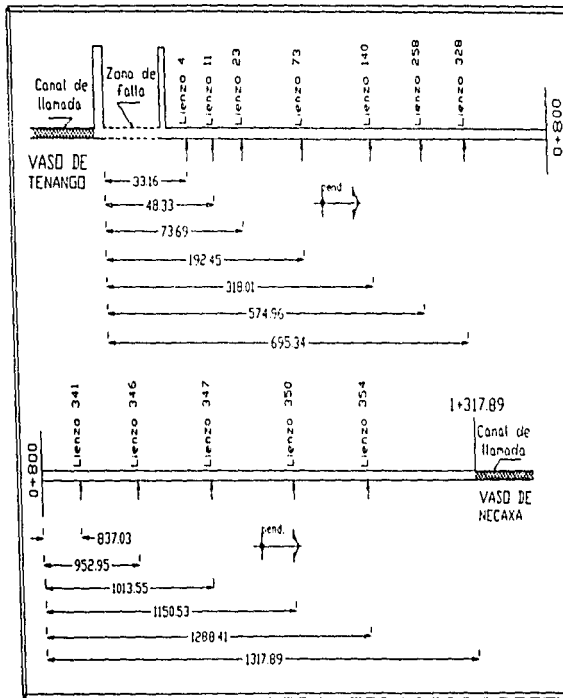
**Lienzo # 350 (perforado)**

**Cuadrante 1:**360, 368, 371, 393, 372, 369, 375, 363, 365, 364,  
368, 367, 42, 40.  
**Cuadrante 2:**46, 394, 399, 377, 42, 23, 410, 35, 396.  
**Cuadrante 3:**390, 366, 377, 390, 389, 65, 80, 37, 50, 62.  
**Cuadrante 4:**254, 380, 55, 57, 400, 372, 374, 355, 369.

**Lienzo # 354 (múltiples perforaciones y tapones)**

**Cuadrante 1:**373, 369, 388, 377, 55, 74, 70, 375, 63, 70.  
**Cuadrante 2:**382, 84, 365, 399, 359, 364, 330, 362, 367, 371,  
398.  
**Cuadrante 3:**346, 359, 351, 383, 352, 345, 356, 347, 337, 350.  
**Cuadrante 4:**401, 388, 361, 378, 69, 384, 362, 367, 69, 349.





PERFIL DEL TUNEL  
QUE CONECTA EL  
VASO DE TENANGO  
CON EL DE NECAXA

## NOTAS

Se tomaron mediciones de espesores, en 354 lienzos, en este plano, se muestra la ubicacion de algunos de estos lienzos estudiados, los que presentan perforaciones, tapones o corrosion avanzada.

La pendiente general del tunel es de  $-0.33\%$

Se puede observar en los resultados de las pruebas de espesores realizados en el interior del túnel, que la mayoría de estas placas están ya muy dañadas, y este daño es debido a la corrosión que han sufrido durante más de 90 años.

Uno de los problemas principales en las estructuras metálicas es precisamente la corrosión, que consiste en la acción más o menos agresiva del medio ambiente que actúa sobre los materiales en forma química, electroquímica, mecánico-química y/o biológica, provocando su deterioro y su destrucción.

El fenómeno se manifiesta más evidentemente en los cuerpos sólidos, como son los metales, cerámicas, los polímeros artificiales, los agregados y los minerales fibrosos de origen natural.

La corrosión y la fatiga tienen efectos recíprocos, es decir, que el deterioro provocado por la corrosión, origina zonas de concentración de esfuerzos en los materiales y por ese motivo reduce su resistencia a los esfuerzos estáticos, dando lugar a la acumulación de los mismos que conducen a la fatiga; y así mismo, la fatiga al causar agrietamientos y fracturas en el material lo exponen más al ataque del medio ambiente.

Por regla general, los efectos perjudiciales de la corrosión, se evalúan en términos del incremento que sufren los esfuerzos

estáticos y dinámicos debidos a la reducción en el área de las secciones transversales de los componentes estructurales.

Aunque la corrosión y la fatiga son fenómenos diferentes, puede decirse que tienen un mismo origen; la inestabilidad termodinámica de la materia y las deficiencias e irregularidades inherentes a los procesos de solidificación, manufactura, tratamiento y manejo de los materiales que son empleados en la construcción de estructuras. La inestabilidad termodinámica está asociada a la naturaleza de los materiales y se explica por la pérdida de cohesión de sus átomos.

Las deficiencias e irregularidades en la constitución de los materiales de construcción inherentes a los procesos de solidificación, manufactura, tratamiento y manejo de dichos materiales son causa de heterogeneidades que al mismo tiempo que les dan características de resistencia, maleabilidad, ductilidad y trabajabilidad propician los fenómenos de fatiga y corrosión.

Se requieren tres elementos básicos la celda galvánica el "ánodo", el "cátodo" y el "electrolito".

Para que ocurra la corrosión, el ánodo y el cátodo deben estar conectados por el electrolito, de tal manera que permitan el flujo de la corriente eléctrica.

El término ánodo se aplica al sitio en que el metal se corroe. En este sitio, el átomo del metal libera electrones al reaccionar con el electrolito y se transforma en un ion.

Los electrones liberados son consumidos por el cátodo al ser reducidos por los iones de oxígeno quedando libres los iones de hidrógeno del agua.

Como ya se mencionó, la reparación consistió en la construcción de un cajón de concreto reforzado, en el cual se encuentra ahogada la sección nueva del túnel. El momento resistente utilizado para el cálculo de la cantidad de acero requerido es:

$$M = \frac{Wl^2}{10} \dots\dots\dots (1)$$

$$As = 5 \times 127 = 635cm^2$$

Despejando W de la ecuación 1 tenemos:

$$= \frac{10M}{l^2}$$

$$= \frac{10 \times 8.96}{2.76^2} = 11.76Ton.$$

Basando los cálculos en el reglamento del D.D.F.

$$MR = FRbd^2 f'' c q (1 - 0.5q)$$

$$MR = 0.9 \times 100 \times 35^2 \times 170 \times 0.049 (1 - 0.5 \times 0.049)$$

$$MR = 895882 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

$$MR = 896 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$f'' c = 0.8 \times 250 \times 0.85 = 170 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$p = \frac{As}{bd} = \frac{6.35}{100 \times 35} = 0.002$$

$$q = \frac{pf_y}{f'' c} = \frac{0.002 \times 4200}{170} = 0.049$$

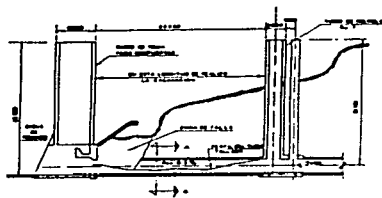
Los anteriores resultados muestran que, el cajón está diseñado para soportar una carga de 11.76 Ton, lo que ayuda a que el armado de este no sea exagerado. Pero si tomamos en cuenta que, para conocer la presión ejercida por el material de la cortina y el agua se debe multiplicar: el peso volumétrico saturado del material por la altura del mismo, lo que nos daría una presión de aproximadamente 35 Ton, lo que requeriría un armado muy robusto, donde se tendrían problemas de colado, puesto que el tamaño del agregado sería casi del tamaño de la separación entre varillas.

Pero si tomamos en cuenta, que la construcción de este túnel hecha hace ya casi un siglo y basados en la inspección visual

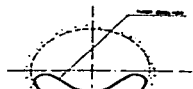
realizada, se conoce que el túnel de Tenango esta recubierto por una capa de aproximadamente 30 cm de concreto simple. Si se revisara la resistencia que ofrece este concreto, encontraríamos que; la resistencia actual es mucho menor a la que ofrece el cajón construido en esta nueva reparación.

El hecho de que el túnel no falle por aplastamiento, se debe a que a todo lo largo del túnel se presenta un fenómeno conocido como fenómeno de arco, en el que la carga o la presión recibida en un punto se distribuye uniformemente a todo lo largo de la sección transversal, lo que reduce grandemente los esfuerzos.

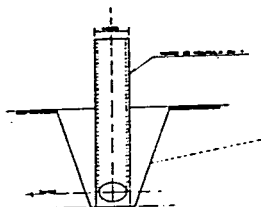
En el caso de la reparación a la que hace referencia esta Tesis, este efecto se logró realizando inyecciones de concreto una vez construido el cajón que protege a la nueva tubería, este concreto, hace que la losa superior del cajón, transmita uniformemente la presión a la sección transversal, reduciendo el esfuerzo cortante.



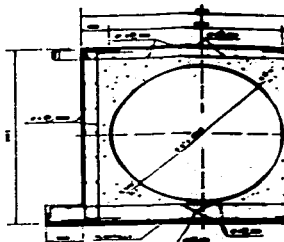
TUNEL TENANGO MECARA  
 (VISTA LONGITUDINAL EN TORRE DE TOMA Y DE VALVULA No. 1)  
 FIG. 1



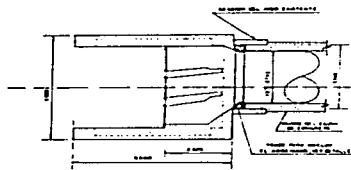
SECCION A-A EN TUNEL  
 FIG. 2



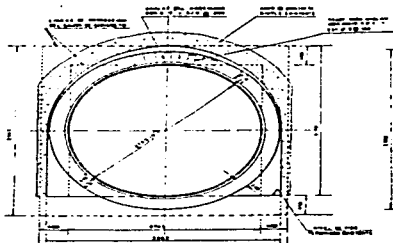
SECCION DE ESCAVACION  
 FIG. 3



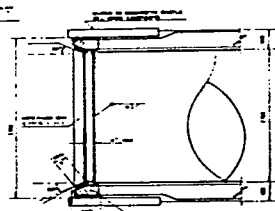
CAJON DE CONCRETO PARA INSERCIÓN  
 DE LA TORRE DE TOMA EN LA TORRE DE VALVULA  
 No. 1  
 FIG. 4



PLANTA MOSTRANDO LA ENTRADA DEL TUNEL  
 A LA TORRE DE TOMA



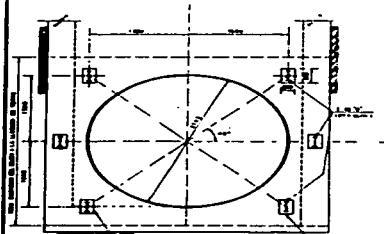
SECCION TRANSVERSAL DEL TUNEL A LA ENTRADA DE LA  
 TORRE DE TOMA MOSTRANDO TRASE PARA APLICAR EL ARBODADO



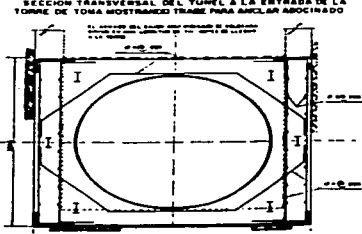
DETALLE DE TRASE PARA APLICAR EL ARBODADO  
 EN TORRE DE TOMA



DETALLE DEL CONCRETO EN  
 ENTRADA DE TORRE DE TOMA



LLEGADA DEL TUNEL A LA TORRE DE LA VALVULA



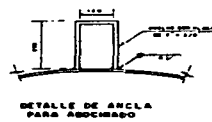
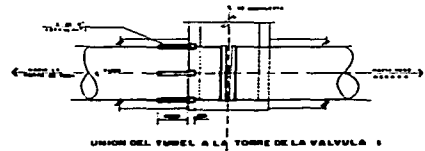
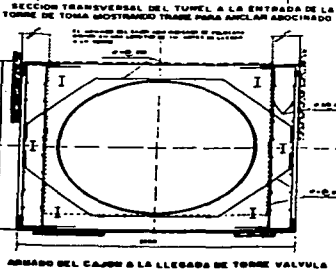
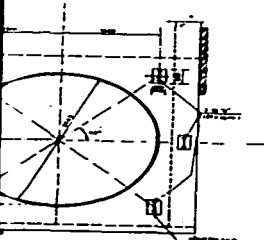
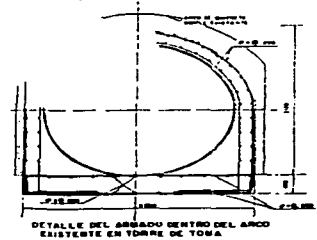
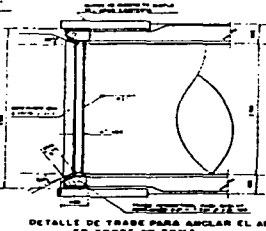
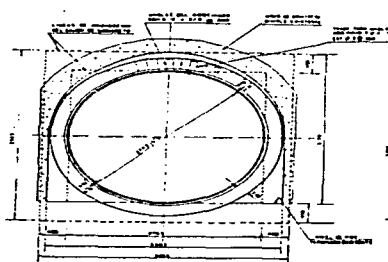
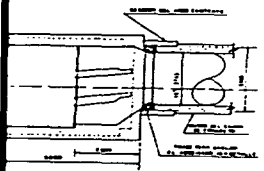
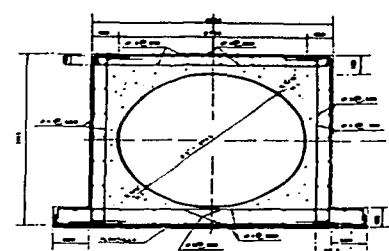
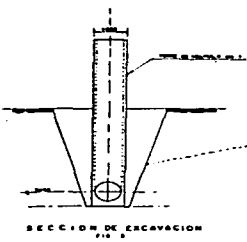
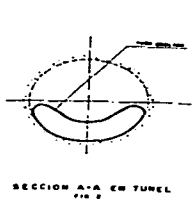
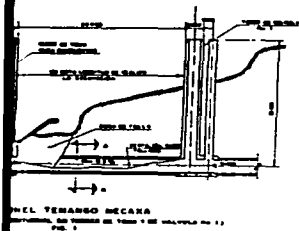
ARBODADO DEL CAJON A LA LLEGADA DE TORRE VALVULA



UNION DEL TUNEL A LA TORRE DE LA VALVULA



DETALLE PARA ARBODADO



**ANTECEDENTES:**

1. EL TUNEL SE CONSTRUYE DE TUBO DE HIERRO Y CONCRETO EN LA TORRE DE TOMA.
2. EL TUNEL SE CONSTRUYE EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
3. EL TUNEL SE CONSTRUYE EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
4. EL TUNEL SE CONSTRUYE EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
5. EL TUNEL SE CONSTRUYE EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
6. EL TUNEL SE CONSTRUYE EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
7. EL TUNEL SE CONSTRUYE EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

1. SE CONSTRUYE EL TUNEL EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
2. SE CONSTRUYE EL TUNEL EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
3. SE CONSTRUYE EL TUNEL EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
4. SE CONSTRUYE EL TUNEL EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
5. SE CONSTRUYE EL TUNEL EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
6. SE CONSTRUYE EL TUNEL EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
7. SE CONSTRUYE EL TUNEL EN LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.

**NOTAS**

- ANCLAR EN TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
- ANCLAR EN TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
- ANCLAR EN TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.
- ANCLAR EN TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA DE LA TORRE DE TOMA.

DIBUJOS RELACIONADOS	
FIG. 1	SECCION TRANSVERSAL DEL TUNEL EN LA TORRE DE TOMA
FIG. 2	SECCION A-A EN TUNEL
FIG. 3	SECCION DE EXCAVACION
FIG. 4	CAJON DE CONCRETO PARA PROTECCION DEL TUBO DE LA TORRE DE TOMA O LA TORRE DE LA VALVULA No. 1
FIG. 5	SECCION TRANSVERSAL DEL TUNEL A LA ENTRADA DE LA TORRE DE TOMA MOSTRANDO TRINCH PARA ANCLAR ABOCINADO
FIG. 6	DETALLE DE TRINCH PARA ANCLAR EL ABOCINADO EN TORRE DE TOMA
FIG. 7	DETALLE DEL ARMADO DENTRO DEL ANCO EXISTENTE EN TORRE DE TOMA
FIG. 8	UNION DEL TUNEL A LA TORRE DE LA VALVULA 1
FIG. 9	ARMADO DEL CAJON A LA LLEGADA DE TORRE VALVULA
FIG. 10	DETALLE DE ANCLA PARA ABOCINADO

**LUZ Y FUERZA DEL CENTRO**

**TUNEL DE TENANGO**

ARMADO MECANICA EN TORRE DE TOMA Y TORRE DE VALVULA No. 1 EN LOS MESES DE MAYO A JUNIO DE 1938

**DISEÑOS RELACIONADOS**





# CATÁLOGO DE CONCEPTOS

## CATÁLOGO DE CONCEPTOS.

CONCEPTO	MATERIAL	LONGITUD	VOLÚMEN
Excavación en el dique	arcillas y boleos	26400 m	1626.5m <sup>3</sup>

CONCEPTO	MATERIAL	LONGITUD	VOLÚMEN
Fabricación del dique en el canal de llamada	arcillas y boleos	190 cm.	14.5 m <sup>3</sup>

CONCEPTO	MATERIAL	LONGITUD	VOLÚMEN
Colocación de plantilla	Concreto simple	23.930 m.	10.92m <sup>3</sup>

CONCEPTO	MATERIAL	LONGITUD	PESO
Habilitado de acero en la parte inferior del cajón	60 varillas del #3	23.930 m.	403.2 Kg.

CONCEPTO	MATERIAL	LONGITUD	PESO
Habilitado de acero transversal en la parte inferior del cajón	80 varillas del #4	5.465 m.	960 Kg.

CONCEPTO	MATERIAL	LONGITUD	VOLUMEN
Colado de la parte inferior del cajón	concreto f'c 250Kg/cm <sup>2</sup>	23.930 m	43.7 m <sup>3</sup>

CONCEPTO	MATERIAL	LONGITUD	CANTIDAD
Colocación de tramos de tubo	placa de acero 7/16"	1.83 m.	13 tramos

CONCEPTO	MATERIAL	LONGITUD	PESO
Habilitado de acero en muros del cajón	40 varillas del #3	23.930 m.	645.12 Kg.

CONCEPTO	MATERIAL	LONGITUD	PESO
Habilitado de acero transversal en muros del cajón	158 varillas del #4	4.465 m.	1896 Kg.

CONCEPTO	MATERIAL	LONGITUD	VOLÚMEN
Colado de los muros del cajón	concreto f'c 250 Kg/cm <sup>2</sup>	23.930 m.	127.31 m <sup>3</sup>

CONCEPTO	MATERIAL	LONGITUD	PESO
Habilitado de acero en la tapa del cajón	48 varillas del #3	23.930 m.	322.56 Kg.

CONCEPTO	MATERIAL	LONGITUD	PESO
Habilitado de acero transversal en la tapa del cajón	120 varillas del #4	5.0 m.	1440 Kg.

# CONCLUSIONES

## **CONCLUSIONES.**

Al realizar la inspección visual en el túnel de Tenango, y en la reparación que se llevó a cabo en el mismo, nos pudimos dar cuenta que la falta de mantenimiento en el túnel y en el Sistema Hidroeléctrico en general, han disminuido en gran parte la capacidad de generación eléctrica de la Planta de Necaxa.

El proyecto de modernización de la Planta Hidroeléctrica de Necaxa, se vió afectado por la grave situación económica por la que atravesó el país en el año de 1994. Si a esa situación, le agregamos que la Compañía de Luz y Fuerza del Centro cuenta con pocos recursos destinados al mantenimiento de este Sistema Hidroeléctrico aunados a la falta de supervisión en el mismo, podríamos considerar que el Sistema Hidroeléctrico de Necaxa, podría sufrir un colapso irreparable, en el cual, mucha gente, estaría en grave peligro.

El anterior comentario se hace, debido a que la gente que vive en el pueblo de nuevo Necaxa, se ha integrado al ecosistema que la construcción de los diferentes vasos creó en aquella zona hace ya casi un siglo. Esta integración es tan grande, que uno de los vertedores de demasfas que hay en la presa de Necaxa, es ahora una cancha improvisada de fútbol.

Esto no habla sino más que de la falta de atención que hay en varias dependencias del gobierno mexicano hacia las cosas que de ellas dependen.

La reparación del túnel de Tenango se realizó con recursos de la Compañía de Luz y Fuerza, por lo que no existen memorias de cálculo, en las que se establezca un presupuesto en el que se indique, cual fue el costo aproximado de la obra.

La única documentación que existe de esta reparación, se incluye en este trabajo y consta de:

- Estudio de espesores en el interior del túnel.
- Plano de la reparación hecha en Junio de 1995.
- Reporte de la falla en el dique de Tenango.

El departamento de Ingeniería Civil, estaba conciente de las necesidades de una renovación del túnel de Tenango, por lo que se dieron 2 recomendaciones:

- Reparación del túnel, recubriéndolo nuevamente.
- Construcción de un nuevo túnel.

En el caso de la construcción de un nuevo túnel, se pidió un presupuesto a la compañía constructora Ingenieros Civiles Asociados (ICA), los cuales quedaron de mandar su presupuesto,



y hasta el momento de la terminación de esta tesis, el presupuesto aún no ha llegado.

La otra opción que se tiene, es la reparación del túnel, por medio de una tecnología francesa que ofrece una compañía llamada Insitu tube, esta tecnología consiste en el recubrimiento interior del túnel, a base de una tubería de resina epóxica, la cual da una superficie lisa, en la que hay pocas pérdidas por fricción dentro del túnel, además de que este recubrimiento, no disminuiría mucho el diámetro interior del túnel.

Esta solución implica, la construcción de un nuevo camino de acceso a la presa, debido a que esta tubería de resina, se introduce dentro del túnel, y después se expande por medio de agua caliente. El aplicar esta tecnología, es bastante costoso, por lo que, simplemente, quedó como otra opción más.

En general, este Sistema Hidroeléctrico, necesita una gran inversión monetaria, que evitaría que se perdiera o simplemente dejara de funcionar esta gran obra de Ingeniería. La modernización del Sistema Necaxa, es un proyecto muy ambicioso, pero tal vez se tendría que pensar primero en la reparación de túneles como el de Tenango, que atraviesan enormes diques de tierra y que podrían ser víctimas de las filtraciones.

En general, esta tesis, presenta una pequeña semblanza de la vida del Sistema Hidroeléctrico Necaxa, que obviamente necesita una reparación mayor, puesto que con el estado actual de todo el Sistema, se ponen en riesgo muchas vidas.

Como se plasma en los resultados de las lecturas que tomó el laboratorio de CLyF a las placas de acero que recubren el túnel, hay secciones o lienzos que se encuentran dañados muy seriamente.

La información presentada en este trabajo, fue recabada de documentos históricos, que se tienen en copias de relatos de gente que ha conocido la belleza de Necaxa y se preocupó por dejar un recuerdo de esta.

Tal vez la información sea muy escasa, sin embargo, son datos valiosos que no se habían recopilado nunca en un solo libro, además de que hay mucha dificultad para conseguirlos.

En lo particular, considero, que este trabajo de tesis, es una pequeña parte de lo que debería existir en documentación considerada importante, dentro de proyectos existentes, y que dependen directamente de CLyF, por lo anterior, espero que esta tesis, sea de gran ayuda para quien la consulte.