



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
" Acatlán "

FUNDAMENTOS PARA LA SEGURIDAD EN PRESAS DE
TIERRA CONSTRUIDAS EN MEXICO

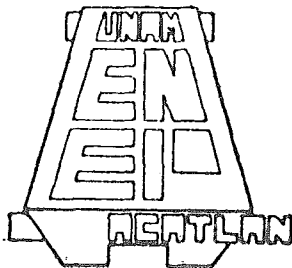
T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a

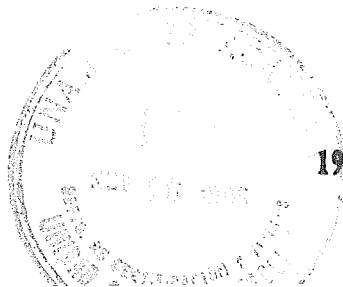
M-0028721

Miguel Angel Contreras Castro



Naucalpan, México

No. de cta. 7306967-6



1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

CI/139/1985.

SR. MIGUEL ANGEL CONTRERAS CASTRO
Alumno de la carrera de Ingeniería
Civil.
P r e s e n t e.

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha, 16 de enero de 1984, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Fundamentos para la Seguridad en Presas de Tierra Construidas en México", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Antecedentes.
- II.- Tipos de fallas en presas de tierra.
- III.- Objetivos y metas de las inspecciones en las presas de tierra.
- IV.- Caso práctico.
- Conclusiones.
- Bibliografía.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el Sr. Ing. Celso Barrera Chávez, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPERITU"
Acatlán, Edo. de Méx., a 17 de septiembre de 1985.

ING. HERMENEGILDO ARGOS SEBRANO
Coordinador del Programa de
Ingeniería.

ENEP - ACATLAN
COORDINACION DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

A la Universidad Nacional Autónoma de México
Por su ayuda para obtener una formación profesional.

A mi escuela y maestros que me transmitieron
sus conocimientos para obtener una preparación
idónea.

A mis compañeros y amigos, por sus consejos
y constante apoyo moral .

A mis Padres :

Francisco y Teresa

Con cariño y agradecimiento por su comprensión,
apoyo moral y económico para terminar mi carrera
profesional.

A mis Hermanos :

José, Francisco, Isabel, Patricia, Arturo
para que logren todos sus objetivos.

A mi Esposa :

Carmen

Con todo mi amor, agradeciendo la confianza y comprensión
para lograr mis propósitos.

I N D I C E

INTRODUCCION.

I). ANTECEDENTES.

I.1.- Historia de las presas en México.....	1
I.2.- Tipos y propósitos de las presas.....	9
I.2.1.- La altura de la cortina.....	9
I.2.3.- Usos	9
I.2.4.- El proyecto hidráulico.....	10
I.2.5.- Tipo de construcción y materiales de su cortina.....	10
I.2.5.1.- Presas de tierra.....	10
I.2.5.2.- Presas de tierra y enrocamiento.....	11
I.2.5.3.- Presas de concreto, tipo gravedad.....	11
I.2.5.4.- Presas de concreto, tipo arco.....	11
I.2.5.5.- Presas de concreto, tipo machones o contrafuertes..	12
I.2.5.6.- Presas de acero estructural	12
I.2.5.7.- Presas de madera	12
I.3.- Distribución de presas registradas en el país.....	12
I.4.- Implantación en México del programa nacional de seguridad para la infraestructura hidráulica (PNSIH)...	13

II). TIPOS DE FALLAS EN PRESAS DE TIERRA.

II.1.- En la cortina o bordo	16
II.1.1.- Filtraciones.....	16

II.1.1.1.- Permeabilidad	16
II.1.2.- Tubificación.....	17
II.1.3.- Licuación	22
II.1.4.- Falla por agrietamiento.....	26
II.1.5.- Deslizamiento de taludes	28
II.1.6.- Falla por sismo	31
II.2.- Falla en el vaso o embalse	34
II.3.- Fallas en el vertedor.....	35
II.3.1.- Fracturamiento y desplazamiento	35
II.3.2.- La erosión	35
II.3.3.- Socavación	35
II.3.4.- Cavitación	35
II.3.5.- Azolve	35
II.3.6.- Diseño hidráulico y estructural	35
II.3.7.- Constructivos	35
II.3.8.- Mecanismos de operación	35
II.4.- Fallas en obras de toma	36
II.4.1.- La erosión	36
II.4.2.- La cavitación	36
II.4.3.- Golpe de ariete	36

III). OBJETIVOS Y METAS DE LAS INSPECCIONES EN LAS PRESAS DE TIERRA.

III.1.- Objetivos	37
III.1.1.- Revisar condiciones generales para garantizar la seguridad en presas de tierra.....	37
III.1.2.- Desarrollo de una guía para inspeccionar a las presas de tierra	43

III.1.3.- Identificar o detectar deficiencias existentes o potenciales	49
III.1.3.1.- En las margenes del vaso	49
III.1.3.2.- En la cortina de tierra	49
III.1.3.3.- En los vertedores y obras de toma	51
III.1.3.4.- Equipo mecánico y eléctrico	51
III.1.4.- Determinar medidas necesarias	52
III.1.4.1.- Medidas preventivas	52
III.1.4.2.- Medidas correctivas.....	54
III.1.4.3.- Importancia de la instrumentación en una presa de tierra.....	57
a). Deformómetros verticales.....	58
b). Extensómetros horizontales y lineales	59
c). Inclínómetros	61
d). Piezómetros	66
e). Celdas de presión	70
f). Medidores hidráulicos de asentamientos.....	72
g). Perfilómetros....	73
h). Acelerógrafos	74
i). Sismoscopios	75
j). Bancos de referencia	77
k). Clinómetros	78
l). Colimador	80
III.2.- Metas	82
III.2.1.- Reducir las posibilidades de fallas	82
III.2.2.- Reducir los costos de reparación y mantenimiento....	82

III.2.3.- Proteger las áreas productivas y centros poblacionales.....	83
---	----

IV). CASO PRACTICO.

INSPECCION EN LA PRESA SOLIS

IV.1.- En el gabinete	84
IV.2.- En el campo.....	85
IV.2.1.- La cortina	85
IV.2.2.- La corona	87
IV.2.3.- Empotramientos laterales	87
IV.2.4.- Drenes	87
IV.2.5.- Vertedor	88
IV.2.6.- Canal de llamada	89
IV.2.7.- Canal de descarga	90
IV.2.8.- Estructura terminal	90
IV.2.9.- Puente y pilas	91
IV.2.10.- Obra de toma Núm. 1	92
IV.2.10.1.- Equipos eléctricos y válvulas	94
IV.2.10.2.- Otros mecanismos	96
IV.2.11.- Obra de toma Núm. 2	98
IV.2.11.1.- Válvulas y motores	100
IV.2.11.2.- Otros mecanismos	101
IV.2.12.- Margen derecha del cauce del río Lerma	102
IV.2.13.- Margen izquierda del cauce del río Lerma	104
IV.2.14.- Dique San Cayetano	105

CONCLUSIONES	106
BIBLIOGRAFIA	108

INTRODUCCION.

Debido a las condiciones de crisis, en que actualmente se encuentra nuestro país, se tiene como medida prioritaria el producir alimentos en gran escala, para satisfacer las necesidades del consumo interno; es decir, se requiere - alcanzar la autosuficiencia alimentaria, a la mayor brevedad posible, para - así no depender de importaciones masivas de alimentos.

Una de las alternativas para lograr la autosuficiencia alimentaria en México, es mediante la optimización del funcionamiento y operatividad de las obras - de infraestructura hidráulica. En éstas, resaltan las presas de tierra, ya- que representan el tipo mayoritario de presas construidas en el país.

Las deficiencias constructivas y estructurales pueden llevar a ocasionar de- sastres, es por ello la necesidad urgente de conocer a fondo el estado que - tienen las estructuras de las presas de tierra y esencialmente el comporta- miento que guardan los materiales de las estructuras.

Para conocer el estado y comportamiento de la presa y sus materiales, se de- be realizar una evaluación general minuciosa de todas las estructuras de la- presa.

Este estudio evaluativo comprende las fases siguientes:

Preferentemente se inicia con la revisión detallada de las hipótesis de dise- ño de las estructuras de la presa, sin olvidar los análisis de las prediccio- nes hipotéticas del comportamiento de la presa.

También verificando las modificaciones físicas o de materiales en la presa, - en el caso de que se presentaran, analizar el porqué de esos cambios.

Posteriormente es necesario realizar observaciones o inspecciones físicas, -- para verificar la información recibida del diseño de la presa.

Esto implica la necesidad de establecer procedimientos efectivos en las inspecciones físicas y con la ayuda de la instrumentación disponible, se estará en condiciones de comparar las informaciones de campo y de diseño, con las predicciones hipotéticas del comportamiento de las estructuras de la presa.

Para así proponer recomendaciones adecuadas y oportunas en las correcciones de las fallas, o sea, en la evaluación se pretende conocer tanto el estado real -- de la presa, como de sus materiales.

Esto definirá el grado de seguridad de las estructuras, es decir, se les considerarán seguras o inseguras.

Por lo tanto, el presente trabajo enmarca y analiza los lineamientos fundamentales, para establecer las condiciones adecuadas de seguridad.

Esencialmente, este trabajo consta de cuatro capítulos y conclusiones.

El primero contiene los antecedentes históricos, haciendo referencia a las presas más importantes construidas en épocas pasadas y actuales relativamente, -- agregando sus propósitos y tipos, también se mencionan su distribución en el -- país.

Finalmente se difunden los objetivos principales del importante programa nacional de seguridad para la infraestructura hidráulica.

En el capítulo dos, se destacan los tipos de fallas que se presentan con mayor frecuencia en las presas de tierra. Además se analizan las causas que generan estos tipos de fallas y sus consecuencias de las mismas al presentarse en las--

estructuras de las presas. Se hace la aclaración que para los alcances de este trabajo, sólo se analizaron las fallas relacionadas con geotécnica y únicamente se mencionan las fallas no afines a la área de geotécnica..

En el capítulo tres, se analizaron en forma profunda cuatro objetivos y tres metas, de las inspecciones físicas en las presas de tierra. En el primer objetivo se destaca sobre la revisión y análisis de la información necesaria para realizar una inspección adecuada y además confiable.

En el segundo objetivo, se desglosa una guía para inspeccionar las estructuras de la presa y equipos auxiliares, por áreas de debilitamiento, no olvidando las márgenes del vaso y el cauce aguas abajo de la presa.

En el tercer objetivo, se mencionan la forma como se identifican o detectan las deficiencias existentes o potenciales en, o alrededor de la presa.

En el cuarto objetivo, se destaca el análisis de las medidas necesarias o sea las medidas preventivas y correctivas, que cuyo fin es prever o minimizar los daños ocasionados por las fallas, y debido a la importancia que representa para el auxilio de estas medidas, se citan los tipos de instrumentación básica para una presa de tierra, enunciando sus finalidades características, funcionamiento, ubicación e instalación.

Respecto a las metas, se hace referencia a las ventajas que representa el realizar en forma correcta las inspecciones.

En el capítulo cuatro, se describe el desarrollo de la inspección física, realizada a la Presa Solís, en donde se comprueba la importancia de contar con la información de la cimentación, de la cortina de tierra, la geología del sitio, y la información hidráulica e hidrológica y la información de los materiales.

Finaliza el trabajo con las conclusiones referentes a la importancia de la --
seguridad de las presas de tierra y la evaluación a la Presa Solís, desde el --
punto de vista de seguridad de sus estructuras.

I). ANTECEDENTES

I.I.- HISTORIA DE LAS PRESAS EN MEXICO.

Durante la época prehispánica (Antes del año 1521), el penúltimo Emperador Azteca, Moctezuma Ilhuilcamina, mandó construir el albarradón de -- Nezahualcóyotl o Albarradón Viejo, que contaba con una cortina de una -- longitud total de 16 Kms. y se localizaba desde el cerro de la estrella- en Iztapalapa hasta Atzacualco Estado de México. Esta obra construída -- con diques o muros de madera, piedra o arcilla, además contaba con -- compuertas y esclusas, siendo la finalidad de esta obra exclusivamente -- el control de las inundaciones de la Ciudad de Tenochtitlán.

Durante la conquista y a través de los tres siglos de la colonia (1521 - 1821), fueron relativamente pocas las obras hidráulicas construídas, debido principalmente a que tuvo poca importancia la construcción de obras para riego, ya que el desarrollo de la agricultura no fué el objetivo -- principal de los gobiernos españoles.

A continuación se mencionan las obras más importantes de esta época:

AÑO DE TERMINACIÓN	NOMBRE ACTUAL DE LA PRESA O VASO	CAPACIDAD MILLONES DE M ³ (Mm ³)	CORRIENTE	ESTADO
1550	Laguna de Yuriria (Bordo de Tavamat <u>acho</u>).	221.3	Río Lerma	Gto.
1730	Saucillo (Mamp-Grav)	6.0	Arr. Saucillo	Ags.
1755	San Blás (Mamp-Grav)	0.5	Río Pabellón	Ags.
1760	Natillas Segundo (Mamp-Grav)	0.5	Arr. Natillas	Ags.
1770	Pabellón (Mamp-Grav)	5.0	Río Pabellón	Ags.
1772	El Aguacate	1.5	Arroyo Aguacate.	Gto.
1780	Huapango (Mamp-Grav)	121.3	R. Huapango	Mex.
1800	Ñado (Mamp-Grav)	2.9	Río Ñado	Mex.
1802	Jaral de Berrio	8.0	R. Sta. Ma.	Gto.
1802	Benito Juárez (Losa de los Padres)	14.0	Río de los Padres	Gto.
1815	El Cuije	1.2	Arroyo Sin Nombre	Gto.

En la época independiente (de 1821-1911) se subdivide en dos períodos:
Primer período.- (1821-1868).

En este período el país se encontraba en una situación de inestabilidad económica y política, causada por guerras internas y externas, así como los continuos cambios en los sistemas de gobierno, por lo anterior solo se construyeron cuatro presas en el país, que fueron:

AÑO DE TERMINACION	NOMBRE ACTUAL DE LA PRESA O VASO	CAPACIDAD MILLONES DE M ³ (Mm ³)	CORRIENTE	ESTADO
1852	Jalpa Vieja de <u>Ca</u> novas.	7.80	Arroyo de los Oroz <u>co</u> .	Gto.
1862	San Antonio	3.0	Arroyo Zarco	Mex.
1865	El Salto	1.40	Arroyo El Salto	Zac.
1865	Malpaso	4.0	R. de Los Lazos	Zac.

Segundo periodo.- (1868-1911).

En el Gobierno del General Porfirio Díaz, se incrementó la construcción de obras hidráulicas como presas para almacenamiento y algunas presas - derivadoras, que a continuación se enumeran:

AÑO DE TERMINACION	NOMBRE ACTUAL DE LA PRESA O VASO	CAPACIDAD MILLONES DE M ³ (Mm ³)	CORRIENTE	ESTADO
1868	La Mula	0.80	Arr. Los Morales	S.L.P.
1880	El Molino	7.70	Arr. Zarco y Río Rosales	Mex.
1885	La Llave	10.00	Río El Caracol	Qro.
1890	La Paz	0.80	Arr. Saucillo	Jal.
1891	Sta. Genoveva	4.00	Arr. La Parada	S.L.P.
1894	La Esperanza	1.60	R. Sta. Elena	Gto.
1895	San Gabriel	0.60	Río Turbio	Gto.

AÑO DE TERMINACION	NOMBRE ACTUAL DE LA PRESA O VASO	CAPACIDAD MILLONES DE M ³ (Mm ³)	CORRIENTE	ESTADO
1895	Sn. Nicolás del Ganado	0.60	Arr. Los Cuartitos	Gto.
1896	Sn. Francisco	3.00	Arr. La Venta	Gto.
1897	Sn. Isidro	2.90	R. San Isidro	S.L.P.
1899	La Quemada	0.80	Río Malpaso	Zac.
1900	Alcantares	7.70	Arr. Chapulín y Arr. Borunda	Ags.
1900	La Dichosa	1.00	Arr. La Dichosa	Ags.
1900	Guadalupe	2.00	Arr. Los Campos	Ags.
1900	La Longaniza	0.50	Arr. Longaniza	Ags.
1900	El Llaverero	1.00	Arroyo del Gil	Ags.
1900	Peñuelas	1.00	Arr. Peñuelas	Ags.
1900	Piedras Chinas	0.50	Arr. P. Chinas	Ags.
1900	Las Mercedes	2.00	Arroyo La Fé	Dgo.
1900	El Ranchito	0.60	Arr. La Dichosa	Ags.
1900	Borunda	0.60	Arroyo Borunda	Ags.
1902	La Ladrillera	0.50	Arr. La Ladrillera	Gto.
1903	El Coto	1.50	Arroyo Garua	Gto.
1903	Huehuemba	0.90	Arr. Huehuemba	Gto.
1904	Sn. Miguel Regla	7.20	Río Huasca	Hgo.
1904	Humectaro	4.90	Río Tirio	Mich.
1905	San Marcos	9.00	Arr. Sacramento	Chih.
1905	La Merced	2.40	Arr. Charco Verde	Jal.
1905	San José	8.0	Arr. Santiago	S.L.P.
1905	Loma Caliente	1.90	Arr. La Pitaya y La Zarza	Mich.

AÑO DE TERMINACION	NOMBRE ACTUAL DE LA PRESA O VASO	CAPACIDAD MILLONES DE m ³ (Mm ³)	CORRIENTE	ESTADO
1906	Guadalupe	0.80	Arroyo Moles	S.L.P.
1907	La Venta	3.20	Arroyo El Potrerillo	Gro.
1908	El Tuliyo	10.00	Arroyo San Miguel	Coah.
1910	La Lobera	1.40	Arroyo Sin Nombre	Mich.
1910	La Purísica	1.00	Arroyo Sin Nombre	Mich.
1910	El Centenario	16.00	Río San Juan	Gro.
1910	Chuviscar	2.10	Río Chuviscar	Chih.

Y también se construyeron las derivadoras siguientes:

En el Valle de Mexicali, con aguas del Río Colorado.

En la región Lagunera, con aguas del Río Nazas.

En el estado de Morelos.

En las haciendas de Lombardías y Nueva Italia, en Michoacán.

Epoca Revolucionaria (1911-1926)

En el Gobierno del Presidente Francisco I. Madero, se iniciaron los estudios geohidrológicos, para proponer la construcción de Obras Hidráulicas, con fines de riego. Se construyó la Presa Necaxa, con capacidad de 42.9 Mm³, para generación de energía eléctrica.

Para 1921, en el Gobierno del General Alvaro Obregón, se construyeron las Presas Tepuxtepec, en el Estado de Michoacán, con capacidad de 371.00 Mm³, para riego; La Presa La Laguna, con capacidad de 57.00 Mm³, para uso de riego, y la Presa La Requena, con capacidad de 71.00 Mm³, destinada para riego y control de avenidas, ambas presas se sitúan en el Estado de Hidalgo; Malpaso, San Bar-

tolo y San Juan, fueron construídas en el Estado de Aguascalientes; Jalpa Nueva, Loreto, El Molino, La Ordeña, San Agustín, Santa Clara, fueron construídas en el Estado de Guanajuato.

Además se construyeron las presas derivadoras Santa Rosa, La Cuchilla, La Calera y El Provenir, en el Estado de Durango.

Epoca Institucional (1926-1946)

En el Gobierno del General Plutarco Elías Calles, se construyeron obras hidráulicas para aprovechar los escurrimientos de los Ríos:

Bravo (a consecuencia del tratado con EE.UU. en 1944);

Conchos en Chihuahua; Salado en Coahuila; San Rodrigo en Nuevo León y San Juan en Tamaulipas. Además se construyeron nueve presas para almacenamiento y son las siguientes:

La Presa Calles en Aguascalientes; Don Martín (Venustiano Carranza) en Coahuila; La Presa Taximay en Hidalgo; La Presa Rodríguez en Baja California Norte; La Presa Cointzio en Michoacán; La Presa San Ildefonso en Querétaro; La Presa La Angostura en Sonora; La Presa Valsequillo (Manuel Avila Camacho) en Puebla y la Presa El Azúcar (Marte R. Gómez) en Tamaulipas.

También se construyó la Presa Villa Victoria en México.

Periodo 1947-1976

Se construyeron 412 presas de Almacenamiento, con capacidad que fluctuaba entre 0.5 a 12,900 Mm³, de las cuales se consideran más importantes las siguientes:

Abelardo L. Rodríguez, Alvaro Obregón, Adolfo Ruiz Cortines y La Cuauhtémoc, en Sonora.

Sanalona, Miguel Hidalgo, Presidente Adolfo López Mateos, Josefa Ortiz de Domínguez y Lic. Eustaquio Buelna, en Sinaloa.

Francisco I. Madero, Luis L. León, Chihuahua, Tintero, Las Lajas y Abraham González, en Chihuahua.

Vicente Guerrero, Estudiante Ramiro Caballero Dorante, e Internacional Falcón, en Tamaulipas.

Internacional La Amistad, en Coahuila.

La Soledad en Puebla.

Valle de Bravo, en México.

Miguel Alemán (Excamé), en Zacatecas.

Presidentes Alemán y Benito Juárez, en Oaxaca.

Chicaya, en Veracruz.

Nezahualcóyotl (Malpaso), en Chiapas.

Solís e Ignacio Allende, en Guanajuato.

Infiernillo, El Bosque, Cupatitzio, sobreelevación de la Presa Tepuxtepec, Urepetiro, La Villita (José María Morelos), en Michoacán.

Vicente Guerrero, Valerio Trujano, La Calera, La Venta y Huitzucó, en Guerrero.

Santa Rosa, Basilio Badillo, Cajón de Peñas, Colimilla, Tacotán y La Intermedia, en Jalisco

Se construyeron también importantes Presas Derivadoras como: San Pedro, Ing. Carlos Carbajal Zarazua, Ing. Andrew Weiss, Sufragio (SICAE), en Chihuahua.

Las Pilas, en Oaxaca.

Morelos, en Baja California Norte.

San Lorenzo, en Sinaloa.

Jicalón, en Michoacán.

Hornos, Tesia y Bacobampo, en Sonora.

Anzalduas, Las Animas y La Patria es Primero, en Tamaulipas.

A partir de 1977, se han construido en México presas de usos múltiples, siendo las más importantes las presas Bacurato y El Comedero, en Sinaloa; La Purísima y La Gavia, en Guanajuato. Chicoasén, La Angostura y Peñitas, en Chiapas.

Desde la época Institucional, hasta hoy, las presas mencionadas fueron construidas por el Gobierno Federal, por medio de Secretarías de Estado.

I.2.- TIPOS Y PROPOSITOS DE LAS PRESAS

En general las presas se clasifican con referencia a:

I.2.1.- La altura de la cortina.

De acuerdo a la altura de la cortina se clasifican en:

CATEGORIA	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO.	ALTURA DE LA CORTINA.
Grande	60.00 Mm ³	Mayores de 30 m.
Intermedia	entre 1 y 60 Mm ³	De 13 a 30 m.
Pequeña	1.00 Mm ³	Menores de 13 m.

I.2.2.- Propósito.

Con base a su propósito pueden ser:

- a) Presas de almacenamiento.
- b) Presas de derivación o regulación.

I.2.3.- Usos.

Considerando sus usos, las presas se clasifican en:

- a) Abastecimiento de agua.
- b) Recreo.
- c) Cría de peces y animales salvajes.
- d) Generación de energía eléctrica.
- e) Riego.
- f) Control de avenidas.
- g) Control de azolves o sedimentos.
- h) Usos múltiples.

I.2.4.- El Proyecto Hidráulico.

De acuerdo con el proyecto hidráulico se clasifican las presas en:

- a) Vertedoras
- b) No vertedoras

I.2.5.- Los Materiales utilizados en la construcción de la cortina.

Con base a los materiales que constituyen su cortina, pueden ser:

I.2.5.1.) Presas de tierra

Dependiendo del procedimiento de construcción se subdividen en:

a) Relleno hidráulico.

Su característica principal es que los materiales integrantes de la sección, son colocados por medios hidráulicos.

b) Materiales compactados.

Se distinguen los siguientes tipos básicos de secciones, que son:

b.1- Sección homogénea.

Está constituida en su mayor parte por un solo material que proporciona simultáneamente la impermeabilidad necesaria. Se emplean suelos finos, limosos o arcillosos y suelos gruesos con alto contenido de finos, que tengan baja permeabilidad. Normalmente intervienen, en volúmenes menores, materiales auxiliares (enrocamiento, gravas y arenas), que contribuyen a la protección del elemento principal.

PRESAS DE TIERRA

A). RELLENO HIDRAULICO



B). MATERIALES COMPACTADOS.

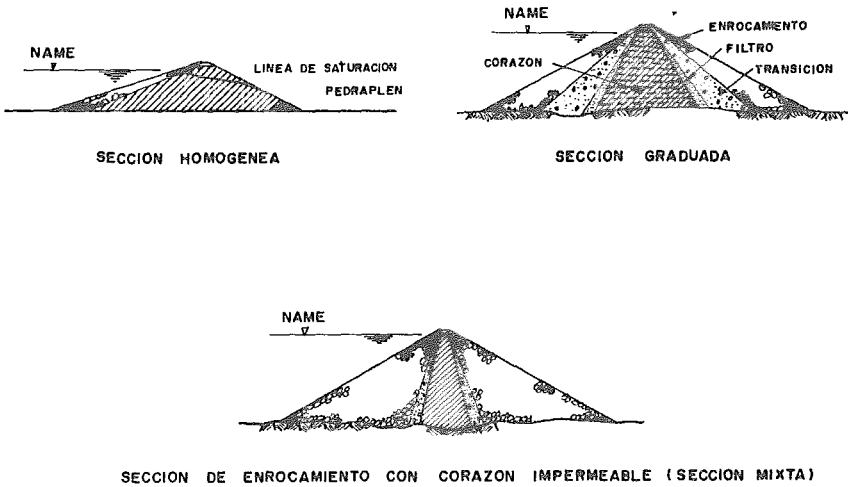
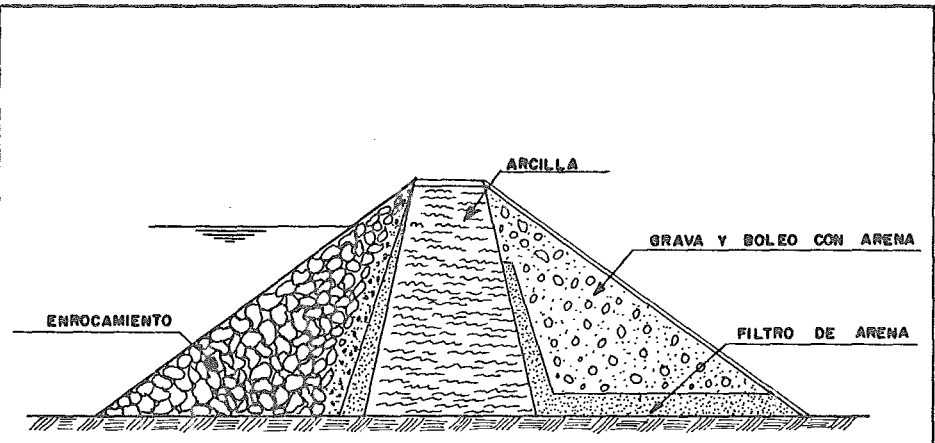
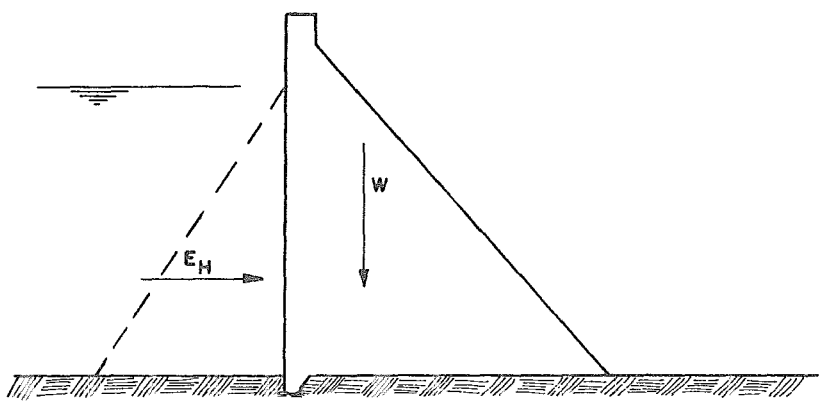


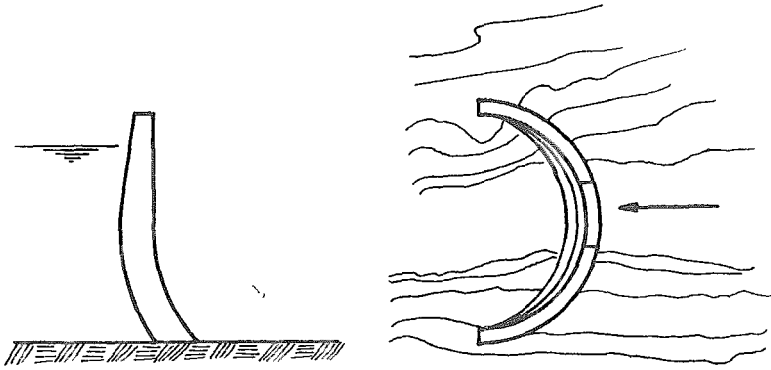
FIG. N° 1.- CLASIFICACION DE TIPOS DE PRESAS DE ACUERDO A LOS -
MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION DE LA COR-
TINA.



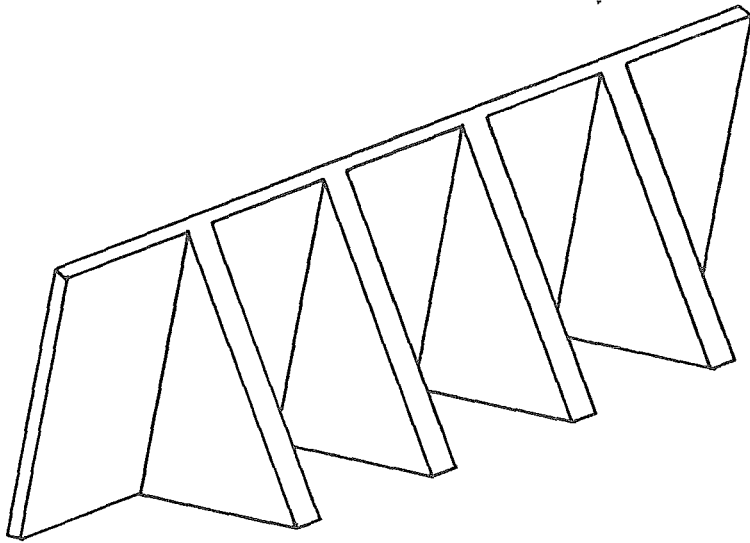
PRESA DE TIERRA Y ENROCAMIENTO



PRESA DE CONCRETO, TIPO GRAVEDAD



PRESA DE CONCRETO TIPO ARCO.



PRESA DE CONCRETO, TIPO MACHONES O CONTRAFUERTES.

b.2.- Sección graduada.

En estas cortinas se emplean suelos finos arcilloso o suelos muy gruesos, pero con alto contenido de finos, que deben estar colocados en zonas. Existen zonas formadas con materiales granulares, gruesos o enrocamiento, cuya finalidad es proporcionar la estabilidad a la cortina.

Entre las dos zonas anteriores se colocan materiales con permeabilidad intermedia, comunmente llamadas zonas de transición, que funcionan como filtro protector en la zona impermeable y contribuyen a la estabilidad general.

b.3.- Sección de enrocamiento con corazón impermeable (sección mixta).

Está constituida por una pantalla impermeable, denominada corazón (cuya finalidad es proporcionar impermeabilidad) y por respaldos de enrocamiento, boleos o materiales similares, que se colocan en ambos lados del corazón. Entre el corazón y los respaldos de enrocamiento, se colocan secciones filtro, para protección del corazón por el contacto directo con el enrocamiento.

I.2.5.2.- Presas de tierra y enrocamiento.

I.2.5.3.- Presas de concreto, tipo gravedad.

I.2.5.4.- Presas de concreto, tipo arco.

1.2.5.5.- Presas de concreto, tipo machones o contrafuertes.

1.2.5.6.- Presas de acero estructural..

1.2.5.7.- Presas de madera.

1.3.- DISTRIBUCION DE PRESAS REGISTRADAS EN EL PAIS.

En México, el registro de presas que se tiene está actualizado hasta el año de 1981, del cual se deduce la existencia de 2012 presas, distribuidas en todo el territorio nacional.

El inventario actual, suministra datos sobre las características de las presas y sus posiciones geográficas.

Un análisis cuantitativo, comprende lo siguiente:

La sumatoria de las longitudes de las coronas de las presas, es de 1' 138,793 m., siendo el 60 % de ellas entre 150 y 450 m. de longitud y con extremos que fluctúan de 1.0 m. hasta 18,000 m..

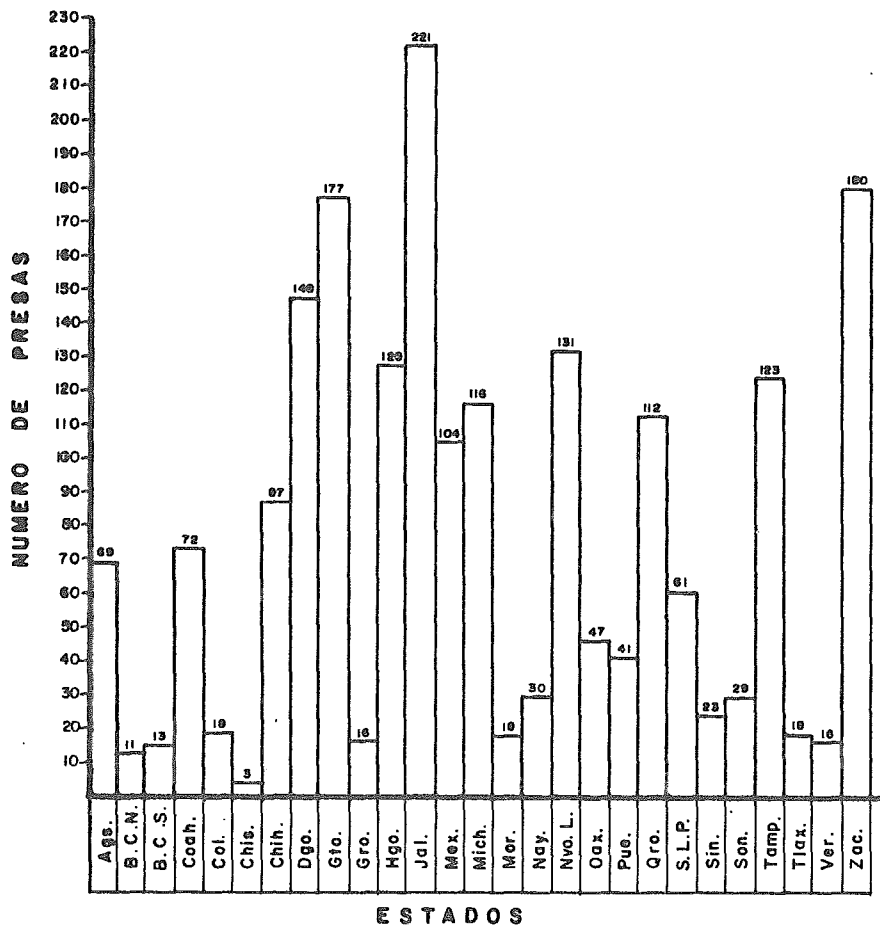


TABLA N° I.1 HISTOGRAMA REFERIDO AL NUMERO DE PRESAS LOCALIZADAS EN LOS-ESTADOS DEL TERRITORIO NACIONAL EN EL AÑO DE 1981.

Los Estados del Territorio Nacional como Jalisco, Zacatecas, Guanajuato, Durango, Nuevo León e Hidalgo, concentran el 48.95 % de presas (986) y el Estado que tiene menos presas es Chiapas con 0.15 % (3).

Respecto al año de terminación de las presas, el 30.02 % de ellas, fué concluida en el año de 1965, otro 24.60 % de las presas, es nula la información o no han sido concluidas, solo el 4.56 % de ellas (91), ya han cumplido 50 años de vida útil, en este sentido los extremos varían entre los años de 1058 y 1977. En cuanto a alturas de cortina, la sumatoria de éstas es de 25.867 m., en donde el 52.09 % de ellas, son de aproximadamente 7 m. de altura, siendo la altura máxima de 250 m. La capacidad máxima que puede ser vertida por las presas, es de 486,216 m³/seg. sin embargo, 909 presas o sea 45.18 % del total, no se tiene información o no cuentan con obra vertedora, ahora bien, el 25.89 % de ellas (521), tienen una capacidad en promedio de 25 m³/seg., fluctuando entre 2 a 43,700 m/seg. La capacidad total de almacenamiento, del 53.93 % de las presas, es de 142,322.5 Mm³, variando entre 300,000 a 750,000 m³, con capacidades mínimas y máximas de 12,000 y 18.5 Mm³, respectivamente.

I.4.-- IMPLANTACION EN MEXICO DEL PROGRAMA NACIONAL DE SEGURIDAD PARA LA INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA (PNSIH).

En el año de 1981, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, aprobó la implantación del Programa Nacional de Seguridad para la Infraestructura Hidráulica, responsabilizando para ello a la Dirección General de Control de Ríos e Ingeniería de Seguridad Hidráulica y específicamente se encomendó su desarrollo a la Subdirección de Operaciones de Protección, en coordinación con las Representaciones Estatales de la SARH.

quienes se encargan de recopilar y analizar la información necesaria, para dar cumplimiento de las disposiciones que emanan del programa.

El objetivo principal del PNSIH, se apoya en acciones teóricas metodológicas y que consisten en:

Definir y minimizar sistemáticamente y ordenadamente el potencial del riesgo y grado de inseguridad, por efectos de alteración o falla, de la infraestructura hidráulica, por medio de estrategias y acciones correctivas y operativas, que garanticen protección y apoyo a los centros productivos y poblacionales, llevadas a cabo, en las etapas siguientes:

Primera etapa.- Lograr el censo y catalogación de las obras hidráulicas que modifican y aprovechan los volúmenes escurridos en el Territorio Nacional.

Segunda etapa.- Conocer el estado que guardan los sistemas hidráulicos, las variables que afectan su funcionamiento y sus requerimientos de seguridad. Obtener e integrar el inventario nacional de la infraestructura hidráulica. Reducir y proponer alternativas de solución a las fallas e irregularidades que se presenten en los cauces, vasos, instalaciones hidráulicas y elementos que intervienen en su formación y protección.

Tercera etapa.- Realizar acciones correctivas y de seguridad a los sistemas hidráulicos que sus características requieran protección.

Preservar la Infraestructura Hidráulica y controlar las irregularidades que denoten inseguridad a las áreas productivas y a

los centros de población.

El Programa Nacional de Seguridad para la Infraestructura Hidráulica, considera en primera instancia como infraestructura hidráulica, a los escurrimientos superficiales naturales (ríos y arroyos) y a las Obras Hidráulicas que controlan, aprovechan y estudian dichos escurrimientos (mediante presas y estaciones hidrométricas y climatológicas).

Cabe aclarar y hacer notar que el Programa de Seguridad reconoce y trabaja con las presas que tienen capacidades mínimas de almacenamiento de 50,000 m³ y/o una altura mínima en la cortina o bordo de 5 m.

II).- TIPOS DE FALLAS EN PRESAS DE TIERRA

II.1.- EN LA CORTINA O BORDO

II.1.1.- Filtraciones

Es una de las fallas que con mayor frecuencia se presentan u ocurren en las presas de tierra y comienza en el instante en que se almacena el agua tras de una presa de tierra, en ese momento una parte de dicha agua empieza a filtrarse a través del cuerpo de la presa o de su cimentación, siguiendo trayectorias que forman flujos con velocidades variadas, iniciadas en el lado de aguas arriba y terminan lógicamente en el de aguas abajo.

La velocidad de flujo y consecuentemente el gasto de filtración, que se presenta a través de la presa o la cimentación, dependen principalmente de las cualidades, que tienen los suelos al permitir el paso del agua; esta cualidad es la propiedad conocida como permeabilidad.

Las filtraciones también se presentan debido a agrietamientos, fallas en la construcción, etc.

II.1.1.1.- Permeabilidad

Es evidente que el agua fluye con mayor facilidad a través de un suelo, con la misma carga hidráulica, mientras mayor sea el tamaño de sus poros.

Resulta entonces que la permeabilidad es una de las caracte-

terísticas que más preocupan cuando se inician los estudios para diseñar a las presas de tierra y se define como la facilidad que tienen los suelos, al permitir que el agua fluya a través de sus poros.

a).- Suelos cohesivos.

La permeabilidad en estos suelos es tan baja que, salvo en ciertas arcillas residuales, los problemas que plantean, tienen poca significación práctica.

b).- Materiales granulares.

Estos suelos son considerados como de media y alta permeabilidad. El movimiento del agua a través de una presa o de su cimentación, es uno de los indicadores importantes de las condiciones en la estructura y puede ser una serie considerable de trastornos.

El agua de filtración, tiende siempre a transportar sólidos en suspensión, que pueden resultar vitales a la estabilidad de la presa.

No se puede asegurar que efecto tendrá la construcción de una presa sobre su cimentación. Las consecuencias pueden ser importantes, no solo en el sitio de la presa, sino que también sobre el vaso o embalse.

Las filtraciones sin control suelen estar acompañadas de presiones de poro excesivas en la presa, cuyos efectos propiciarían fallas más peligrosas que las filtraciones, entre las que se pueden mencionar a la erosión, licuación, etc., en general puede ser una causa del colapso o falla total en una presa de tierra.

II.1.2.- Tubificación

Al almacenarse el agua tras de una presa de tierra, una parte

de dicha agua comienza a filtrarse a través del cuerpo de la presa, de su cimentación o de sus apoyos, siguiendo trayectorias que se iniciarán en el lado de aguas arriba y terminarán, lógicamente, en el de aguas abajo de la presa. La velocidad del flujo y por lo tanto, el gasto a través de la presa o la cimentación, dependerán principalmente de la cualidad que tienen los suelos al permitir el paso del agua; esta cualidad, es la propiedad conocida como permeabilidad.

En algunos casos, la velocidad del agua a la salida de las filtraciones en el lado de aguas abajo, llega a ser suficiente para provocar, en esa parte, el arrastre de las partículas de suelo, iniciando así, la formación de un ducto o tubo, que progresará hacia aguas arriba. Al avanzar el proceso, se generarán concentraciones de flujo y gradientes hidráulicos, que serán cada vez mayores en el extremo de aguas arriba del ducto o tubo, hasta que alcanza a establecer la comunicación entre ambos lados de la presa.

Siendo la velocidad con que circula el agua a través de un medio, igual al gradiente hidráulico multiplicado por una constante propia llamada "Coeficiente de permeabilidad" (k), es decir:

$$V = ki$$

En donde :

V = Velocidad de descarga

i = Gradiente hidráulico

k = Coeficiente de permeabilidad

A su vez el gradiente hidráulico es igual a:

$$i = \frac{h}{l}$$

En donde :

i = Gradiente hidráulico

h = altura piezométrica

l = desplazamiento

Al entrar el agua y fluir a través de ese ducto, provocará el arrastre de material en sus paredes, ampliando considerablemente la sección de dicho ducto o tubo.

El trabajo erosivo del agua, progresa rápidamente pudiendo llegar a generar la falla completa de la presa. Este fenómeno se ha denominado falla por tubificación.

En algunos casos, la formación del ducto o tubo, se puede iniciar a tra-

vés de la unión del terraplén de la presa, con estructuras construídas de materiales rígidos, tales como :

Muros para contención o conductos para obras de toma que atraviesan el cuerpo de la presa. Los movimientos por asentamientos del terraplén que ocurren posteriormente a la construcción, llegan a provocar la separación entre la tierra y el elemento rígido de mampostería o concreto, iniciando así la formación del ducto o tubo.

Sin embargo, no todos los suelos son igualmente susceptibles a los daños causados por la tubificación. La susceptibilidad depende de la adherencia que existe entre las partículas que constituyen el suelo, por una parte, y por otra parte del tamaño y peso de cada partícula.

Un factor que contribuye mucho a la tubificación, es la insuficiencia en la compactación de los materiales de la cortina o bordo, que deja alguna capa del mismo, suelta y floja; esto es particularmente probable cerca de los muros o superficies de concreto, tales como: ductos o tubos.

Otro factor importante es el agotamiento o desgaste de tubos o galerías en el interior de la cortina o bordo.

La tubificación del terreno natural, es aún más frecuente, pues, los suelos naturales son de estratificación más errática y pueden contener estratos permeables.

El efecto en la presa por causa de la tubificación, es el colapso en

la cortina o en la cimentación de la presa.

La tabla II.1.2., es un resumen actual sobre la susceptibilidad de los suelos a la tubificación.

TABLA II.1.2.

Gran resistencia a la tubificación	1.- Arcilla muy plástica ($I_p > 15 \%$), bien compactada. 2.- Arcilla muy plástica ($I_p > 15 \%$), con compactación deficiente.
Resistencia media a la tubificación	3.- Arena bien graduada o mezcla de arena y grava, con contenido de arcilla de plasticidad media ($I_p > 6 \%$), bien compactada. 4.- Arena bien graduada o mezclas de arena y grava, con contenido de arcilla de plasticidad media ($I_p > 6 \%$) deficientemente compactada. 5.- Mezclas no plásticas bien graduadas y bien compactadas, con grava, arena y limo ($I_p \leq 6 \%$).

- Baja resistencia a la tubificación
- 6.- Mezclas no plásticas, bien graduadas y deficientemente compactadas, con grava, arena y limo ($I_p < 6 \%$).
 - 7.- Arenas limpias, finas uniformes ($I_p < 6 \%$).
 - 8.- Arenas limpias, finas uniformes ($I_p < 6 \%$), deficientemente compactadas.

II.1.3.- LICUACION

Se describe como la pérdida total de la resistencia al corte en el suelo a consecuencia del dislocamiento brusco de la estructura granular suelta, bajo la acción de esfuerzos cortantes impuestos cuando el material está saturado; dicho dislocamiento da lugar a la formación de una suspensión concentrada de suelo con agua, que carece temporalmente de resistencia.

La resistencia al corte o al esfuerzo cortante en suelos mixtos (cohesivos y friccionantes), en forma general es:

$$S = C + \bar{\sigma} \tan \phi$$

En donde :

S = Resistencia al corte

C = Cohesión del material

$\bar{\sigma}$ = Presión efectiva

ϕ = Angulo de fricción interna del material

En suelos cohesivos, exclusivamente, la resistencia al corte es:

$$S = C$$

Para suelos friccionantes, la resistencia al esfuerzo cortante es:

$$S = \bar{\sigma} \tan \phi$$

Las causas que pueden producir el fenómeno de licuación, son de dos tipos :

a). Licuación por incremento de los esfuerzos cortantes que obran en el suelo o por disminución de la resistencia a los mismos, y también, existe la licuación producida por una sollicitación brusca sobre el suelo, tal como un sismo, un impacto, etc..

b). Cuando ocurre en arenas saturadas se denomina licuación espontánea, debido a la rapidez al efectuarse.

La rapidez con que se licua un estrato de arena depende de la manera como se desarrollen las deformaciones en su interior.

si las deformaciones afectan simultáneamente a gran volumen de arena, el deslizamiento ocurrirá rápidamente y terminará en unos cuantos minutos; pero si las deformaciones críticas se

desarrollan paulatinamente de manera que, en un momento dado, solamente un pequeño volumen de arena está licuado, el deslizamiento progresará lentamente y puede continuar por varias horas, dependiendo de la masa total afectada.

Los efectos de la licuación en los materiales de la cortina, son los derrames de los mismos en grandes áreas, hasta adoptar taludes irregulares y muy tendidos, que en algunos casos pueden sobrepasar el valor de 10 : 1 .

Respecto a los efectos de la licuación sobre la cortina, se puede manifestar exteriormente por un desplazamiento masivo de la cortina o de una porción importante de ella..

En la tabla II.1.3., se clasifican la sensibilidad de los suelos a la licuación.

Sensibilidad de los suelos a la licuación.	Suelos que puedan ser afectados por el tipo de falla indicada.	Carácter de la deformación necesaria para iniciar el flujo.	Carácter y rapidez de la falla
Alta sensibilidad tipo "A".	Arena en condición muy suelta y el limo.	Pequeñas deformaciones, tales como los producidos por sismos o explosión, que afectan una gran masa.	Flujo rápido (unos minutos).
Baja sensibilidad tipo "B".	Arenas de Río y limos.	Grandes deformaciones que afectan a toda una gran masa.	Flujo rápido (unos minutos).
Baja sensibilidad tipo "C".	Arenas de Río y limos, arcillas estratificadas; arcillas muy sensibles al remoldeo.	Grandes deformaciones creadas progresivamente.	Licuación progresiva, hasta varias horas de duración, dependiendo de la masa afectada.

II.1.4.- Falla por Agrietamiento

Este tipo de falla puede ser causada por asentamientos diferenciales en la cortina o borde de tierra, se produce cuando la deformación de éstas genera zonas de tensión, ocasionando grietas; agregando que este tipo de problemas es más agudo - cuando la presa está construida en una boquilla con laderas fuertemente escarpadas o con cambios bruscos de pendiente.

El agrietamiento puede deberse también, a cualquier fenómeno que induzca tensión en las zonas impermeables o deficiente - cohesión de materiales con propiedades esfuerzo - deformación diferente.

En cortinas con corazón delgado, las deflexiones por movimiento sísmico de gran intensidad pueden producir grietas en la - porción alta del corazón, particularmente cerca de los empalmes, tanto por deflexión como por desfasamiento de las oscilaciones de la cresta y de la boquilla.

Existen dos tipos de grietas que son:

a) Grietas Transversales

Son las más peligrosas y ocurren cuando los estratos compresibles de la cimentación o las zonas impermeables de la presa presentan a lo largo del eje de la cortina, cambios bruscos de compresibilidad o de dimensiones. También, puede sobrevenir como consecuencia del desfasamiento de las deformaciones, cuando se construye una sección de cierre.

El mismo tipo de agrietamiento se puede generar, aunque no haya cambios bruscos de pendiente en la boquilla, o se forma en las fronteras entre materiales de diferentes compresibilidad, provocado por la utilización de materiales de distintos bancos de préstamo, o sea, de uno u otro lado del eje del cauce, o bien en los contactos entre porciones construidas en períodos diferentes, por ejemplo, en las secciones de cierre o cuando los asentamientos diferenciales a lo largo de la cortina son causados por las deformaciones de la cimentación.

El riesgo de agrietamiento transversal aumenta al disminuir el espesor del corazón impermeable y además sea compresible el suelo en el que descansa la cortina.

b) Agrietamiento Longitudinal

Es generalmente menos peligroso que el agrietamiento transversal, excepto en presas con corazón inclinado, ahí los dos tipos de agrietamiento son igualmente graves.

Las grietas longitudinales son más frecuentes, al menos en presas de sección compuesta por una zona central impermeables y respaldos de enrocamiento colocado a volteo.

En este caso, la compresión de los respaldos por reacomodo o rotura de partículas da lugar a grandes esfuerzos cortantes en los contactos con el corazón de arcilla, que pueden ser suficientes para crear tensión en éste, cerca de la corona.

En el caso de que haya mayor compresibilidad en el corazón impermeable que en el enrocamiento, también puede generar grietas longi

tudinales a través del corazón, provocado por el arqueado inducido en el desarrollo de esfuerzos cortantes al contacto con los enrocamientos.

El agrietamiento puede ocurrir con anchos abiertos hasta de 15 ó 20 cm., son más comunes los anchos de grietas de 1 ó 2 cm. comúnmente las presas pequeñas sufren el fenómeno, sin embargo, se presenta con mayor frecuencia en las partes superiores de las presas altas.

El que las presas altas no sean susceptibles en el fenómeno, quizás sea a las presiones grandes que hay en el interior, protegiendo al suelo.

Los efectos de este tipo de falla es la destrucción parcial o total de la presa, este proceso destructivo puede durar algunas horas o varios días, dependiendo de la susceptibilidad de los materiales a la erosión, ya que al presentarse las grietas el agua escurre en ellas, ampliándolas por erosión de sus paredes.

II.1.5. Deslizamientos de Taludes

Los taludes de una presa de tierra deben ser estables aún en las condiciones más desfavorables de esfuerzos que tienen impuestos durante toda su vida útil, en el caso contrario o sea cuando existe una cierta inestabilidad de los taludes es debido principalmente a la falta de resistencia de los suelos constituyentes de los taludes, para resistir los esfuerzos cortantes.

Al someter un estrato de suelo a esfuerzos cortantes, se producen desplazamientos relativos entre sus partículas.

La oposición que ofrecen las partículas a ese desplazamiento relativo se denomina "Resistencia al esfuerzo cortante y depende de la interacción de unas sobre las otras, la naturaleza de estas interacciones será la que determine la resistencia".

Otras causas de deslizamientos de taludes en las presas de tierra pueden ser por las presiones de poro excesivas durante la construcción, las fuerzas de filtración, el incremento de fuerzas actuantes por empuje hidrostático en grietas o por sismo y detalles de construcción deficientes, contactos entre zonas débiles y pérdidas de resistencia por saturación.

Las fallas por deslizamiento ocurren preponderantemente en los primeros tiempos de la vida de la presa y suelen considerarse divididas en las siguientes condiciones de trabajo.

a).- Durante la construcción.

En esta condición, las fallas son menos frecuentes y se han presentado sobre todo en presas cimentadas en arcillas blandas, nunca han sido catastróficas.

Durante el proceso de construcción de una presa, los estratos poco permeables de la cimentación y de la cortina sufren, por una parte, aumentos sostenidos de esfuerzo cortante y por otra, incrementos de resistencia.

Los incrementos de resistencia se deben a que, por no estar el suelo totalmente saturado, parte de los incrementos de esfuerzos se transforman instantáneamente en esfuerzos efectivos y a que las presiones de poro se disipan progresivamente.

b).- A largo plazo y con presa llena.

Las fallas por deslizamiento de taludes, durante el período de

operación de la presa, han sido de dos tipos: Profundas, con superficie de falla invadiendo generalmente estratos de cimentación arcillosa y superficiales, afectando sólo pequeños volúmenes de talud. Las fallas profundas suelen ocurrir a presas llenas y están relacionadas con las presiones neutras que se producen por flujo de agua a través de la cortina y en la cimentación. Es bastante común que las fallas profundas ocurren con relativa lentitud, especialmente en arcillas, con velocidades sobre el estrato del orden de un metro por día, al principio; estos movimientos pueden prolongarse durante semanas a velocidades mucho menores.

Las fallas profundas pueden abarcar todo el ancho de la corona, reduciendo así la altura del bordo, prácticamente siempre, el talud afectado es el de agua abajo.

Los deslizamientos superficiales suelen sobrevivir después de fuertes lluvias y frecuentemente afectan espesores de bordo no mayores que uno o dos metros.

c).-- Durante vaciado rápido.

Durante la época del año las extracciones de la presa son mayores que las entradas, produciendo el descenso en el nivel del agua en el almacenamiento.

Al descender dicho nivel, las zonas impermeables y semipermeables de la presa quedan saturadas y se inicia dentro de ellas un flujo descendente del agua, cuyos efectos son el deslizamiento de materiales especialmente en el talud aguas arriba, sin causar el colapso total de la presa.

El vaciado de una presa ocurre normalmente en un tiempo que puede variar de unos cuantos días, a varios meses, dependiendo de las condiciones de funcionamiento de la presa y la capacidad del vaso. Además no todos los materiales son afectados igualmente por un vaciado rápido; los materiales altamente permeables son capaces de eliminar las presiones de poro tan rápidamente como desciende el agua del vaso. En cambio, los impermeables pueden requerir de uno o varios años para ajustarse a las nuevas condiciones de esfuerzos generados por el flujo descendente.

II.1.6.-- Falla por Sismo

Algunos sismos destructores consisten esencialmente en un sólo choque que dura una fracción de segundo, o unos cuantos segundos y otros duran varios minutos (sinosoidales) y otros algunas decenas de segundo (caóticos).

El primer tipo corresponde a sismos superficiales de pequeña magnitud, sentidos a distancias epicentrales cortas sobre terrenos firmes; el segundo a movimientos distantes, de gran magnitud, sentidos en suelos blandos y el tercer tipo es típico de sismos de gran magnitud sobre terrenos o suelos firmes.

Estos tipos de sismos o temblores son causados principalmente por acomodamiento de grandes capas de materiales en el subsuelo.

Las presas pueden ser causantes de sismos o temblores, principalmente en el primer llenado del vaso de la presa, sin embargo, no ocasionan daños a las estructuras de la presa.

Las fallas más frecuentes, por causa de un sismo o temblor en las presas de tierra son:

- 1.- Deslizamiento o distorsión de la cimentación y/o de la cortina por esfuerzo cortante: Dependiendo de las características mecánicas de la cortina, de la cimentación, de la zonificación de los materiales en la cortina y de la localización de las zonas de debilidad en ésta, los deslizamientos por cortante pueden implicar desde una ligera distorsión de los taludes en la cortina o la traslación masiva de una gran parte de la cortina.

Si la distorsión por cortante es de ciertas proporciones, el efecto final puede ser la destrucción de la presa, ya sea por debilidad de la porción remanente o por que el cambio de geometría permite desbordamiento, con la consecuente erosión de la cortina.

La falla puede ser de consecuencias catastróficas, cuando ocurre la licuación o pérdida de resistencia en la cimentación ante la acción sísmica.

- 2.- Agrietamiento:
 - a).- Transversal
 - b).- Longitudinal

El agrietamiento transversal, se debe principalmente al asentamiento diferencial, otra causa puede ser la vibración fuera de fase de diversas zonas en la cortina.

La falla por agrietamiento longitudinal, es un efecto secundario de las distorsiones de corte.

- 3.- Pérdidas de bordo libre por densificación de la cortina o de la cimentación, esto implica el riesgo de desbordamiento.

- 4.- Rotura de conductos enterrados: La rotura puede ocurrir a causa de deformaciones, permanentes o transitorias, ya que generalmente los conductos enterrados son de concreto, por lo que tienden a fallar más fácilmente por efectos del sismo.

- 5.- Seccionamiento y corte de la cortina por falla geológica: La consecuencia de las fallas geológicas serán severas, en la mayoría de los casos.

- 6.- Deslizamiento o derrumbe de ladera: En el vaso puede causar daños si incide directamente sobre una estructura (cortina, obra de toma, vertedor, etc.) o si llega a generar olas en el vaso, que pueden ser capaces de desbordar a la cortina.

- 7.- Desbordamiento por oscilación en el vaso.

- 8.- Cambio de nivel en el fondo del vaso o embalse.

II.2.- FALLA EN EL VASO O EMBALSE

El vaso o embalse, es el depósito natural o artificial, con la capacidad necesaria para almacenar un determinado volumen de agua.

El caso más obvio de falla en una obra de almacenamiento, es la consistente a la fuga del agua debido a conexiones permeables del vaso o embalse, con el exterior.

Estas conexiones generalmente están constituidas por fracturas, contactos permeables o conductos de disolución.

Otra causa potencial de fuga, es la disolución de rocas, como el yeso, que son rápidamente atacadas por el agua, particularmente si éstas tienen un alto contenido de bióxido de carbono. La fuga puede provocar la pérdida abundante o total del agua almacenada en el vaso o embalse, que acabaría con los propósitos para lo que son construídas algunas presas de tierra, o sea el de almacenar agua.

II.3.-- FALLAS EN EL VERTEDEDOR

Un vertededor es una obra de control o de excedencias en una presa, de cualquier tipo u propósito, que permite el manejo o desalojo de volúmenes excedentes de agua, a través de simples aberturas.

Los vertededores generalmente se clasifican en libres y controlados.

Se mencionan a continuación algunas fallas en los vertededores:

II.3.1.-- Fracturamiento y desplazamiento.

Ocurre cuando los vertededores se localizan en zonas susceptibles de afectación, debido a formaciones geológicas tales como: Plegamientos, tipo y resistencia del material en el desplante y empotramiento.

Así mismo los sismos juegan un papel importante en este tipo de fallas, ya que al presentarse puede generar fallas, que provocarían el colapso de la estructura.

II.3.2.-- La erosión.

II.3.3.-- Socavación.

II.3.4.-- Cavitación.

II.3.5.-- Azolve.

II.3.6.-- Diseño Hidráulico y Estructural.

II.3.7.-- Constructivos.

II.3.8.-- Mecanismos de Operación.

II.4.- FALLAS EN OBRAS DE TOMA

La obra de toma es un conjunto de estructuras que forman un pasaje o conducto, por el cual se permite el paso libre o controlado del agua almacenada en el vaso o embalse de la presa.

Dicha obra se clasifica de acuerdo con la operación hidráulica ya sea de compuertas, o como canal trabajando a presión o ca - nal abierto en toda su longitud.

La obra de toma puede funcionar como reguladora, dando tempo - ralmente salidas al agua almacenada, con el fin de controlar las avenidas.

Además permiten extraer todo el agua del vaso, para realizar - trabajos de mantenimiento en estructuras que normalmente se en - cuentran cubiertas por el nivel del agua.

Las fallas más comunes que se presentan en las obras de toma son:

- II.4.1.- La erosión de las paredes del conducto expuesto a flujos e agua, con alta velocidad.
- II.4.2.- La cavitación.
- II.4.3.- Golpe de ariete.

CAPITULO III.-- OBJETIVOS Y METAS DE LAS INSPECCIONES EN LAS PRESAS DE TIERRA.

III.1.-- OBJETIVOS

III.1.1.-- Revisar condiciones generales para garantizar la seguridad en presas de tierra.

La inspección en una presa de tierra es muy importante e indispensable, porque permite verificar en el sitio de la presa, toda la información recibida en el gabinete, con el fin de evaluar con mayor exactitud las condiciones de seguridad en que se encuentran las estructuras de la presa es decir, que la evaluación comprende una intensa revisión de los estudios constructivos, de los materiales y de la historia operacional. Por lo descrito, se comprende la importancia de realizar una buena inspección y para ello es necesario iniciarla contando con la información siguiente:

- 1.- De la cimentación.
- 2.- De la cortina de tierra.
- 3.- Geológica.
- 4.- Información de los materiales.
- 5.- Sísmica.
- 6.- Hidrológica e Hidráulica.

En forma particular de los puntos anteriores se requiere lo siguiente:

- 1.- La información útil sobre la cimentación de una cortina, se tiene o se obtiene de:

- a).-- Las características de las formaciones del sitio.
- b).-- Los perfiles y especímenes de exploración.
- c).-- Los mapeos y detalles de las juntas de las rocas, de fracturas, fallas de cortantes y fisura.
- d).-- Los registros del tratamiento de la cimentación.
- e).-- Los registros de filtraciones y del drenaje.

2.-- La información necesaria se obtiene de:

- a).-- Registros de construcción, incluyendo fotografías.
- b).-- Registros de pruebas de laboratorio.
- c).-- Planos, especificaciones y otros registros de diseño, incluyendo análisis de estabilidad de taludes.
- d).-- Comparación de los métodos analíticos y los criterios originales de diseño, con las prácticas actuales.
- e).-- Comparación de las propiedades de los materiales en el diseño, con los datos de exploración de la construcción y de las pruebas de laboratorio.
- f).-- Registro de cualquier extracción de minerales o petróleo, o agua que puede afectar peligrosamente la cortina o el vaso.
- g).-- Registros de la instrumentación.
- h).-- Observaciones de la operación y del mantenimiento, incluyendo los reportes, si lo hubiere de inspecciones atrasadas.

3.-- La información geológica se obtiene de:

- a).-- Testigos o núcleos de perforación.
- b).-- Perfiles de exploración.
- c).-- Mapeo y detalles de zonas de cortante, fallas, fracturas, juntas, grietas, fisuras, cavernas, deslizamiento de terreno, materiales compresibles o licuables y planos de estratificación débil.

desplazamientos de la cimentación, deslizamientos, asentamientos, licuación y oleaje.

6.- Los datos requeridos se obtienen de:

- a).- Cálculo de la avenida máxima probable (AMP).
- b).- Estudios de tránsito de avenidas.
- c).- Reevaluación de la capacidad del vertedor, basado en registros hidrológicos, aplicando la tecnología actual.
- d).- Datos de los afluentes del cauce principal, situados aguas arriba de la presa.
- e).- Registros de operación y mantenimiento, incluyendo procedimientos y programa de operación del vertedor y otra de toma.
- f).- Planos de vertedores, obras de toma y datos de diseño.

Posteriormente se procede a revisar y analizar detalladamente la información descrita o sea:

REVISION DEL DISEÑO: El diseño de las presas, se revisará para comparar el funcionamiento actual con el proyectado. Se estudiarán los registros de construcción a fin de determinar si se construyeron las estructuras de la presa, de acuerdo al diseño y como se hicieron las modificaciones, para resolver condiciones imprevistas.

REVISION DE LA CONSTRUCCION: Las condiciones imprevistas, descubiertas durante la construcción, tales como; el debilitamiento de la cimentación o altos niveles de agua subterránea, son indica-

dores, que deben recibir mayor atención en la revisión. Los registros de pruebas de laboratorio, pueden señalar deficiencias sospechosas de los materiales o de los métodos de construcción.

REVISION DE LAS OPERACIONES: Los registros de operación y mantenimiento tales como: Lecturas y análisis de la instrumentación, aplicación de criterios de operación y las desviaciones de las prácticas de operación descritas, serán examinadas, para identificar cualquier problema que pueda amenazar la presa o el vaso. Se evaluará la efectividad de la vigilancia operacional y de la adecuación de la instrumentación.

En la revisión de los registros de operación y mantenimiento para vertedores y obras de toma, se deberá hacer una mención especial de las anomalías del funcionamiento de las compuertas, válvulas, sistemas de control, estructuras de entrada, conductos y disipadores de energía.

Se deben dar ciertas consideraciones a cualquier potencialidad de efectos adversos, localizados aguas arriba o aguas abajo de la presa que está siendo evaluada.

REVISION SISMICA: Los riesgos sísmicos y geológicos deberán ser estudiados profundamente, considerando los datos disponibles, al revisar debe valorarse el riesgo sísmico y decidir si se le dará máxima prioridad a la evaluación detallada del sitio y análisis dinámicos.

Las orillas del vaso se deben revisar, para identificar cualquier talud, que pueda estar inestable. Necesariamente se realizarán estudios para evaluar la existencia o potencialidad de que se presenten fallas en la boquilla y en sus alrededores.

REVISION HIDROLOGICA E HIDRAULICA.- Una presa de tierra con vertedor de capacidad insuficiente, deberá analizarse para predecir la probabilidad y las consecuencias de su desbordamiento. En donde sean importantes los riesgos, se deben tomar medidas expeditas para mejorar la capacidad del vertedor, con el fin de transitar avenidas en forma segura.

Si en la evaluación de los riesgos hidrológicos, el cálculo del tránsito de avenidas, no está al día, deberán actualizarse los datos de precipitación y escurrimientos, pero si los cambios en los datos son significativos, se hará un nuevo análisis del tránsito de avenidas.

Los motivos que se tienen para realizar las revisiones detalladas, es que se plantean las bases necesarias, para hacer una buena inspección en el campo y coadyuve a lograr un diagnóstico eficaz en las condiciones generales de la presa y sus alrededores, con la finalidad de evaluar la seguridad de las estructuras constituyentes de la presa.

III.1.2.- Desarrollo de una guía para inspeccionar a las presas de tierra.

La inspección visual de una estructura es un medio fundamental y confiable para detectar desperfectos o deterioros, además confirma la información recibida en el gabinete.

Por lo que se examinarán las estructuras y los equipos auxiliares, por áreas de debilitamiento, así como las márgenes del vaso y el cauce aguas abajo de la presa.

Es por eso que se requiere preparar una guía de inspección que abarque la revisión detallada, en el campo, de las estructuras de la presa.

La guía consistirá fundamentalmente en lo siguiente:

- 1.- Localizar al operador o presero.
- 2.- Verificar con un recorrido breve, la información de los planos existentes.
- 3.- Revisar el manual de operación de la presa.
- 4.- Verificar la existencia de filtraciones al pie de la cortina (aguas abajo).
- 5.- Localizar obras existentes aguas abajo de la presa.
- 6.- Investigar, aguas abajo de la presa, posibles brotes de agua.
- 7.- Verificar los caminos de acceso a la obra principal.
- 8.- Revisar el acceso a las obras anexas.
- 9.- Verificar si han sufrido modificaciones las estructuras de la presa.
- 10.- Revisar el manual de conservación de la presa.
- 11.- Revisar los mecanismos.
- 12.- Comprobar si los mecanismos son los adecuados.
- 13.- Estimar la capacidad del cauce aguas abajo de la presa.

- 14.- Revisar las obras que pueden obstruir al cauce aguas abajo.
- 15.- Verificar los bancos de nivel.
- 16.- Revisar la existencia de desplazamientos en la cortina.
- 17.- Revisar deslizamientos en el talud aguas arriba.
- 18.- Revisar los empotramientos de la presa.
- 19.- Revisar las erosiones en los empotramientos.
- 20.- Revisar los asentamientos en la cortina.
- 21.- Revisar la inclinación de taludes.
- 22.- Revisar la protección en los taludes.
- 23.- Buscar hoquedades en el cuerpo de la cortina.
- 24.- Observación de la vegetación existente en la cortina.
- 25.- Observar los efectos causados por visitantes al estar sobre la corona.
- 26.- Observar si existen saqueos de material de la cortina y corona.
- 27.- Revisar filtraciones del vertedor.
- 28.- Revisar la existencia de obstáculos en el vertedor.
- 29.- Revisar el canal de llamada del vertedor.
- 30.- Observar el estado actual de los canales de encauzamientos.
- 31.- Revisar los muros de los canales de encauzamiento.
- 32.- Revisar en la cresta vertedora la existencia de fisuras longitudinales.
- 33.- Examinar las socavaciones al pie de la rápida del vertedor.
- 34.- Verificar las huellas de las crecientes o avenidas presentadas en el vertedor.
- 35.- Revisar las agujas del vertedor (solo para vertedores libres).
- 36.- Revisar las fracturas en el tanque amortiguador.
- 37.- Comprobar el funcionamiento de las compuertas.
- 38.- Investigar la existencia de vibraciones en el vertedor.
- 39.- Verificar si tiene pararrayos el vertedor.
- 40.- Verificar la existencia de la planta de emergencias de luz.
- 41.- Observar, en el caso de que lo hubiere, otro tipo mecánico para -

emergencias.

- 42.- Revisar la cimentación en donde se apoya la maquinaria.
- 43.- Verificar el estado que guarda la instrumentación.
- 44.- Revisar la protección de la instrumentación.
- 45.- Verificar y revisar las filtraciones en las galerías filtrantes.
- 46.- Verificar la ventilación en las galerías.
- 47.- Revisar drenes.
- 48.- Verificar el tipo de la obra de toma.
- 49.- Observar el funcionamiento de la obra de toma.
- 50.- Revisar las filtraciones alrededor de la obra de toma.
- 51.- Revisar las válvulas de la obra de toma.
- 52.- Comprobar la capacidad de conducción de la obra de toma.
- 53.- Revisar la existencia de obstáculos en la obra de toma.
- 54.- Investigar la presencia de vibraciones en la obra de toma.
- 55.- Revisar la escala de almacenamiento en el vaso.
- 56.- Revisar el tipo de material en las laderas de la boquilla.
- 57.- Observar si existe el lirio acuático sobre el agua almacenada en el vaso.
- 58.- Revisar la existencia de fugas o filtraciones de agua en el vaso.
- 59.- Verificar la existencia de asentamientos humanos en y alrededor de la presa.
- 60.- Revisar el funcionamiento de los sistemas de comunicación de la presa.

Estos puntos de la gufa, son básicos para realizar una inspección en el sitio de la presa, obviamente puede ser ampliada o reducida, dependiendo de las características de la presa y de la zona.

Finalmente con la ayuda de un formato esencial se realiza un resumen de la inspección efectuada en las estructuras de la presa, para así analizar las condiciones actuales de la presa.

A continuación se describe el formato esencial de apoyo:

FORMATO DE INSPECCION Y EVALUACION DE LAS PRESAS DE TIERRA

- 1.- Nombre de la presa:
- 2.- Organismo responsable:
- 3.- Localización de la presa:
- 4.- Descripción de la presa:
- 5.- Antecedentes de la presa:
- 6.- Elevación del N.A.M.O.:
- 7.- Elevación del N.A.M.E.:
- 8.- Procedimientos de operación y mantenimiento;
- 9.- Grupo de inspección, conteniendo el nombre, título de los integrantes de la inspección, así como la dependencia que la realiza.

CORTINA DE TIERRA

- 1.- Forma y dimensiones:
- 2.- Cimentación:
- 3.- Taludes:
- 4.- Corona:
- 5.- Filtraciones:
- 6.- Empotramiento lateral:
- 7.- Drenes:
- 8.- Otros:

VERTEDOR

- 1.- Tipo (libre o controlado):
- 2.- Cresta:
- 3.- Umbral:
- 4.- Canal de llegada:

- 5.- Canal de descarga:
- 6.- Estructura terminal:
- 7.- Puente y pilas:
- 8.- Compuertas y operación:
- 9.- Otros:

OBRA DE TOMA

- 1.- Tipo y descripción:
- 2.- Estructura de entrada:
- 3.- Estructura de salida:
- 4.- Línea de conducción:
- 5.- Compuertas y mecanismos relacionados:
- 6.- Otros:

VASO O EMBALSE

- 1.- Pendiente:
- 2.- Orillas:
- 3.- Sedimentación:
- 4.- Otros:

INSTRUMENTACION

- 1.- Bancos de referencia:
- 2.- Deformómetros verticales:
- 3.- Inclínómetros:
- 4.- Piezómetros:
- 5.- Celdas de presión:
- 6.- Medidores hidráulicos de asentamientos:

- 7.- Perfilómetros:
- 8.- Acelerógrafos:
- 9.- Sismoscopios:
10. Clinómetros:
11. Colimador:
12. Otros:

Se deberán anexar los croquis con detalles y medidas que resulten necesarias, para mayor claridad del informe, así como fotografías sobre los diferentes aspectos o daños observados.

III.1.3.- Identificar o detectar deficiencias existentes o potenciales.

III.1.3.1.- En las márgenes del vaso.

Se deberá hacer una revisión periódica de éstas, a fin de detectar deslizamientos de tierras, fallas activas erosiones o rutas de filtraciones. La inspección de campo se puede auxiliar por medio de inspecciones aéreas, fotointerpretación o mediciones topográficas.

Los deslizamientos pueden a menudo detectarse con base a las escarpas, abombamientos, árboles inclinados o desalineamiento de las obras auxiliares.

Por otra parte es necesario el detectar posibles asentamientos humanos, dentro de la zona federal del vaso o la zona de protección de la cortina.

III.1.3.2.- En la cortina de tierra.

Se inspeccionarán para detectar agrietamientos, erosiones filtraciones, excavaciones de animales o crecimiento de vegetación; también se detectarán señales de asentamientos o movimientos horizontales; se busca detectar y observar áreas húmedas, veneros y borbotones, éstos se pueden presentar en los taludes, en los empotramientos o en el cauce aún a distancia apreciables de la cortina. Los gastos de éstas fuentes, así como los de los drenes de la cortina de la cimentación, se medirán y analizarán regularmente.

Los desplazamientos de una cortina, se pueden detectar por el desalineamiento de los parapetos, de los barandales y/o

de las obras auxiliares.

La corona de la cortina, se verificará para detectar asentamientos, que puedan reducir el bordo libre.

El talud de aguas abajo de la cortina, así como los terrenos y el cauce inmediatamente aguas abajo, se inspeccionarán para detectar áreas húmedas, veneros, borbotones y crecimiento anormal de vegetación.

El talud de aguas arriba y las márgenes del vaso, se examinarán periódicamente, cuando el almacenamiento se vacie rápidamente.

La hierba sobre la corona y en sus alrededores inmediatos, se quitará para permitir la observación de cualquier agrietamiento, deslizamiento o filtración. No se deben permitir árboles y matorrales sobre la cortina, debido no solo a que ellos limitan el acceso y la visibilidad, sino también a que poseen un riesgo potencial, ya que se pueden derribar ante vientos fuertes, agrietando la cortina por la invasión de sus raíces. La cortina debe de estar libre de excavaciones de animales.

III.1.3.3.- En los vertedores y obras de toma.

Los vertedores y las obras de toma se examinarán para detectar daños por el intemperismo, agrietamiento, reacciones químicas, erosión, cavitación o vandalismo.

También se revisarán evidencias de desplazamientos. El terraplén y los paramentos adyacentes a estas estructuras deberán inspeccionarse para detectar señales de inestabilidad, incluyendo asentamientos y tubificación.

Los disipadores de energía se inspeccionarán para detectar cualquier indicación de que el material pueda ser deslavado o dislocado durante la operación.

En las paredes o el revestimiento de los canales abiertos se verificarán tanto el alineamiento, como el drenaje.

III.1.3.4.- Equipo mecánico y eléctrico.

El equipo mecánico y el eléctrico se examinarán para detectar deterioro, corrosión, piezas perdidas, gastadas o rotas.

Los sellos de las compuertas se inspeccionarán para detectar deterioro, agrietamiento, desgastes y fugas de agua, observando a los mecanismos, elevadores hidráulicos y los controles, con el fin de detectar fugas de aceite.

Los conductores de fluidos y/o sólidos, las bases metálicas

y los sellos para las válvulas, se observarán para detectar corrosión, cavitación, desgaste, alineamiento y fugas.

III.1.4.- Determinar medidas necesarias.

III.1.4.1.- Medidas preventivas.

Son todas aquellas acciones encaminadas a preveer situaciones de peligro para las estructuras que constituyen a la presa.

Estas medidas comienzan en el diseño, que generalmente implica estudios rigurosos y en ocasiones complejos, basados a menudo en suposiciones de las características de los materiales y del comportamiento estructural, pero esto no significa que los resultados de los trabajos analíticos sean siempre precisos.

Las medidas deben ser adecuadas, cuando se aplican tanto la lógica matemática, como el juicio práctico.

Claro está que las medidas preventivas se pueden aplicar durante la construcción de las presas, en el momento de que las suposiciones, acerca de la cimentación o de los materiales, estén en contraposición con la realidad y así mejorar las condiciones de la presa.

Sin embargo, todas las acciones preventivas, son alternativas disponibles, pero no necesariamente son soluciones óptimas.

Las medidas preventivas requeridas son:

En la cortina.

- a).- Se tendrán drenes para colectar el agua de filtraciones, con el fin de tener velocidades mínimas, para no erosionar los materiales cohesivos de la cortina.
- b).- Las capas de filtros, se situarán adyacentes al corazón impermeable y en los drenes.
- c).- El delantal y/o trinchera, deben ser de material impermeable.
- d).- Pantallas de inyecciones.
- e).- Los dentellones y muros, deben construirse de concreto armado.
- f).- Pozos de alivio.
- g).- Ampliar las zonas de transición.

En los vertedores y obras de toma:

- a).- Verificar la capacidad real del cauce, aguas abajo de la presa.
- b).- Comprobar las condiciones del vaso.

En forma general:

- a).- Simular, mediante un modelo de escurrimiento, la secuencia que sigue la corriente, aguas abajo, cuando ocurre una falla en la cortina, para conocer el área de inundación.
- b).- Delimitar la zona federal.
- c).- Prohibir los asentamientos humanos, tanto en las zonas federales como dentro de los cauces de los ríos y vasos.
- d).- Restringir al máximo, las actividades industriales o comerciales, cuyos desechos, escurran hacia el cauce de aguas arriba o aguas abajo de la presa.

e).- Instalar una adecuada instrumentación en la presa.

Los objetivos de la instrumentación en las presas, son principalmente detectar los problemas o fallas específicas, que pueden ocurrir según las características del subsuelo, de la cimentación y de los materiales que constituyen la presa.

Así de esta forma se podrá conocer su comportamiento durante la construcción y operación de la obra.

Por consiguiente la instrumentación tiene las finalidades siguientes:

- 1.- Medir deformaciones y esfuerzos durante y después de la construcción.
- 2.- Conocer el comportamiento de la cimentación y de los materiales que integren el resto del cuerpo de la cortina.
- 3.- Controlar la colocación del material impermeable que forma parte de la cortina.
- 4.- Observar el comportamiento de los taludes en el vaso de almacenamiento al cambiar sus condiciones de contenido de agua.
- 5.- Verificar el flujo de agua a través de la cortina y su cimentación.
- 6.- Obtención de datos, con el fin de verificar y comprobar si el comportamiento de las estructuras de la presa se ajustan a lo analizado previamente en el diseño.

III.1.4.2.- Medidas correctivas.

Con un buen diseño, los problemas que requieren reparaciones o modificaciones, se pueden determinar con tal precisión que las medidas correctivas, se realizan cuando y en

donde se requieren.

Además con el conocimiento amplio y profundo del sitio, de las estructuras y los materiales disponibles, permitirán el rápido enfoque de las alternativas, que tengan más probabilidad de ser la óptima, las cuales pueden ser:

En el sitio.

- a).- Drenaje para taludes inestables del vaso.
- b).- Movimiento de tierra para descargar y/o apuntalar o reforzar taludes del vaso, sujetos a deslizamiento.
- c).- Inyecciones en al cimentación.
- d).- Delantal impermeable.
- e).- Dentellones.
- f).- Drenes perforados horizontalmente en los empotramientos.
- g).- Túneles de drenaje.
- h).- Pozos de alivio.
- i).- Drenes al pie de los taludes de la cortina.
- j).- Rocas fijadas, con anclajes, en los bloques inestables de la cimentación.
- k).- Desalojo de obstrucciones en los drenes.

En la cortina.

- a).- Colocación de filtros estabilizantes, para proteger la cortina de falla por tubificación.
- b).- Reparación de áreas erosionadas en la cortina.
- c).- Incremento del nivel de la cortina, en las áreas que han estado sujetas a asentamientos.
- d).- Reforzamiento a cortinas inestables, con relleno adicional.
- e).- Sellado de grietas de la cortina.

- f).-- Reparación de la protección de los taludes.
- g).-- Desalojo y reparación de material defectuoso de la cortina.
- h).-- Adición o extensión de las zonas de drenes.
- i).-- Eliminación de los hoyos de animales.
- j).-- Eliminación de la vegetación perjudicial.
- k).-- Reparación de los instrumentos y sus estructuras protectoras.

En vertedores y otras de toma.

- a).-- Reparación o ampliación del vertedor.
- b).-- Construcción de un vertedor auxiliar.
- c).-- Eliminación de obstáculos perjudiciales, para el funcionamiento del vertedor.
- d).-- Modificación en los disipadores de energía, para mejorar su funcionamiento.
- e).-- Limpieza de las obstrucciones en los canales.
- f).-- Ventilación de los conductos, para mejorar su funcionamiento hidráulico.
- g).-- Construcción adicional de obras de toma.
- h).-- Suministro de desvíos en obras de toma o de válvulas grandes.
- i).-- Eliminación de los sedimentos que interfieran en el funcionamiento de la obra de toma.
- j).-- Reparación o reposición del equipo mecánico o eléctrico descompuerto.
- k).-- Instalación de medios auxiliares para la generación de energía.
- l).-- Mejoramiento de los caminos de acceso a las estructuras de la presa.

III.1.4.3.- Importancia de la Instrumentación en una presa de tierra.

Sin duda alguna la instrumentación es un medio eficaz por el cual se conoce tanto el comportamiento como el funcionamiento interno de los materiales que integran la cortina y su cimentación.

Por lo tanto, es importante conocer los tipos de instrumentos que existen en la actualidad.

Hay dos tipos de instrumentos; uno es el que se instala durante la construcción y otro después de la terminación de la obra.

Primer tipo de instrumentos:

- a).- Deformómetros verticales
- b).- Extensómetros horizontales y lineales
- c).- Inclínómetros
- d).- Piezómetros
- e).- Celdas de presión
- f).- Medidores hidráulicos de asentamientos
- g).- Perfilómetros

Segundo tipo de instrumentos:

- h).- Acelerógrafos
- i).- Sismoscopios
- j).- Bancos de referencia
- k).- Clinómetro
- l).- Colimador

A continuación en forma detallada se describe el objetivo, característica, funcionamiento, ubicación e instalación de cada instrumento.

a).- Deformómetros verticales

Objetivo:- Sirve para medir deformaciones verticales en el interior de la cortina.

Características:- Consta de una serie de tubos telescopiados de 3 y 4 pulgadas de diámetro, construidos con fierro galvanizado, en forma alternada unidos a los tubos de 3" por medio de una abrazadera se fijan unas crucetas, constituidas por un canal de 101 mm. (4") galvanizado; estos tubos están anclados con una zapata de concreto bajo el desplante de la cortina y se prolongan hasta un registro ubicado cerca de la superficie.

Funcionamiento:- Al ocurrir algún desplazamiento vertical en el material cercano al aparato, los tubos se desplazan a su vez uno dentro del otro, estos desplazamientos son detectados en la superficie y permite inferir las deformaciones verticales del material, así como el lugar donde se presentó la deformación.

Ubicación:- Estos aparatos se colocan generalmente ahogados en la zona de enrocamiento y en diferentes niveles de la cortina.

Instalación:- Se debe procurar elegir el material que rodea a los tubos, evitando las rocas grandes y construir con otro material unos conos de protección de 1.5 m. de altura en su cercanía.

b).- Extensómetros horizontales

Objetivo.- Mide deformaciones unitarias en tres direcciones, de un plano horizontal.

Características.- Tiene tres brazos deslizantes, dos normales entre sí y el tercero a 45° ; estos brazos hacen trabajar a unos potenciómetros y en los extremos opuestos están atornilladas unas placas de referencias. Están formados con barras de acero inoxidable, las cuales se aíslan del terreno circundante, por medio de tubos telescopiados. Las cruces de las barras con las paredes del aparato se sellan con anillos de neopreno ("o" rings). Nueve cables eléctricos salen de la caja por una empaquetadura integrada por dos rondanas de hule y un sello de resina epóxica, estos cables son llevados a la superficie dentro de una tubería galvanizada de 3.8 cms. de diámetro, a su vez rodeada por tubos de plástico telescopiados.

Funcionamiento.- En esencia, los potenciómetros lineales registran las variaciones de la distancia entre dos placas de referencia, las lecturas son medidas mediante un puente de Wheatstone modificado en el cual llegan los cables que salen del extensómetro, da una aproximación de 0.01 % de deformación unitaria.

Ubicación.- Se localizan tanto en el corazón impermeable como también en los enrocamientos y generalmente están asociados con celdas de presión.

Instalación.- Las placas de referencia cuando se instalan en el corazón de arcilla, se colocan a una separación menor que cuando se instalan en el enrocamiento. El instrumento se calibra previamente a su instalación, con la longitud del cable con el que va a trabajar en la celda.

b.1).- Extensómetro lineal

Objetivo.- Mide deformaciones en una sola dirección.

Características.- Consta de dos placas de referencia, unidas entre sí por medio de una barra flexible de acero inoxidable y un potenciómetro circular de tres vueltas.

Funcionamiento.- La barra flexible opera el contacto móvil del potenciómetro, las lecturas se registran en un puente de Wheatstone modificado, con una precisión de 0.1% de la deformación total.

Ubicación.- Se ubica asociado con celdas de presión o localizados en serie desde las laderas hacia el centro del núcleo.

Instalación.- Las placas de referencia cuando se instalan en el corazón de arcilla, se colocan a una separación menor que cuando se instalan en los enrocamientos. Para instalar el extensómetro, se debe calibrar previamente.

c).- Inclinómetro

Objetivos:- Sirven para detectar desplazamientos horizontales en dos direcciones perpendiculares entre sí, así como también detecta movimientos verticales desarrollados en el interior de la cortina.

Características.- Consta esencialmente de un tubo relativamente flexible, cuya verticalidad se modifica cuando ocurren los desplazamientos horizontales, de manera que la línea del tubo al deformarse proporciona en cada momento una imagen objetiva de los desplazamientos que han tenido lugar. La imagen se puede conocer introduciendo un instrumento sensible a la inclinación, a través del tubo.

Es frecuente el uso de la tubería de 8.1 cms. de diámetro y 0.22 cms. de espesor, en tramos de 1.5 ó 3 m., los coples para unir los tramos de tubo pueden ser 15 ó 30 cms., las uniones deben ser telescópicas, el material debe ser suficientemente flexible para seguir fielmente los movimientos del terreno y suficientemente fuerte para soportar las maniobras de instalación.

Existen diversos tipos de inclinómetros, los cuales difieren por la unidad sensible que utilizan. Pero seguramente el inclinómetro cuyo uso es más extendido es el Wilson y más tarde modificado por Persons y Wilson.

El aparato consiste de una unidad sensible, una caja con los controles eléctricos necesarios, cable colector, una tubería para colocar en la cortina, ranurada en dos planos ortogonales entre sí y un equipo auxi-

liar para hacer descender la unidad sensible a través de la tubería.

Funcionamiento.- En el inclinómetro Wilson, la unidad sensible tiene un circuito interno que es un puente Wheatstone, accionado por un péndulo calibrado. Cuando el inclinómetro está vertical, el péndulo toca el centro de una resistencia calibrada, subdividiéndola en dos, las cuales constituyen la mitad del puente Wheatstone; la otra mitad, así como un potenciómetro de precisión, resistencias y las conexiones necesarias, van instalados en la caja de control. El conjunto se acciona con baterías.

Cuando la unidad sensible se inclina, por haberlo hecho la tubería en que se introduce, el péndulo permanece vertical, de manera que la resistencia calibrada, con la que se tiene contacto, queda dividida en dos porciones desiguales, lo que cambia el circuito interno y modifica las lecturas en la unidad de control. Una calibración previa de laboratorio puede lograr que las carátulas de la caja de control, lean directamente la inclinación que corresponde a cada lectura eléctrica. La sensibilidad del instrumento permite detectar un minuto de arco, en forma confiable, en la desviación que la tubería especial vaya sufriendo respecto a la vertical.

Es usual hacer todas las lecturas con el inclinómetro en dos posiciones ortogonales, utilizando las ranuras de la tubería, para obtener en forma más precisa, la imagen de deformación en el espacio.

El Instituto Geotécnico de Suecia, ha desarrollado un aparato de péndulo, análogo al de Wilson, pero el extremo inferior del péndulo, en lugar de modificar una resistencia incluida en un circuito eléctrico, está sujeto por un resorte instrumentado con sistemas de medidores eléctricos de deformación; cuando el péndulo se inclina, varía la longitud del resorte y por lo tan

to también la del filamento metálico del medidor eléctrico, cambiando así la resistencia de éste y se hace la correspondiente lectura en el circuito, en forma análoga al inclinómetro de Wilson.

Otro inclinómetro es el de Geoconsult, en donde la unidad sensible tiene dos cilindros concéntricos, pudiendo el interior girar respecto al exterior, gracias a un motor eléctrico que se controla desde la superficie; el cilindro exterior se inclina obedeciendo la deformación que sufra la tubería que contiene el aparato. Una balanza electrodinámica que contiene un medidor de intensidades de corriente, mantiene siempre el péndulo en el eje de la unidad sensible. El extremo inferior del péndulo está unido a un resorte, de manera que la longitud de éste varía según el aparato, se inclina más o menos, el cambio en la longitud del resorte, produce finalmente un cambio en la intensidad de la corriente circulante, que es la que se mide en la superficie. Además, accionando el motor y provocando la rotación del cilindro interior de la unidad sensible, se puede llegar a la posición en que el péndulo produzca la mínima desviación de su posición original no deformada.

Esta posición del péndulo, en el mismo plano original, se hará notable, porque a ella corresponde la máxima intensidad de corriente en el circuito.

Una calibración previa de laboratorio, permitirá conocer que ángulo de inclinación corresponde a cada una de las intensidades de corriente medidas.

En el inclinómetro Telemac, la unidad sensible es también un péndulo constituido por una pieza metálica flexible, que sostiene un peso en la parte inferior; en la parte superior,

la pieza metálica flexible está sólidamente unida a la cabeza de la unidad sensible. Sobre esta pieza se colocan longitudinalmente, dispuestas en cruz, en planos perpendiculares, cuatro cuerdas vibrantes metálicas, que pueden ser provocadas por un electro - imán que las hace vibrar con una frecuencia natural determinada; si por la aplicación de una tensión ocasionada cuando la unidad sensible se inclina, varía la longitud de la cuerda, la frecuencia de vibración cambia bajo la misma provocación.

En una consola de medición, sobre la superficie del terreno, existe otra cuerda idéntica cuyo extremo inferior, se puede mover ligeramente con un tornillo micrométrico; el circuito que contiene a la cuerda testigo está punteada con los que contienen cada par de cuerdas opuestas, de manera que pueden compararse las frecuencias de vibración de las cuerdas.

El uso de las cuatro cuerdas, permite tomar medidas en dos planos perpendiculares simultáneamente.

Para medir los desplazamientos verticales, se determina primeramente la posición de la boca del tubo del inclinómetro en la superficie, por medio de una nivelación comprobada a partir de un banco de nivel próximo a la cortina, determinándose también la elevación de la boca inferior del tubo.

La variación en la elevación de la boca superior con respecto a la inferior, medida durante los sondeos, da los asentamientos producidos en esa parte de la cortina.

Geosistemas, S.A., perfeccionó el inclinómetro Modelo GS-15G, cuyo funcionamiento es por medio de un péndulo instrumentado y deformímetros eléctricos (Strain Gauges).

Dicho péndulo queda aislado en un recipiente hermético, lleno de aceite delgado, que evita los cambios de temperatura durante las mediciones, además previene las deformaciones en el péndulo.

Con el uso de la tubería tipo SINCO, se pueden definir en dos planos perpendiculares entre sí, las variaciones del perfil de los barrenos, que sirven de base para la observación de la estabilidad de las estructuras.

Una serie inicial de lecturas se obtiene a diferentes profundidades previamente especificadas, para que funcionen como referencia a las lecturas posteriores que se realizarán a intervalos periódicos de tiempo en las mismas profundidades.

Ubicación.- La tubería de los inclinómetros, deben quedar instaladas, dentro de las zonas de máximo movimiento, de hecho conviene orientar los planos definidos por las ranuras en la tubería de los inclinómetros Wilson, en oposición según las direcciones principales de la deformación; si se instalan formando una redícula, se miden las deformaciones unitarias y se trazan mapas de deformación, tanto más precisas cuanto más cerrada sea la redícula.

Instalación.- La tubería del inclinómetro, debe colocarse buscando que la orientación de las ranuras queden lo mejor posible, pero se pueden hacer ajustes pequeños una vez instalada, al rotar ligeramente dentro del pozo, el contacto entre la tubería y el terreno circundante, se logra rellenando con arena fina, el espacio que puede quedar entre la tubería y las paredes del pozo.

Es importante el control de la verticalidad inicial de las tuberías, porque errores de más de uno o dos grados, limitan mucho, la utilización de los inclinómetros.

d).- Piezómetros

Existen varios tipos de piezómetros, los más conocidos son:

d.1.)- Piezómetro tipo Casagrande (Abierto).

Objetivo.- Mide la carga de presión del agua en el punto donde queda colocado.

Características.- Este aparato está formado por un bulbo medidor, que consiste de dos tubos concéntricos de PVC perforados, unido a otro tubo del mismo material, que se prolonga hasta la superficie, el espacio comprendido entre los tubos está relleno con arena gruesa, consta también de una celda porosa a través de la cual entra el agua a la unidad sensible, llenándola y estableciendo en su interior la presión que tenga en el subsuelo. En la superficie del terreno se instala un ohmímetro, para medir el nivel del agua dentro del tubo de salida, también tiene un carrete en el que va enrollado alambre duplex graduado, en tramos de un metro.

Funcionamiento.- Para medir el nivel del agua dentro del tubo de salida, las terminales del ohmímetro se juntan, cuidando que no hagan contacto. Dentro de un solo cable, se introduce éste por la tubería del piezómetro lastrándolo convenientemente con pequeñas masas de plomo. En el extremo inferior del alambre se instala un taquete de hule o plástico, a través del cual pasan las dos terminales del ohmímetro, ya sin ningún recubrimiento protector; cuando las terminales desnudas tocan el nivel del agua, se cierra el circuito alimentado por las baterías del ohmímetro, lo que se manifiesta

ta por un salto brusco de la aguja medidora del aparato; conviene recubrir las terminales con un poco de grasa, para impedir la formación de una película de agua entre ambas; - se marca el cable en este sitio y se saca hasta tener a mano la graduación próxima inferior, se mide con un flexómetro la fracción, haciéndose la suma correspondiente. La cantidad en metros obtenida así, es la profundidad del nivel de agua, en el piezómetro, a partir de la boca.

La boca del piezómetro se nivela topográficamente, restándole a esa elevación la profundidad leída, teniendo así la elevación del agua dentro del piezómetro.

Ubicación.- La localización de cada piezómetro, se hace a partir de puntos de referencia sobre el eje de la cortina, con objeto de conocer los valores de la presión de poro en la cimentación y laderas.

Instalación.- Durante la instalación, se miden directamente con cinta, la distancia de puntos de referencia, con cada estación piezométrica. La elevación del desplante y la boca, se fija mediante la nivelación diferencial de un banco de nivel situado en la ladera fuera de las trazas de la cortina.

d.2).- Piezómetro neumático.

Objetivo.- Se utiliza para observar las presiones de poro, en la vecindad de las celdas de carga y en algunos puntos de la roca de cimentación.

Características.- Consta de un bulbo de plástico perforado, de 1.5" de diámetro, relleno de arena a través del cual se transmite la presión del agua al diafragma circular, de acero inoxidable, con diámetro de 2.86 cms. y 0.13 mm. de espesor; el sello con el cuerpo del piezómetro, se logra mediante dos anillos de neopreno ("o" rings).

De la parte posterior del diafragma, parten dos líneas de tubo de nylon de 3/16" de diámetro, que son llevados a la superficie a través de una tubería de plástico de 3/4" de diámetro (telescopiada). Los extremos de los tubos de plástico, con diámetros de 3/16", para alimentación y retorno, están conectados a un tanque con aire seco, trabajando a presión y a un juego de manómetros de precisión, producida por el agua del embalse que penetra en el corazón de la cortina.

Funcionamiento.- Se inyecta aire comprimido a través de la línea de alimentación, hasta lograr vencer la presión aplicada, en la parte exterior del diafragma, en esas condiciones el diafragma, se desplaza 0.2 mm. y permite el paso del aire a la línea de retorno, que conecta al juego de manómetros, mismos que registrarán una presión mayor que la del agua. Al cerrar la entrada de aire a presión, por la línea de alimentación, permitirá, por medio de una válvula de agua, que el aire escape lentamente, a través de la línea de retorno. De este modo empezará a descender la presión registrada en el manómetro conectado a la línea de retorno, hasta el momento en que se iguale la presión del agua; entonces se cierra el diafragma, interrumpiéndose el retorno del aire. Se registra entonces la presión en la línea de retorno.

Al calibrar el instrumento en el laboratorio, se ha encontrado que para fines prácticos, la presión medida es igual a la presión del agua, debido a la poca rigidez de la membrana y el tamaño reducido del empaque de la línea de retorno.

Ubicación.- Se localiza en algunos puntos de la zona de cimentación y en el corazón de la cortina.

Instalación.- Esta se realiza a diferentes niveles, principalmente en los puntos considerados como críticos y frecuentemente va-

acompañado con la instalación de un grupo de celdas de presión, orientadas en varias direcciones.

e).- Celdas de presión

Objetivo.- Sirven para medir las presiones de tierra.

Características.- La celda es un cilindro de gran diámetro, en comparación a su altura (36 cms. de diámetro, por 1.3 cms. de espesor), cuyas tapas son flexibles.

Existen dos tipos de celdas, eléctricas e hidráulicas.

Las celdas eléctricas contienen una cámara llena de aceite, un diafragma medidor instrumentado, que es la verdadera unidad sensible del aparato y que tiene el dispositivo de cuerda vibrante o los medidores eléctricos de deformación, esta unidad sensible está integrada a un puente Wheatstone, situado en la superficie.

La celda hidráulica, consta además de la celda de una cámara reguladora, una bomba manual y una consola de medición. La celda está llena con agua.

La cámara se comunica con la celda por medio de un tubo delgado y rígido, que posee dos compartimientos separados por un diafragma, del segundo compartimiento salen dos tubos, uno que se conecta a la bomba manual y otro de purga. La bomba se comunica con un depósito de aceite y con un manómetro.

Funcionamiento.- En las celdas eléctricas, la presión que se ejerce sobre el diafragma medidor instrumentado, es detectado por un cambio en la resistencia o por una variación en la frecuencia de vibración en la cuerda, según sea el caso, esta señal es captada en la superficie por medio del puente Wheatstone, el cual por calibración previa de laboratorio, indica la presión homogeneizada a través de la cámara de aceite.

En la celda hidráulica, en un principio, todo el sistema está lleno de aceite y cuando la bomba trabaja, se establece un flujo continuo, en el que el aceite es tomado del depósito, inyectando al compartimiento dos de la cámara y devuelto al depósito por el tubo cuatro.

El diafragma separador de los compartimientos de la cámara, cuando está en equilibrio, permite ese flujo.

Cuando se aplica una presión, sobre la celda, ésta se transmite hasta el diafragma de la cámara reguladora, deformándolo hacia el compartimiento dos; al suceder esto, el diafragma obtura el tubo cuatro, interrumpiendo el flujo de aceite. En ese momento, con la ayuda de la bomba, se ejerce una presión de aceite sobre el diafragma de la cámara, empujándolo hacia el compartimiento uno, o sea hacia su inicial posición de equilibrio. De esta manera se libera el tubo cuatro, restableciendo el flujo de aceite. La presión que se lea en el manómetro, en el instante de restablecido el flujo de aceite, es la ejercida por la presión sobre la celda.

Ubicación.- Se localizan dentro de la cortina, en grupos orientadas perpendicularmente en direcciones prefijadas de antemano.

Instalación.- Se instalan durante la construcción de la cortina, de manera que el tamaño máximo de las partículas de suelo que rodean a la celda, no deben ser mayor de 2 cms.

f).- Medidores Hidráulicos de Asentamientos.

Objetivo.- Mide asentamientos en los puntos internos de la cortina, a lo largo de un alineamiento próximo al horizontal.

Características.- Consisten en una serie de mangueras de plástico, con diámetro de 2", hechas de PVC y en el otro extremo mediante un cabezal de distribución unida a bureta graduada. La tubería de plástico, está protegida por tubos de acero galvanizado, telescopiados, y diámetros de 3.5".

Funcionamiento.- Esta se basa en la medición de los diferentes niveles que toma el agua en la bureta graduada, al fluir en las mangueras, con respecto a la medida del nivel inicial.

Ubicación.- Se localizan a través de la cortina, dentro del núcleo impermeable y en distintas elevaciones.

Instalación.- Esta se hace dejando la manguera con una pendiente descendente, del vertedor hacia la caseta de medición, en donde se encuentra la bureta, a fin de que aún después de registrarse los asentamientos máximos, estimados en los diferentes vertedores, el agua fluye hacia la bureta, conducida por gravedad, sin formarse un sifón invertido.

g).- Perfilómetro

Objetivo.- Sirve para la medición de desplazamientos verticales (asentamientos en forma continua).

Características.- Consta de un tubo PVC, de 2" de diámetro, que va de lado a lado de la cortina, la tubería tiene en su interior un cable graduado, manguera flexible, un aparato transductor acoplado al cable y manguera.

Funcionamiento.- En el interior de la tubería PVC, se hace circular por medio de un cable graduado y una manguera flexible, un aparato transductor acoplado al cable y manguera. El transductor se llena de agua desde una caseta instalada en el exterior, donde se mantiene constante el nivel del agua. Por medio del cable graduado y la manguera, se conoce la posición de la columna de agua en el transductor. Conocida la presión, para cada posición determinada dentro de la manguera de PVC, se calcula la columna de agua que equivale a dicha presión.

Ubicación.- Se encuentra ahogado a través de la cortina.

Instalación.- Se instala durante la construcción de la cortina.

h).- Acelerógrafos

Objetivo.- Se utiliza para medir aceleraciones de tipo sísmico.

Características.- Un acelerógrafo común, se integra por las partes siguientes:

- 1.- Sistema inercial
- 2.- Captador de movimiento relativo
- 3.- Sistema para amplificar el desplazamiento.
- 4.- Sistema de registro, incluyendo marcas de tiempo.

El acelerógrafo más usado en presas, es el modelo AR-240, cuyas características esenciales son:

Tiene tres componentes de medición, dos horizontales ortogonales y uno vertical.

Un período natural de 0.055 seg., un amortiguamiento de 60% del crítico (ajustable), una sensibilidad de 12.9 gal/mm. (ajustable), con un intervalo de trabajo de 10 a 1000 gals., y una velocidad del papel de 20 mm/seg.

Funcionamiento.- Está relacionado con el movimiento de terreno, específicamente capta las aceleraciones, las amplifica y las registra, por medio de gráficas.

i).- Sismoscopio

Objetivo.- Registra las respuestas de la estructura bajo la acción de un sismo.

Características.- La utilidad de este aparato es limitado, debido a que solamente registra un punto en un espectro. En cambio su costo es, en términos generales de 1/100 comparándolo con el costo de un acelerógrafo, por tal motivo, se ha hecho posible la instalación de un número considerado.

El tipo de sismoscopio más utilizado es el USCOS, el cual consiste de un péndulo de suspensión unifilar y amortiguamiento magnético, al que va unido un cristal de reloj ahumado en su interior.

Otro tipo de sismoscopio usado es de el Instituto de Ingeniería (U.N.A.M.), el cual consta de dos láminas de acero, que soportan una pieza prismática, con la que forman un marco fijo en la base del aparato, sujeto al marco se encuentra un dispositivo electromagnético, consistente en una bobina que se desplaza dentro del campo magnético homopolar establecido por un imán permanente, proporcionando así de un amortiguamiento ajustable entre 5 y 10% del crítico.

Funcionamiento.- Este aparato registra los desplazamientos relativos máximos entre el sistema inercial, de que están provistos y su base. Los desplazamientos son registrados por una aguja fija a la base, la cual graba en el cristal ahumado sujeto al marco.

Ubicación.- Usualmente a un acelerógrafo, se asocian grupos de sismoscopios, en esta forma se verifican fácilmente los espectros calculados; otros se colocan aislados en puntos diversos.

Instalación.- Durante la instalación deben efectuarse los ajustes siguientes:

- 1.- Ajuste preliminar de los elementos ópticos de las trazas fijas, las tres móviles y dos de tiempo.
- 2.- Calibración del módulo de tiempo contra un estandar.
- 3.- Comprobación del porcentaje de amortiguamiento y del período natural de los sismómetros.
- 4.- Adaptación de un contador de pulsos de tiempo como testigo de disparo.
- 5.- Adaptación del circuito electrónico de control, previendo la interconexión de varios aparatos.
- 6.- Ajuste de sensibilidad del péndulo arrancador.

j).- Bancos de referencia o de nivel

Objetivo.- Sirven para medir desplazamientos horizontales y asentamientos de la cortina.

Características.- Son monumentos de concreto, con un volumen aproximado de un metro cúbico, tienen ahogadas dos anclas, a las cuales en su parte superior se les sueldan un tubo de bronce, el cual se encuentra tapado en la parte de arriba, por un tapón de aluminio, el cual a su vez contiene un punto de referencia de acero inoxidable.

Funcionamiento.- Se les deben dar elevación, con respecto al nivel del mar mediante nivelaciones de precisión, una vez terminada la obra, antes del primer llenado de la presa. Después de su primer llenado, se deben realizar más nivelaciones, para conocer los asentamientos que pudiera haber en la estructura. También a los bancos de referencia se les puede adaptar una regla graduada, con un nivel y poder de esta forma medir los desplazamientos horizontales, respecto a otros bancos de nivel.

Ubicación.- Se localizan a lo largo de la longitud de la cortina, taludes, bermas, etc.

Instalación.- Se colocan una vez terminada la obra, antes del primer llenado del vaso.

k).- Clinómetro

Objetivo.- Mide los desplazamientos angulares (rotaciones), respecto a la vertical.

Características.- Es un instrumento constituido fundamentalmente de un nivel de burbujas, con gran sensibilidad, cuyas rotaciones son controladas por medio de un tornillo micrométrico, que permite una precisión en las mediciones de dos pulgadas, correspondientes a 0.0097 mm/m.

Todas las partes que lo forman (tornillo micrométrico tuercas, soportes y placa de sostén), son de acero templado, rectificadas y estabilizado, con objeto de evitar deformaciones, producto del asentamiento, con el tiempo, de estos materiales.

El instrumento tiene un campo de medición de un grado, una precisión de lectura de dos pulgadas, sensibilidad de dos pulgadas y peso de 2.25 kgs.

Funcionamiento.- La rotación de la perilla graduada, determina el desplazamiento del tornillo micrométrico, movimiento que se transmite a la primera palanca y de ésta a la segunda, que porta el nivel de burbuja.

La lectura de la burbuja, se realiza con un sistema de prismas, que dividen la imagen en dos partes. La coincidencia de éstas, indicará el valor buscado. Con un espejo ajustable el operador puede observar la burbuja desde la dirección más conveniente.

El tambor graduado con 60 divisiones, es visible a través de dos aberturas laterales, proporcionando primeramente el valor de la rotación, en minutos.

Ubicación.- En general, las estaciones clinométricas, se colocan

sobre la roca de cimentación, en galerías a varias cotas, en pozos y sobre el coronamiento.

Instalación.- Se prevén varios nichos, durante los colados, los cuales alojarán las bases de apoyo. En los puntos en donde no se realizó ninguna preparación, los apoyos se colocan sobre el piso de la galería o removiendo material. La distancia entre los dos apoyos, la establece un escantillón, que se instala sobre el alineamiento en que se tienen perforados los agujeros a distancia de 800 mm., para recibir los tornillos de fijación. Finalmente se recubren con mortero de cemento y arena.

1).- Colimador

Objetivo.- Sirve para determinar desplazamientos de la cortina en puntos de la corona, por triángulación.

Características.- El colimador más utilizado es el galileo, el cual tiene 80 mm. de diámetro del objetivo, con un aumento de 60 x, puede completar una rotación en un plano horizontal, alrededor de su eje vertical. Se puede obtener con él, rotaciones zenitales alrededor de su eje horizontal de + 35° y - 35°.

Un nivel desmontable que se coloca sobre el collarín, asegura la horizontalidad del mencionado eje; de esta manera el telescopio girará en un plano vertical, con una precisión de una pulgada.

El instrumento descansa en tres patas esféricas, dos de las cuales tienen tornillos de nivelación. Para las observaciones nocturnas o en galería, cuenta con un iluminador formado por una lamperita, que se adhiere con una banda elástica a la montadura del objetivo.

Los asientos de la base de apoyo, tanto para el colimador, como para las miras fijas y móviles, están formadas con acero inoxidable y diseñados en forma plana, cónica y en V.

Funcionamiento.- Define en el espacio un plano vertical, que pasa por un punto-estación- (estación de colimador) y por un segundo punto determinado en una mira u objeto. Para que el plano vertical se conserve inmovil, se establecen bases que pueden considerarse fijas, en las que el instrumento ocupa siempre un mismo punto de centrado.

Si la estructura se ha movido, la visual orientada -

desde la estación de aparato y la mira fija, estará desalojada del punto inicial de referencia. Un operador buscará y centrará la mira a la línea de colimación; hecho esto, la escala graduada en milímetros que cuenta con un vernier de aproximación al décimo de milímetro, evidenciará los desplazamientos reales.

Ubicación.- Estos aparatos se localizan en puntos fuera de la cortina, así como las miras fijas, las miras móviles se ubican en puntos de la cortina y de la corona.

Instalación.- La base del colimador se empotra en el monumento estación protegida con una tapa metálica impermeable.

La base de apoyo, para miras fijas y móviles, están contruidas con una placa metálica, un perno de cabeza hexagonal, para su colocación.

Tres tornillos inferiores invertidos, facilitan la nivelación, durante la instalación.

III.2.- METAS

Las inspecciones en campo, son muy importantes porque cuando se realizan en forma correcta, se logran detectar deficiencias de las presas, a su vez se dictaminan las recomendaciones especiales de estudios, reparaciones, modificaciones o restricciones operacionales necesarias, dando como resultado una buena evaluación de las condiciones generales de seguridad en las presas.

Son por lo tanto, las inspecciones en campo, fundamentales para:

III.2.1.- Reducir las posibilidades de fallas.

Es lógico pensar que mediante una inspección se darán las recomendaciones necesarias para lograr un funcionamiento adecuado de operatividad, vigilancia y mantenimiento.

Al realizarlas en forma permanente, en una presa, se evitarán al máximo, las posibilidades de que alguna falla se presentara subitamente o en el momento de presentarse causará daños mínimos (humanos o materiales) y así reducir los desastres, paralelamente se aumenta la seguridad de la presa.

III.2.2.- Reducir los costos de reparación y mantenimiento.

Los costos tanto de reparación y mantenimiento se reducirá considerablemente, en el momento preciso de desarrollar permanentemente un programa de inspecciones.

Este programa de inspecciones ha sido experimentado en otros países, con resultados siempre ventajosos para el que lo realiza, principalmente en el aspecto económico y aún más en el de seguridad.

III.2.3.- Proteger las áreas productivas y centros poblacionales.

La disponibilidad de agua corriente o almacenada, es un factor preponderante para el asentamiento de conglomerados humanos tanto habitacionales como productivos.

Los desarrollos urbanos y productivos tienen una tendencia atávica de crecer hacia y acercándose a los cauces de los ríos.

Los preceptos legales que establecen la propiedad federal sobre los cauces de las corrientes, incluyendo su llanura de inundación para la avenida máxima ordinaria, desarrolla en la ciudadanía, la idea de que se trata de una zona libre a su ocupación indiscriminada y sin requerimientos de autorización, lo que genera problemas sociales patéticos de damnificación masiva, afectando principalmente a estratos socioeconómicos bajos de la población.

Lo anterior, sin embargo, refleja la idiosincrasia de nuestro pueblo, pero desgraciadamente no se limita sólo a estratos económico y culturalmente más débiles, sino que las propias autoridades estatales, municipales o locales y aún dependencias oficiales, promueven la ocupación ilegal de áreas inundables.

Por lo que es necesario y urgente realizar un programa de inspecciones permanentes, para así controlar todas las anomalías ya descritas con anterioridad y entonces se dará una efectiva protección a las áreas productivas y centros poblacionales.

IV.- CASO PRACTICO

INSPECCION DE LA PRESA SOLIS

IV.1.- En el Gabinete

Los datos que se requieren del gabinete, respecto a la presa en estudio, para iniciar la inspección, son los siguientes:

- a).- Nombre de la presa: Solís
- b).- Organismo responsable: S.A.R.H., Distrito Agropecuario de Riego No. 11.
- c).- Localización de la presa: Se encuentra en $20^{\circ} 03' 29''$ latitud Norte y $100^{\circ} 43' 05''$ longitud W., aproximadamente a 5 Km. en línea recta, al Noreste de la Ciudad de Acámbaro, Gto. y a 7.5 Km. de la misma Ciudad, circulando por la carretera Acámbaro-Jerécuaro.
- d).- Descripción de la presa: Es una presa con una altura en la sección máxima de 50.15 m., considerada como media, su función principal es el almacenamiento de agua para riego, con capacidad total de 1217 Mm^3 , su cortina es de materiales graduados, con una longitud de corona de 3,094 m., tiene dos obras de toma, con una tubería de presión, cuya capacidad de descarga es de $90 \text{ m}^3/\text{seg.}$, por cada una cuenta con un vertedor de demacias, controlado por cinco compuertas radiales con una capacidad máxima de descarga de $1000 \text{ m}^3/\text{seg.}$ además tiene tres galerías para inspección, o sea una para cada obra de toma (intercomunicadas) y una para la estructura vertedora.

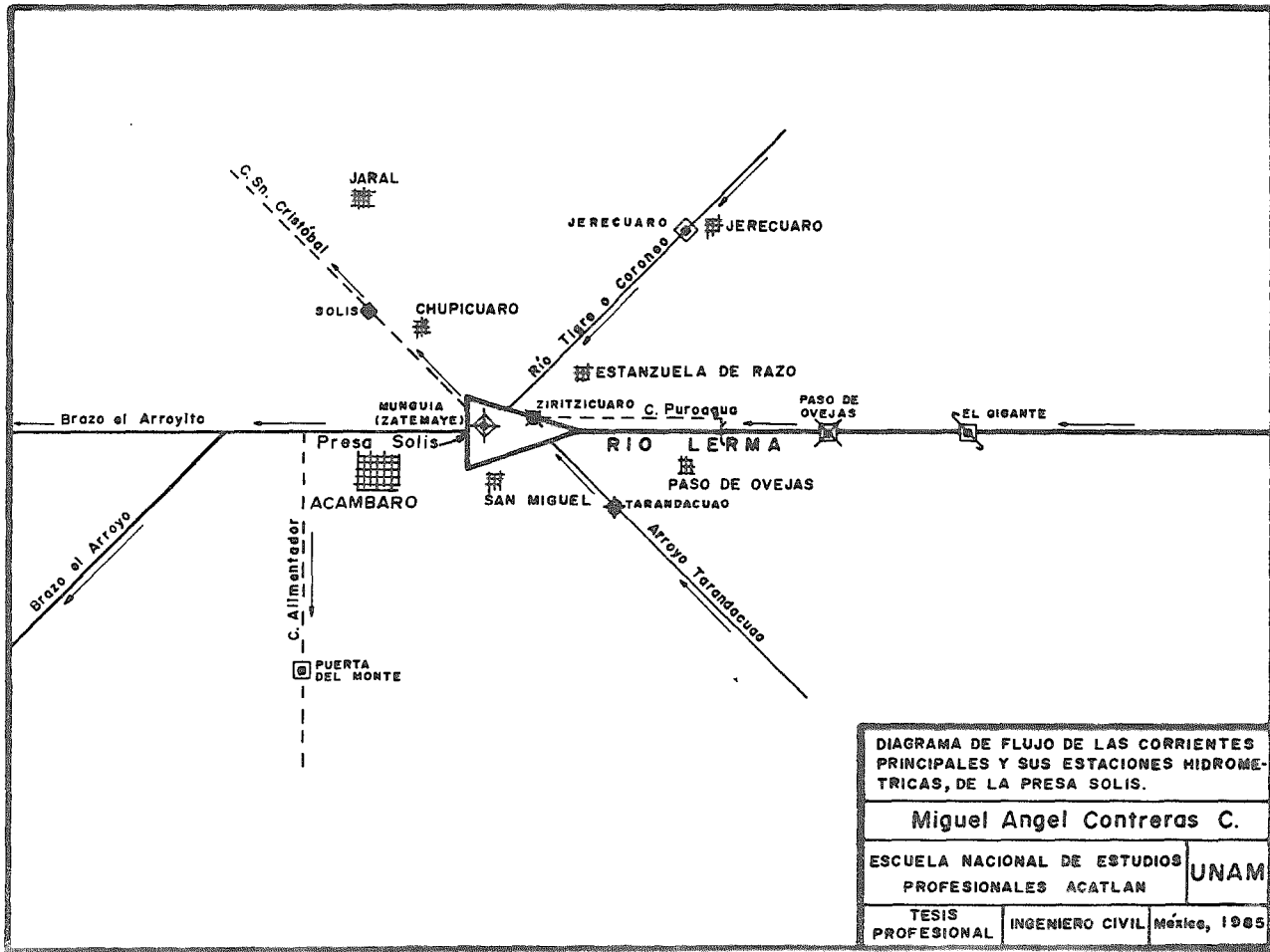
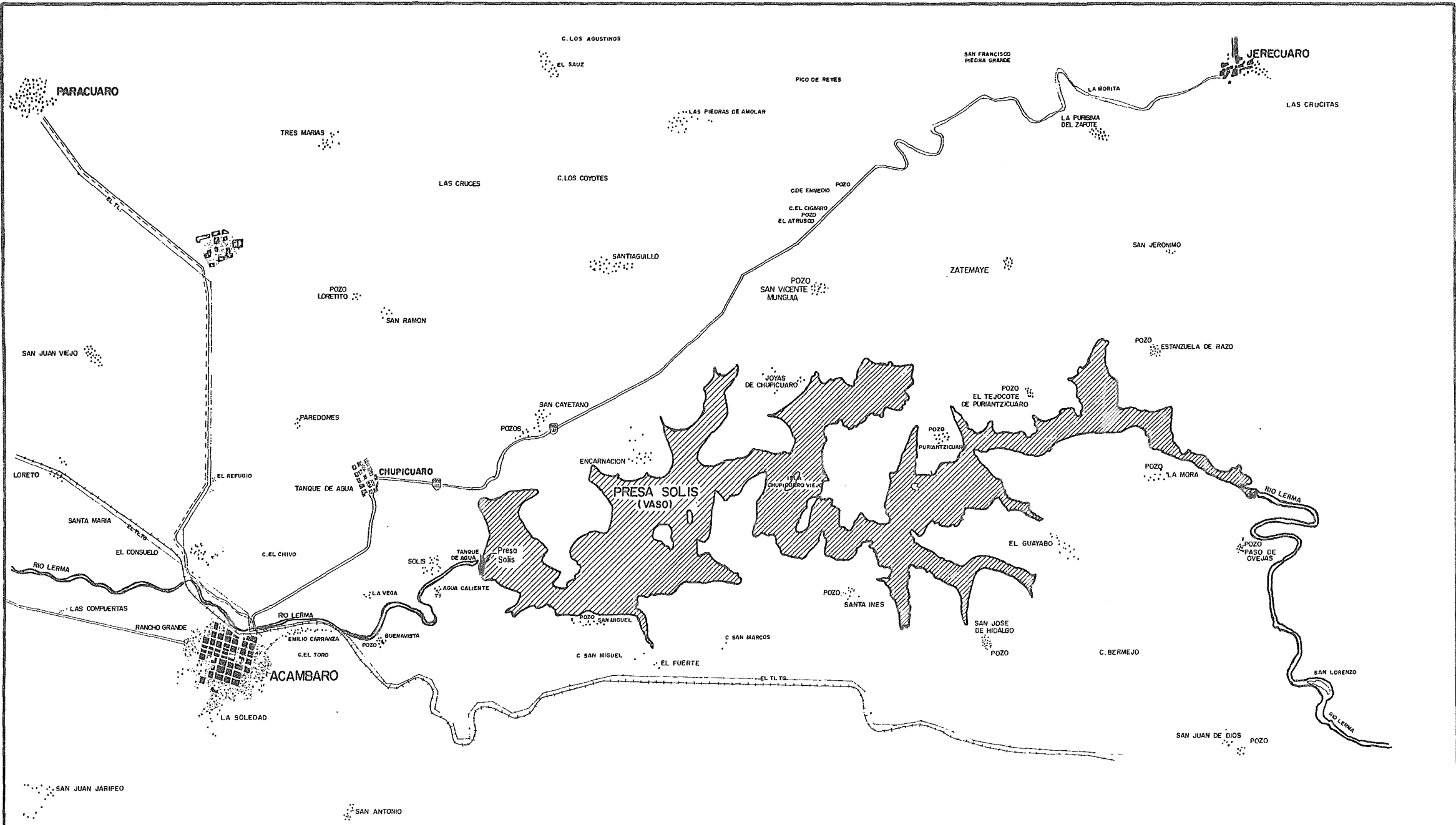


DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS CORRIENTES PRINCIPALES Y SUS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS, DE LA PRESA SOLIS.

Miguel Angel Contreras C.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN UNAM

TESIS PROFESIONAL INGENIERO CIVIL México, 1985



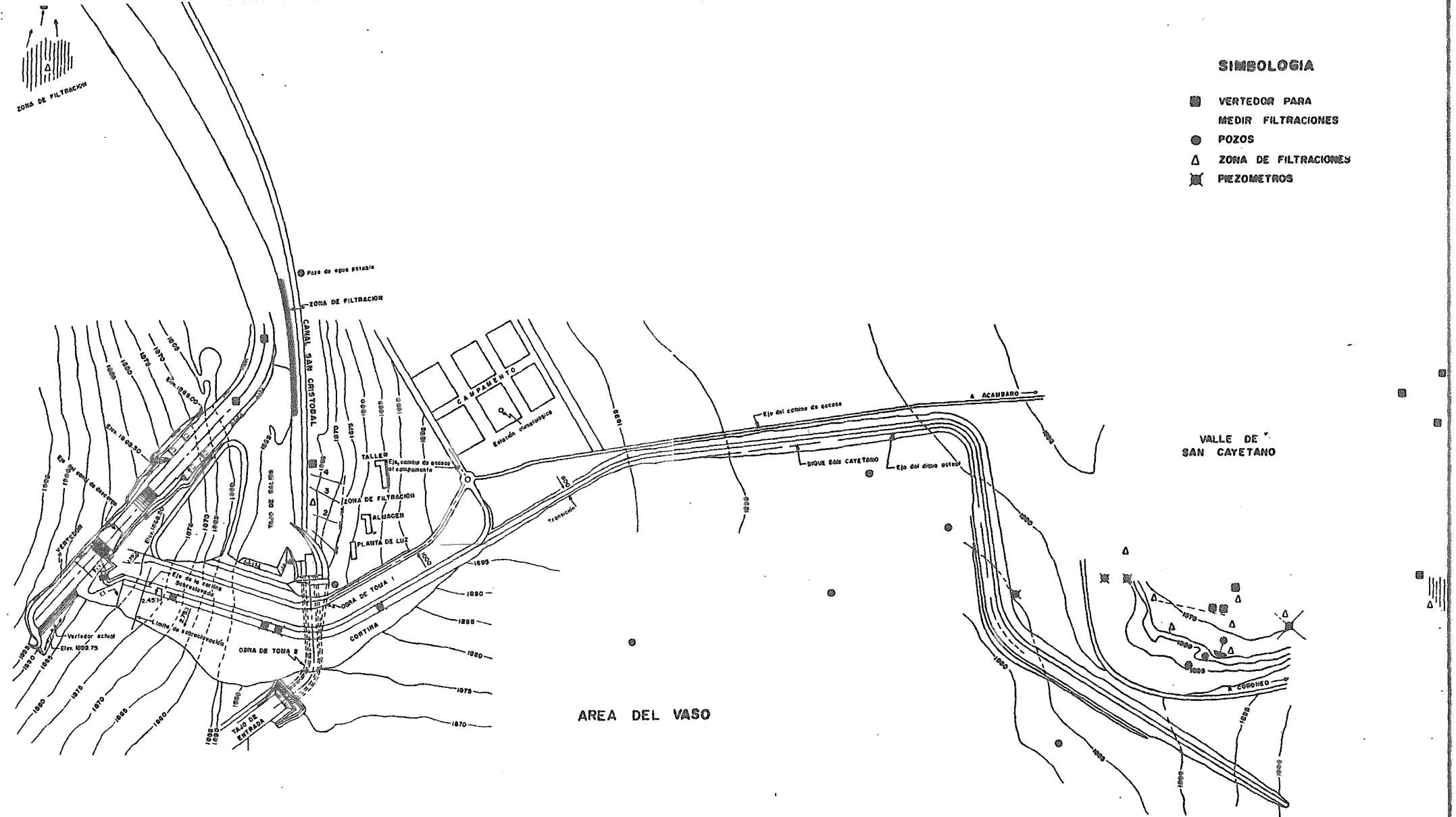
ESCALA 1:250 000

PLANO DE LOCALIZACION DE LA PRESA SOLIS		
Miguel Angel Contreras C.		
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN	UNAM	
TESIS PROFESIONAL	INGENIERO CIVIL	Mexico, 1985



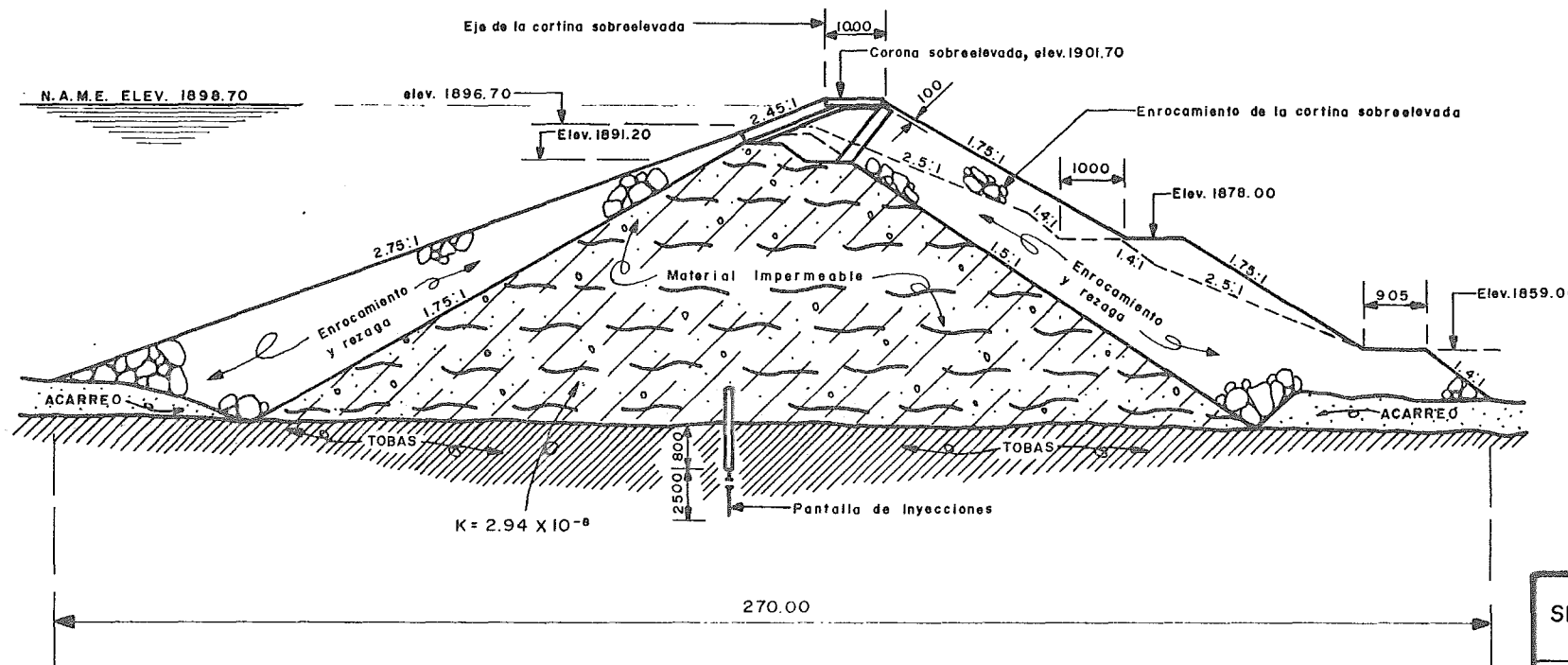
SIMBOLOGIA

- VERTEDORES PARA MEDIR FILTRACIONES
- POZOS
- △ ZONA DE FILTRACIONES
- ⊠ PIEZOMETROS

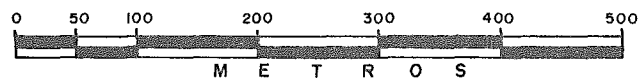


PLANTA GENERAL DE LA PRESA SOLIS		
Miguel Angel Contreras C.		
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN	UNAM	
TESIS PROFESIONAL	INGENIERO CIVIL	México, 1963.

Nota: La elevación esta dado en m. s. n. m.
Dimensiones de la cortina en m. y el coeficiente de permeabilidad del material impermeable en cm./seg.



ESCALA:

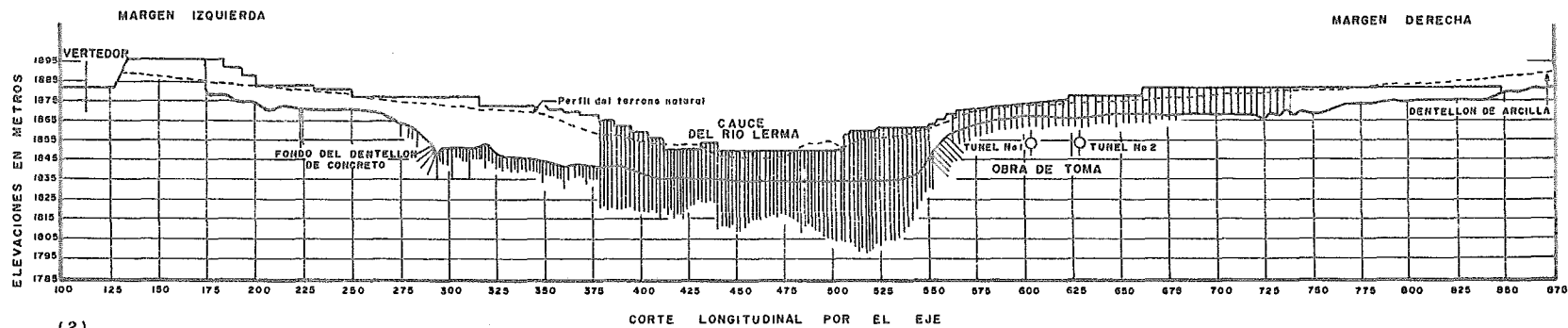
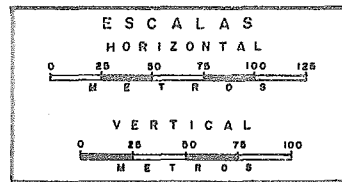
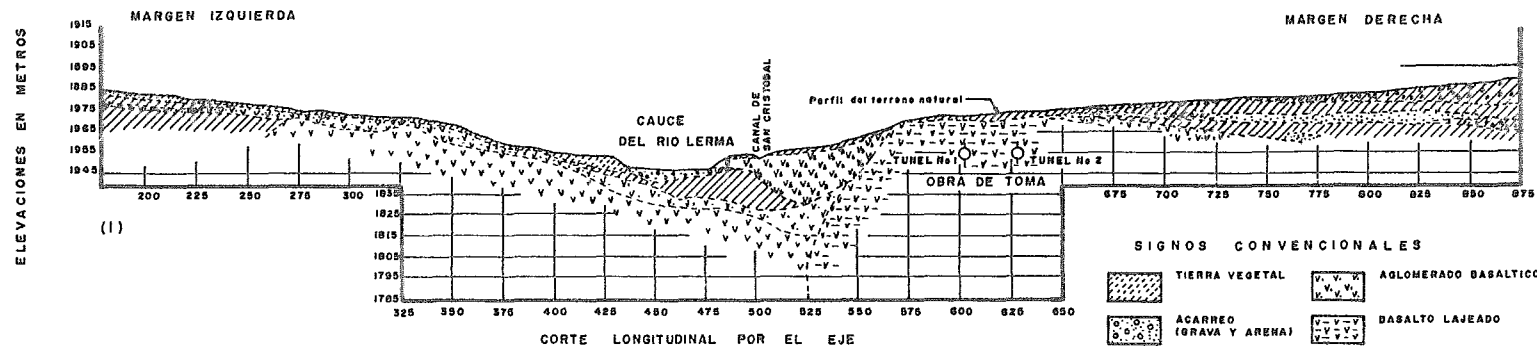


SECCION MAXIMA DE LA CORTINA
(PRESA SOLIS)

Miguel Angel Contreras C.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ACATLAN UNAM

TESIS PROFESIONAL INGENIERO CIVIL México, 1985



DENTELLON
Y
PANTALLA DE INYECCIONES

PRESA SOLIS: INFORMACION GEOLOGICA (1) Y TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION (2)

Miguel Angel Contreras C.

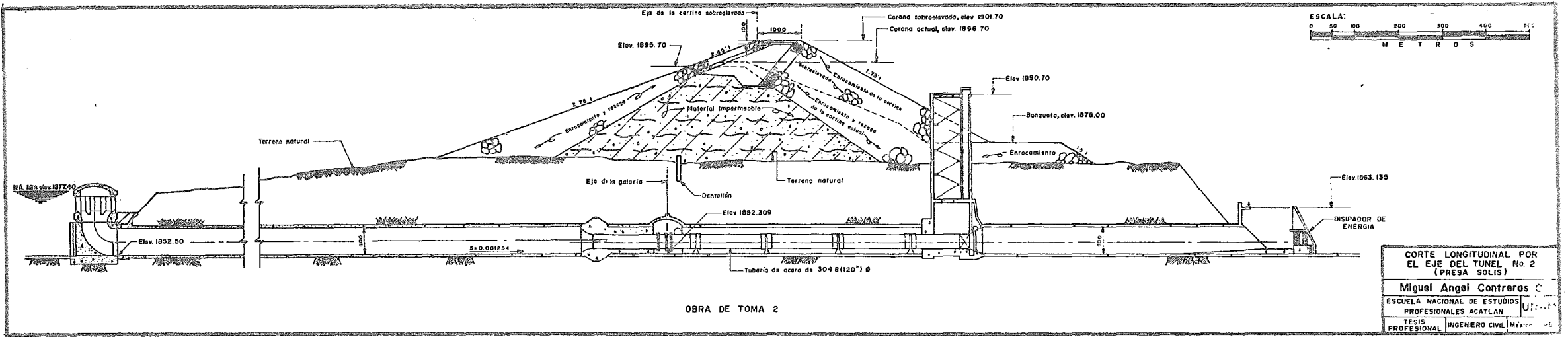
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS

PROFESIONALES ACATLAN

UNAM

TESIS PROFESIONAL

INGENIERO CIVIL México, 1985



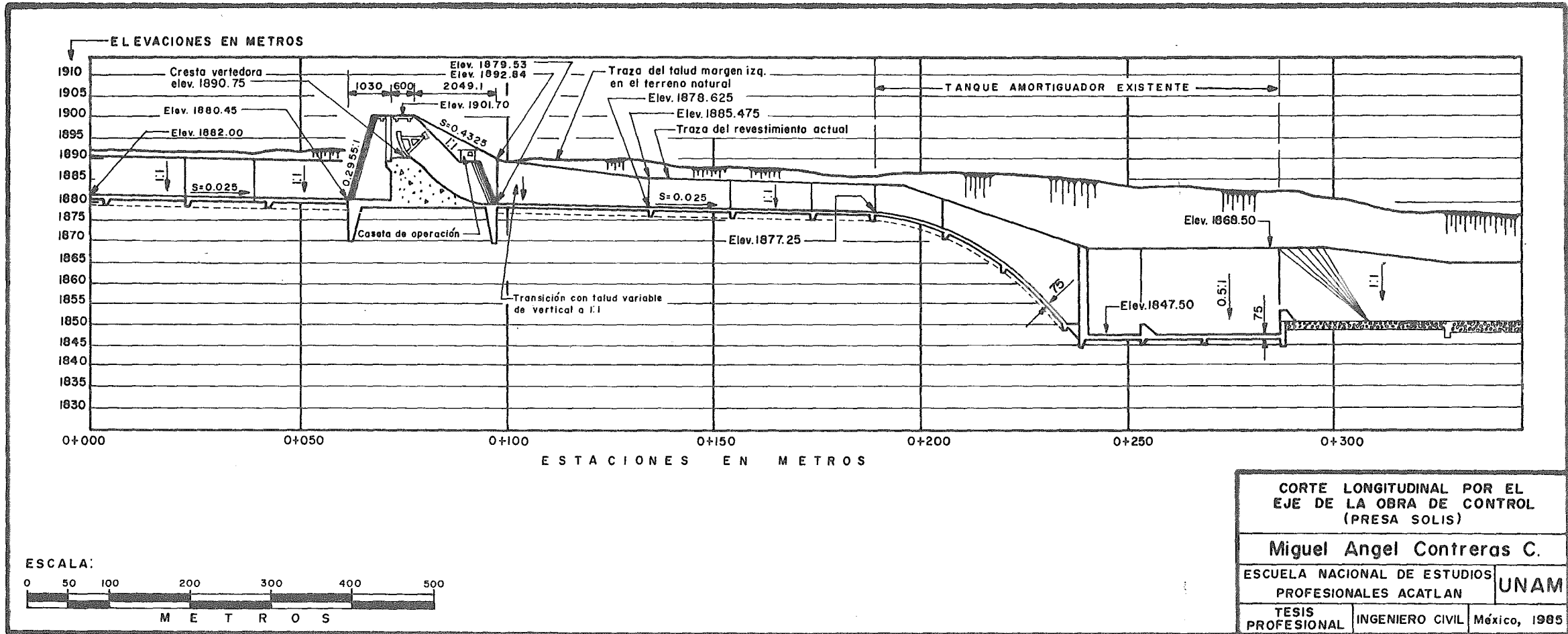
OBRA DE TOMA 2

CORTE LONGITUDINAL POR EL EJE DEL TUNEL No. 2 (PRESA SOLIS)

Miguel Angel Contreras

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN

TESIS PROFESIONAL INGENIERO CIVIL



e).- Historia de la Presa.- Esta presa fué construida por la Comisión Nacional de Irrigación, durante el período -- 1939-1949, con una capacidad total de 862 Mm³ y un vertedor de cresta libre a canal lateral, teniendo una capacidad máxima de descarga de 1380 m³/seg., en 1979 se inició la sobre-elevación de 5 m., para darle una capacidad total de 1217 Mm³, con la finalidad de recuperar el volumen perdido por causa de los azolves, así mismo se construyó una estructura para control que consistió en cinco compuertas radiales de 7.0 x 5.50 m., lo que logró una mejor y más completa regulación de avenidas.

f).- Elevación del N.A.M.D.- La presa tiene una elevación de 1890.75 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar).

g).- Elevación del N.A.M.E.- (nivel de aguas extraordinarias). Se encuentra a 1898.70 m.s.n.m.

h).- Procedimientos de operación y mantenimiento.- La operación está a cargo del Distrito Agropecuario de Riego No. 11 y el mantenimiento a cargo de la Residencia de Grande Irrigación.

h).- Planos en detalle de todas las estructuras que tiene la presa, así como planos de localización.

IV.2.- En el campo.- Se revisaron todas las estructuras importantes que tiene la presa como son:

IV.2.1.- La cortina.- Es una cortina de materiales graduados, con una corona de 3094 m. de longitud en forma de Z alargada, está formada por dos cuerpos, la cortina propiamente dicho y el dique San Cayetano, ya que al ser sobre-elevada ambas --

partes, se unieron, al rebasar la altitud de la loma que anteriormente los dividía.

El paramento aguas arriba, está formada por enrocamiento y rezaga, tiene un talud de 2.75:1 aproximadamente, hasta la elevación de 1895 m.s.n.m., a partir de esa elevación, hasta el nivel de la corona 1901.50 m.s.n.m., su talud es de 2.45:1.

El gruego de la recubierta rocosa varía uniformemente, desde 17 m. de espesor en su base, hasta 2 m. a la altura de la corona.

El paramento aguas abajo de la cortina, al igual que el anterior es de enrocamiento y rezaga, el talud hasta la elevación 1859.00 es de 1.4:1 y de esa elevación hasta la corona 1901.70 m.s.n.m. es de 1.75:1; cuenta con dos banquetas, una está en la elevación 1859.00, con ancho de 9.05 m. y la otra en la elevación 1879, con un ancho de 10.00 m., el grueso de la recubierta rocosa varía en forma no uniforme, teniendo un espesor de 20.25 m. al pie del talud y de 11.25 m., en las proximidades de la corona.

En la inspección realizada se observó lo siguiente:

- 1.- El talud de aguas abajo es de reciente construcción (menos de 3 años) y también fue reconstruido superficialmente el talud de aguas arriba.
- 2.- Las condiciones de limpieza de ambos taludes son buenas.
- 3.- Se apreciaron algunos pequeños manchones de hierbas jóvenes, además se observó un continuo ataque, por parte de la brigada de mantenimiento al respecto, pues se ven algunos troncos o restos de hierbas segadas.

4.- La colocación de piedras en el paramento seco, es ordenada y estética y en el paramento mojado es a volteo y ligeramente áspero, - en términos generales está bien acabada.

5.- En general, las condiciones físicas de ambos taludes son muy buenas y se apreció una continua vigilancia en ellos.

IV.2.2.- La corona.- Tiene una longitud de 3094.00 m. y un ancho de 10.00 m. está recubierta con tezontle, protegida a todo lo largo, en ambos lados, por láminas acanaladas (Flex bin) apoyada en pilas de concreto armado de 2 m. de longitud, de los cuales 1.4 m. se encuentran enterrados verticalmente en el vértice que forma el plano de la corona y los planos de ambos taludes.

En la inspección realizada se observó lo siguiente:

- 1.- En general, las condiciones físicas de la corona, son buenas.
- 2.- Debido al intenso tráfico de vehículos, se están manifestando el desplazamiento de tezontle hacia los extremos de la corona.

IV.2.3.- Empotramientos laterales.

En la inspección no se apreció ninguna anomalía en los empotramientos laterales.

IV.2.4.- Drenes.

Tanto en la corona, como las banquetas localizadas en talud de aguas abajo, cuentan transversalmente con doble pendiente

(bombeo de terracería) que concluye en sendos canales o drenes que terminan en alcantarillas o tubos metálicos, colocados a diferentes distancias, a todo lo largo de las banquetas y corona.

En la inspección realizada se observó lo siguiente:

Tanto los drenes como tubos y alcantarillas, se encuentran limpios de hierbas, basura y demás obstrucciones al flujo.

IV.2.5.- Vertedor.

Tiene la presa un vertedor controlado con cinco compuertas radiales de 7 m. de longitud cada una y conjuntamente las cinco compuertas lo máximo que pueden descargar son $1000 \text{ m}^3/\text{seg}$.

La estructura es de concreto armado, con perfil de cimacio con prolongación de caída rápida de aproximadamente 140 m. de longitud, que termina en un tanque amortiguador de 35 m. de profundidad y 49 m. de longitud, este tanque amortiguador cuenta con seis dados o pilotes disipadores de energía, localizados a 15 m. de la caída rápida.

La cresta vertedora tiene una longitud total de 34 m. divididos en cinco tramos de 7 m., cada uno, la elevación de la cresta es 1809.75 m.s.n.m. y su altura a partir del umbral de la estructura es de 7.3 m.

En la inspección realizada se observó lo siguiente:

- a).- Las condiciones físicas son aceptables.
- b).- Se observaron dos resanes, uno en la segunda ventana del

centro de la cortina hacia afuera y otro en la cuarta ventana, estas reparaciones se localizan en el cimacio, a 8 ó 10 m. de distancia de la cresta vertedora y cubren un área de 2 m² cada una.

IV.2.6.- Canal de llamada.

Este canal está construido de concreto armado, con una plantilla de un ancho de 30 m. y una longitud de 190 m., además su pendiente es de 0.025; los muros de contención forman un talud de 1:1.

De acuerdo a la inspección realizada se observó lo siguiente:

- a).- Este canal funcionaba como tanque amortiguador en el vertedor antiguo, cuya cresta se localizaba a la misma elevación a la cresta del nuevo vertedor.
- b).- Las condiciones físicas superficiales del canal, son buenas y no presentan ninguna anomalía.
- c).- El canal cuenta con dos drenes tubulares de 60 cms. de diámetro, controlados por dos válvulas para compuertas, estos drenes tienen como finalidad el de mantener libre el agua al canal, mientras no funcione el vertedor.
- d).- A unos 50 m. aproximadamente, del vertedor antiguo y paralelos a éste, se instaló una valla, construida con barriles o tambos metálicos de 200 lts., unidos en serie, a 2 m. de separación entre cada uno, por medio de varillas de 3/4", previamente pasan en un tubo, soldado longitudinalmente, amarrados con abrasaderas fijas en los extremos de cada tubo, atada además a anclas previamente colocadas en el terreno natural, con concreto armado enterrado:

Esta valla tiene como finalidad el detener o evitar el

paso de lirio a la obra vertedora, pues el exceso por las compuertas o por el vertedor mismo puede atascarse o causar serios problemas a la estructura, además al pasar en el cauce del río, altera el flujo de la corriente por taponamiento del propio cauce o de estructuras como a los puentes, presas derivadoras, canales de riego, etc.

IV.2.7.- Canal de descarga.

Está constituido por un cimacio de 15 m. de longitud horizontal y un desnivel de 10.75 m. además tiene un canal de caída rápida de 139.48 m. de longitud, con un desnivel de 32.5 m., tanto la plantilla del canal, como sus muros de contención, son de concreto armado, de acuerdo a la inspección realizada se observó:

- a).- Toda la estructura es relativamente nueva, aún se practican trabajos de inyección con concreto.
- b).- La estructura no presenta ninguna anomalía visible.
- c).- Aún no se ha requerido el funcionamiento de la obra.

IV.2.8.- Estructura terminal.

Está constituido por un tanque amortiguador de 3.5 m. de profundidad, 49.03 m. de longitud y 32.5 m. de ancho, que se localiza inmediatamente al final del canal de caída rápida, a unos 15 m. de iniciado el tanque, se localizan seis pilotes o disipadores de energía (construidos) de concreto armado, de 2.44 m. de altura, 2 m. de ancho y 4.88 m. de largo, colocados en línea recta, transversal al eje del vertedor. Del tanque amortiguador pasa a un canal, con pendiente de

O.025 que desemboca directamente al cauce natural, del río Lerma, este canal está revestido con concreto armado, en una longitud de 10 m., para seguir plantilla con mampostería, en una longitud de 48 m., para seguir a terreno natural durante el resto de su curso. De acuerdo a la inspección realizada se observó lo siguiente:

- a).-- El tanque amortiguador se encuentra completamente lleno de agua, debido a las filtraciones que se registran en la plantilla, así como también en los muros de contención.
- b).-- En la plantilla están enterrados tubos de 2 a 3" de diámetro, a una profundidad de 5 m., estos tubos tienen como función la disminución de la subpresión producida bajo la plantilla del vertedor y por ellos fluye agua producto de filtraciones.
- c).-- El eje del vertedor, en su confluencia con el cauce del Río Lerma, forma con este un ángulo de 75° y según se observa cualquier avenida que circule por el vertedor, llegará directamente al muro marginal derecho del cauce, lo que originaría serias socavaciones en éste, que causarían daños al canal San Cristóbal, localizado, prácticamente, sobre el bordo marginal.

IV.2.9.- Puente y Pilas.

El puente de maniobras es una estructura, de concreto armado colocado directamente sobre las compuertas de control, esta estrutura está prácticamente dividida longitudinalmente en dos puertas, una de 5 m., de ancho y otra de un metro, separadas paralelamente a 1.20 m., ambas de 45 m. de longitud que corresponden al ancho total de la obra vertedora sobre el puente de maniobras se encuentran instalados los mecanismos elevadores --

de las compuertas, así como la grúa de pórtico que sirve para operar las compuertas deslizantes para emergencia.

En la inspección realizada se observó lo siguiente:

- a).- Se encuentran, el puente y las pilas, en perfectas condiciones.
- b).- Los mecanismos de las compuertas están en buenas condiciones.

IV.2.10.- Obra de toma No. 1

Esta obra consiste de una tubería recta, de presión, compuesta por tres tramos con diferente diámetro, es controlada por dos válvulas, una para emergencia de tipo mariposa y otra para servicio, tipo aguja, esta tubería vierte un gasto de $90 \text{ m}^3/\text{seg.}$ que va directamente al cauce del río Lerma, además tiene dos tuberías canales que derivan de ésta, desde una distancia aproximada de 40 m., antes de la válvula de servicio. Estas tuberías ramales tienen una capacidad máxima de descarga de $5 \text{ m}^3/\text{seg.}$, por cada una y se controlan mediante dos válvulas de mariposa, colocadas una cerca de la conexión con el tubo de presión y la otra al final de cada uno de los tubos, además vierten sus aguas al tanque amortiguador y de ahí al canal San Cristóbal.

La obra de toma No. 1, tiene una estructura de entrada consistente en una rejilla circular vertical, con cubierta sólida en la parte superior, conectada directamente a un codo de 90° y 6 m. de diámetro, unido a la tubería de conducción.

Cuenta con una estructura de salida, que consiste en una válvula de servicio, cuya finalidad es verter agua directamente hacia el cauce del Río Lerma. También tiene una línea de conduc

ción, constituida por una tubería de acero, dividida en tres tramos, el primero es de 6 m. de diámetro y 111.0 m. de longitud, se inicia a partir del codo de entrada, posterior a este se inicia otro tramo de 4.0 m. de diámetro y 17 m. de longitud, que se encuentra unido a una válvula de emergencia. Esta tubería se encuentra recubierta de concreto (ahogado en la base de la cortina), el tercer tramo está -- después de la válvula de emergencia, hasta la válvula de servicio, -- tiene un diámetro de 3.048 m. y una longitud de 170 m., está sostenido con nueve estructuras de soporte, en forma de "U", cada una tiene en sus extremos una superficie de acero, en los que se apoyan las bases de carga de la tubería, así se facilita el deslizamiento que se produce por la dilatación o concentración de la propia tubería, además para fines de mantenimiento, inspección y operación, esta tubería consta de:

- a).-- Válvula para drenaje
- b).-- Escotillas para inspección
- c).-- Tubería de paso, auxiliar para la operación de la válvula de -- emergencias.
- d).-- Válvulas de purga (2 juegos de 4).
- e).-- Escaleras de acceso

De acuerdo a la inspección realizada se observó lo siguiente:

- 1.- Las tuberías presentaron buenas condiciones.
- 2.- Se intemperizaron ligeramente las estructuras metálicas, para soporte de las bases de carga de la tubería.
- 3.- La pintura externa de los tubos, están en buenas condiciones.
- 4.- La pintura interna del tubo principal, se encontró en condiciones regulares.
- 5.- El tubo ramal antiguo, presentó en algunas partes daños ligeros a causa del intemperismo.
- 6.- El tubo ramal nuevo, se encontró en condiciones perfectas.

- 7.- La estructura de entrada no se inspeccionó directamente, ya que es prácticamente imposible el acceso, pero se presume que se encuentra en buenas condiciones (a pesar de sus 33 años de servicio), porque a la fecha no se han presentado problemas de obstrucción, lo que indica que la rejilla trabaja eficientemente.
- 8.- En la estructura de salida, la válvula trabaja eficientemente.

IV.2.10.1.- Equipos Eléctricos y Válvulas.

La válvula de emergencia es de tipo mariposa de 3.35 m. de diámetro y 1.20 m. de espesor, operada por un motor eléctrico de 25 H.P. existe un conducto de paso (auxiliar de operación para la válvula), que controla el agua en el tramo comprendido entre la válvula de emergencia y de servicio, además como seguridad de la válvula de emergencia, el conducto cuenta con una válvula tipo mariposa de 0.60 m. de diámetro, operado con un motor de $\frac{1}{4}$ H.P. sobre la tubería de presión y a unos 3.0 m. de la válvula de emergencia se encuentran dos lumbreras conectadas en la parte superior y ambos lados con el tubo, en dichas lumbreras están asentadas ocho válvulas de purga que operan automáticamente y que funcionan como estabilizadoras de presión dentro de la tubería.

La válvula de servicio es de tipo aguja con descarga libre, de 3.048 Kms. x 2.515 m. consiste de un casco (continuación de la tubería de presión) y de un orificio de descarga; el gasto es controlado por un émbolo con área diferencial que se desliza dentro de un cilindro, con una lon

gitud de desplazamiento de 1.68 m. apoyado con cuatro soportes guías de riel de bronce. El movimiento del émbolo es controlado por una válvula piloto que trabaja con un motor eléctrico de 25 H.P.

Las cuatro válvulas de las tuberías ramales que derivan aguas hacia el canal San Cristóbal, son del tipo mariposa de 0.90 m. de diámetro.

Con base en la inspección realizada, se observó lo siguiente:

- a).-- La válvula de emergencia tiene unas pequeñas fugas, que se eliminan cerrando manualmente la cremallera, pero no es recomendable ya que existe el riesgo de atorarla, además los tornillos de ajuste de la válvula se ajustaron a un 10% de su capacidad de ajuste.
- b).-- Los mecanismos de operación de la válvula de emergencia se encuentran en buenas condiciones y bien lubricados, solo se notó un ligero desgaste en los engranes que impulsan a la cremallera, este desgaste se puede considerar normal al tomar en cuenta sus 30 años de servicio.
- c).-- La válvula de paso del conducto auxiliar, se encuentra en buenas condiciones, solo se encontró un ligero juego en el eje de giro, mismo que se logra controlar con grasa inyectada a presión.
- d).-- Los mecanismos para la operación de la válvula de paso, se encuentran en buenas condiciones, lubricados perfectamente y protegidos.
- e).-- Los motores eléctricos que impulsan la operación de las válvulas cuentan con un mantenimiento adecuado y constante.
- f).-- Las válvulas de purga que están instaladas en las lumbreras, se encuentran en buenas condiciones.
- g).-- Las válvulas de servicio comienzan a mostrar efectos de cavitación en las paredes de cierre de la válvula, además se notan dos fugas a presión y cuatro escurrimientos. Con el fin de contrarrestar los efectos de la cavitación fue necesario utilizar soldadura, en las zonas más dañadas por la cavitación y también se aplicó pintura epóxica.

- h).-- Los mecanismos para la operación de la válvula de servicio, se encuentran en condiciones buenas.
- i).-- La válvula de emergencia y la de servicio del ramal de la tubería antigua, se encontraron en condiciones óptimas y también las válvulas para purga de la misma.
- j).-- Las válvulas de la tubería del ramal nuevo, instaladas actualmente, son provisionales, en la proximidad, se instalarán las definitivas.
- k).-- Los mecanismos para la operación de las válvulas de la tubería del ramal nuevo están perfectamente lubricados, aunque se observó un relativo desgaste por causa del tiempo de uso.
- l).-- La válvula auxiliar de paso y su sistema de operación presentaron condiciones buenas de servicio, pero es visible el desgaste por el uso.
- m).-- Las válvulas de purga se encontraron en condiciones óptimas de uso, ya que son revisadas anualmente en forma satisfactoria.
- n).-- El equipo eléctrico de mando está considerado para trabajar en el caso que se requiera su operación, pero debido a la dificultad de conseguir refacciones originales para su mantenimiento, por tal motivo su funcionamiento no es muy eficiente, ni seguro, prueba de ello es que se observó un gran número de conductores fuera de uso, que podrían provocar cortos circuitos o caídas de tensión.

IV.2.10.2.- Otros mecanismos.

Los tableros y equipos eléctricos de mando u operación de mecanismos de esta obra de toma, se encuentran dentro de la caseta de control, localizada a la altura de la válvula de servicio. Dentro de dicha caseta se encuentra además un aparato llamado Foxboro, cuya función es medir las presiones existentes en la tubería de presión y puede operar la válvula de servicio según la presión

registrada.

El tramo del tubo de presión, localizado afuera de la galería de inspección, tiene en la parte superior una pasarela y aún lado de la pasarela se ubican las tuberías para los conductores eléctricos, tanto de operación de las válvulas de emergencia de la obra de toma No. 1, como también de las válvulas de servicio de la obra de toma No. 2, así mismo se encuentran los conductores de alimentación y control de alumbrado en los túneles, contactos, motores de las válvulas de paso, etc.

En la entrada del túnel de inspección, fué construido un muro de concreto, que funciona como protección para evitar la entrada de agua al interior del túnel, causa del remanso de la corriente, en el cauce del Río Lerma, debido al mencionado muro, el acceso al túnel se realiza por medio de una escalerilla, instalada a un lado de la tubería, aproximadamente a unos 5 m. del muro de contención se construyó un enrejillado formado por lámina, malla metálica y soleras estructurales, debidamente instaladas. Este enrejillado cierra completamente el acceso al túnel.

Dentro del túnel, los ductos eléctricos están alejados en la parte alta de la galería, mediante estructuras aneladas a la propia galería, así mismo las lámparas (arbotantes incandescentes) se encuentran suspendidos en las propias estructuras.

Originalmente el sistema de drenaje se realizaba mediante el dren central de la galería que trabajaba por gravedad y a causa de la construcción del muro de contención, fué necesario cambiar el sistema de drenaje, optándose por usar bombas barqueñas (instaladas provisionalmente) y posteriormente se instaló un equipo de bombeo, tipo eyector automático, que extrae las filtraciones escurridas al dren general.

En la inspección realizada se observó lo siguiente:

- a).-- Dentro del túnel de inspección, las condiciones de limpieza son las adecuadas, así como el orden de todos los elementos ya sean accesorios, refacciones, herramientas y equipo de operación (apagadores, contactos, etc.) y además en buenas condiciones de servicio.
- b).-- Dentro de la galería existen algunas filtraciones, principalmente en las juntas estructurales, siendo dos de ellas las de mayor importancia, las cuales se canalizan por medio de canales de hojalata, que conducen los escurrimientos a los drenes laterales de la galería.
- c).-- El sistema de drenaje, según se apreció, funciona eficientemente.
- d).-- En términos generales, todos los componentes del túnel, se encuentran en condiciones buenas.

IV.2.11.-- Obra de toma No. 2

Esta obra consiste básicamente en una tubería de presión, con un diámetro de 3.048 m., controlada por dos válvulas de mariposa, una de emergencia y otra de servicio, tiene una estructura de entrada del tipo "entrada de pozo", (sumergida en el agua), que se encuentra protegida por una rejilla circular vertical de tipo chimenea, cerrada en la parte superior.

La estructura de salida consiste en un ducto circular de acero, cubierto con concreto, tiene un diámetro de 6.0 m. y una longitud de 58 m., cuenta además con un dissipador de energía formado por 29 tubos, con diámetros de 0.50 y longitudes de 3 m., rellenos con concreto armado.

La obra de toma está diseñada para desfogar hasta 90 m³/s. de agua, que va directamente al cauce del Río Lerma, la conducción del agua se realiza a través de tres tramos bien definidos que son:

El primero comienza, en la entrada del pozo hasta unos 136 m., formado por una tubería de acero, con un diámetro de 6 m., recubierta con concreto y ahogada en el cuerpo de la cortina.

El segundo tramo está formado por una tubería de 3.048 m. de diámetro y 90 m. de longitud; el tercero y último tramo es la obra de salida que desemboca directamente al dissipador de energía.

De la inspección realizada se observó lo siguiente:

a).- La estructura de entrada es prácticamente imposible inspeccionar, por lo que las conclusiones a las que se llegó son puramente teóricas, que no existe ningún problema, ya que jamás se han presentado daños por causa de objetos grandes que obstruyen al flujo de la corriente y se presume que esta estructura ha funcionado eficientemente.

b).- En la estructura de salida, la tubería se encuentra en buenas condiciones, sólo tiene pequeñas filtraciones en las juntas estructurales.

El dissipador de energía no presenta efectos de importancia por causa de los impactos del agua, sólo tiene algunos agrietamientos transversales al eje de la obra de salida, éstos agrietamientos son numerosos, pero sus magnitudes son reducidas, tanto en longitud como en anchura, ya que la mayor podría llegar hasta un milímetro de separación.

c).- El primer tramo de tubería de conducción no se puede inspeccionar, debido a que está ahogado el cuerpo de la cortina.

d).- Los otros dos tramos de tubería para conducción se encuentran en buenas condiciones.

IV.2.11.1.- Válvulas y motores.

La válvula de emergencia es del tipo mariposa, con diámetro de 3.35 m., controlada por un motor de 25 H.P. y una cremallera horizontal; paralelamente a esta válvula se encuentra interconectada una tubería de paso que sirve para llenar lentamente la tubería de presión, para así simplificar la operación de la válvula de emergencia, también la tubería de presión es controlada por una válvula tipo mariposa con 0.95 m. de diámetro, misma que es puesta a funcionar por un motor de $\frac{1}{4}$ de H.P. y un mecanismo (constituido por engranes reductores y un tornillo o cremallera); después de la válvula de emergencia, en la parte superior y a ambos lados de la tubería, se localizan dos lumbreras y en cada una de ellas están instaladas cuatro válvulas de purga de 0.20 m. de diámetro.

La válvula de servicio es de tipo mariposa, con diámetro de 3.35 m. y espesor de 1.20 m., es operada mediante el desplazamiento del brazo de operación, que es impulsado con una cremallera vertical girada por un motor eléctrico de 25 H.P.

En la cabina de controles, localizada arriba de la válvula de servicio de la obra de toma No. 1, se pueden realizar los órdenes eléctricos de operación, por medio de un sistema de botones de mando e interruptores termomagnéticos instalados en gabinetes de control, además, en cada válvula se encuentran instalados otros botones de mando interconectados a los anteriores, por lo consiguiente se puede dirigir la operación indistintamente en cualquiera de los dos -

sitios.

De acuerdo a la inspección realizada, se observó lo siguiente:

- a).- Los sistemas eléctricos de mando, las válvulas y los mecanismos de operación, han tenido mínimas reparaciones, a pesar de que tienen un servicio más de 30 años.
- b).- En la válvula de emergencia se observaron algunas filtraciones, que se eliminan al cerrar herméticamente la válvula, mediante acción manual de la cremallera.
- c).- Los mecanismos de operación de la válvula de emergencia presentan un relativo desgaste por causa del tiempo de uso, pero están perfectamente lubricados ya que tienen un mantenimiento oportuno.
- d).- Las válvulas de paso auxiliar y las válvulas de purga, así como sus sistemas de operación, están en buenas condiciones de servicio.

IV.2.11.2.- Otros mecanismos.

El túnel de inspección que es una parte complementaria de la obra de toma, consiste en una galería en forma de herradura de 5.0 m. de ancho y 4.5 m. de altura (referida a la banquetta), además tiene un canal de drenaje, de 1.5 m. de alto por 2.0 m. de ancho. Dentro del canal de drenaje y transversal a éste, se encuentran cuatro estructuras, a 16 m. de separación una de otras, dichas estructuras al igual que la galería, están construidas de concreto armado y funcionan como soporte de la tubería que se apoya en ellas, por medio de bases metálicas deslizantes, cuya finalidad es absorber los movimientos causados por la dilatación o contracción de la tubería.

En la parte superior de la galería se encuentran instaladas tuberías o ductos de conductores eléctricos y lámparas del tipo incan

descendente, de los ductos bajan (por el muro del túnel y a todo lo largo de éste), cuatro tubos que terminan en las cajas especiales que contienen igual número de interruptores del alumbrado y contactos monofásicos. Finalmente a la altura de cada válvula (de emergencia y de servicio) se ubican las bombas eyectoras que extraen el agua de las filtraciones y escurren al dren general, estas bombas funcionan con presión hidrodinámica proporcionada por la tubería de presión, el sistema de bombeo está interconectado a las dos obras de toma.

De la inspección realizada, se observó lo siguiente:

- a).- Dentro del túnel de inspección, las condiciones de limpieza fueron óptimas y se encontraron ordenados y en buenas condiciones de uso a los elementos como accesorios, refacciones, herramientas y equipos de operación (apagadores, contactos, etc.).
- b).- Existen filtraciones en las juntas estructurales, siendo tres - las de mayor importancia, están canalizadas con láminas u hojalata y se conducen los escurrimientos a los drenes laterales de la galería.
- c).- Los ductos que contienen a los conductores eléctricos, así como los conductores, se encontraron dañados por causa de la humedad, al grado de que estaban prácticamente destruidos, acentuándose - en los lugares de mayor filtración.
- d).- El sistema de drenaje funciona eficientemente, tanto en sus drenes, como sus bombas y eyectoras.

IV.2.12.- Margen derecha del cauce del Río Lerma.

En un tramo de aproximadamente 1,500 m., a partir de la cortina de la presa, hacia aguas abajo y por la margen derecha del cauce; existen un gran número de filtraciones que se acentúan prin-

principalmente en cinco zonas más o menos definidas, de éstas, tres se localizan en la margen derecha del canal de San Cristóbal.

El producto de las filtraciones es conducido por medio de canales expresos, contruidos de tierra y se miden las filtraciones en tres vertedores pequeños del tipo triangular, hechos con lámina de fierro de 1/4" y aristas de contracción completa.

Los gastos promedio escurridos en estos vertedores son del orden de 30 lt./seg., 20 lt./seg. y 15 lt./seg., de aguas arriba hacia aguas abajo. Los gastos máximos registrados son de 80 lts./seg. en el vertedor No. 10, 115 lts./seg. para el No. 11 y 60 lts./seg. para el No. 12; éstos gastos máximos corresponden a un nivel del embalse de 1890 m.s.n.m. Otra zona que presenta filtraciones es el canal de San Cristóbal, en donde el agua escurrida es captada mediante cuatro tramos de tubería enterrada paralelamente a dicho canal, cada tramo está conectado a un tubo de 8" de diámetro por los cuales se comunican al exterior sobre el talud del bordo marginal del cauce del Río Lerma; de estos tubos, sólo uno cuenta con una estructura adecuada que termina en el vertedor No. 18 (tipo triangular, construido con lámina galvanizada del No. 14, reforzada con solera angular de 3/4").

El gasto promedio registrado es de 40 lts./seg. y el máximo de 100 lts./seg. con la elevación del embalse de 1889 m.n.s.m. en la presa.

Los otros tres tubos vierten sus escurrimientos directamente al cauce del Río y se aforan con recipiente de volumen conocido y un cronómetro.

De acuerdo a la inspección realizada, más del 50% de las filtraciones en la zona de la margen derecha del Río, no han sido registradas o medidas debido básicamente a los impedimentos topográficos o por fugas en los canales colectores.

IV.2.13.- Margen Izquierda del cauce del Río Lerma.

Aguas abajo y partiendo de la cortina en un tramo de 1000 m. de longitud, la cantidad de filtraciones es reducida y de poca magnitud, aproximadamente a 1200 m. de la cortina y a 120 m. de distancia de la margen izquierda del cauce, se encuentran cuatro manantiales y un gran número de filtraciones, en una área de 3200 m².

Los cuatro manantiales eran pequeños veneros con reducidas dimensiones que al construirse la presa aumentaron su caudal, que varía en función de la elevación del embalse de la presa.

Todo el escurrimiento producido, por las filtraciones y manantiales, es conducido a través de canales de tierra y aforado en el vertedor No. 3 (tipo triangular construido con madera y chapa de lámina galvanizada).

El gasto promedio registrado en este vertedor es de 8 lts./seg. y el gasto máximo aforado es de 22 lts./seg. al tener la presa una elevación en el embalse de 1889 m.s.n.m.

A 400 m. de distancia, aguas abajo del vertedor No. 3, se encuentra el vertedor No. 4, que es idéntico al anterior.

Lo que se observó en la inspección fue que las condiciones generales de los vertedores son deplorables, los canales de tierra se encuentran bastante destruidos a consecuencia de esto, hay muchas fugas, por lo que el flujo que pasa a través del vertedor No. 3, representa sólo un 70% aproximadamente del total de excurrimiento.

IV.2.14.- Dique San Cayetano

Aproximadamente a 200 m. de distancia, aguas abajo del dique San Cayetano, en dirección al Rfo Santiaguito, se localiza una vasta planicie de 20 a 25 has., ahí se encuentran un gran número de filtraciones, que origina en el área una especie de pantano continuo, intensificándose más en algunos lugares. Este hecho impide contar el número exacto de filtraciones e incluso no se precisan las líneas de filtración.

Originalmente se instalaron en esta zona siete vertedores estratégicamente distribuidos, cuyos gastos promedios registrados fueron de 16 lts./seg. para el No. 1; 11 lts./seg. para el No. 2; 21 lts./seg. para el No. 3; 58 lts./seg. para el No. 4; 160 lts./seg. para el No. 5; 36 lts./seg. para el No. 6; 2 lts./seg. para el No. 7.

Los gastos máximos registrados en el mismo orden descrito, fueron:

20 lts./seg. 17 lts./seg., 51 lts./seg. 110 lts./seg., 183 lts./seg., 53 lts./seg., y 7 lts./seg., respectivamente.

De acuerdo a la inspección realizada se observó que el vertedor No. 5; registraba el 70% del volumen escurrido en la zona pero debido a que existen redes de canales y drenes que son constantemente cambiados de dirección por los usuarios, lo anterior hace que todos los registros aforados en los vertedores sean inexactos.

CONCLUSIONES.

Después de haber descrito una panorámica de los fundamentos básicos de la seguridad en las presas de tierra, construídas en México, se concluye finalmente lo siguiente:

- 1.- La conveniencia de conocer todas las fallas comunes que se puedan presentar en una presa de tierra, analizando tanto sus causas como sus efectos.

Además se deben conocer los procedimientos teórico-práctico, para tratar de aplicarlas al presentarse la falla, y así se evitarán al máximo, los daños provocados por las fallas:

- 2.- La necesidad de realizar observaciones constantes o permanentes, mediante inspecciones en campo, con el fin de verificar el comportamiento real de las estructuras de la presa en estudio.

Conviene realizar las inspecciones con personal altamente calificado.

- 3.- Es considerable el apoyo que presta la instrumentación en una presa de tierra, debido a la valiosa información que proporciona, ya que con esta información se puede analizar, en forma confiable, el comportamiento interno y externo de la presa.

Y con la ayuda de la observación física o de campo, se estará en condiciones de diagnosticar, con mayor precisión, el estado real

de las estructuras de la presa y el comportamiento de sus materiales. Por lo anterior es conveniente instalar una adecuada instrumentación en las presas de tierra.

4.--Es comprensible que con la oportuna interpretación de la información captada en campo y por la instrumentación, dará como resultado un rápido y eficaz diagnóstico preliminar, que servirá para prever o corregir posibles fallas en la presa.

5.--Finalmente es importante considerar la utilidad de implantar un sistema preventivo y correctivo, que funcione para normar las condiciones de diseño, construcción y operación.

Además que difunda la importancia de realizar periódicamente las observaciones físicas, mediante las inspecciones de campo.

Se concluye, respecto a la inspección de campo realizada a la presa Solís, que las estructuras de la presa se han comportado adecuadamente, y en forma general, el mantenimiento, la operación y la vigilancia, funcionan correctamente.

Todo esto es producto de una continuidad en las actividades fundamentales de la seguridad en la presa.

BIBLIOGRAFIA

- 1). Comisión Federal de electricidad; Informe de operación ; México, D.F. ; C.F.E. ; 1981 ; 47 pp.
- 2). Department of Army, Corps of Engineers; Engineering and Design Stability of Earth and Rock-Fill Dams; United States of American; Continental; 1970 ; 220 pp.
- 3). Department of the Army ; Corps of Engineers; Instrumentation of Earth and Rock-Fill Dams; U.S.A. ; 1974; 134 pp.
- 4). Jansen B. Robert, a Water Resources Technical Publication, U.S., Department of the Interior, Water and Power Resources Service; Dams and Public Safety; Denver, U.S.A.; 1980 ; 280 pp.
- 5). Juárez Badillo y Rico Rodríguez (Ings.); Mecánica de Suelos; Segunda Edición; México, D.F.; Limusa ; 1979; Volumen II; 704 pp.
- 6). D.P. Krynine- W.R.; Principios de geología para Ingenieros; Omega.
- 7). Marsal J. Raúl y Reséndiz Núñez Daniel; Presas de Tierra y Enrocamiento; Primera edición; México, D.F.; Limusa; 1975; 546 pp.
- 8). Orive Alba Adolfo (Ing.); La Irrigación en México; Segunda edición; México, D.F.; Grijalbo; 1970; 246 pp.

- 9). Reséndiz Daniel y Roseblueth (Ings.); Diseño Sísmico de Presas de Tierra y Enrocamiento (Estado de Arte); México, D.F.; U.N.A.M.; Abril 1972; 67 pp.
- 10). Tamez Gonzalez Enrique (Ing.), aportación del Gobierno de México, por conducto de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, al II Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones; Brasil; S.R.H.; junio 1963; 238 pp.
- 11). Torres Herrera Francisco (Ing.); Consideraciones sobre Seguridad de Presas de México; S.A.R.H.; 1979; 37 pp.
- 12). Torres Herrera Francisco (Ing.); Obras Hidráulicas; México, D.F.; Limusa; 1980; 548 pp.
- 13). United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation; Diseño de Presas Pequeñas; México, D.F.; Sexta impresión; Octubre 1976; 639 pp.
- 14). S.A.R.H.; Inspección y Evaluación de la Seguridad en Presas; México; 1982; 540 pp.
- 15). Zendejas Vázquez J. (M.I.); Proyecto de un Programa a Nivel Nacional de Seguridad a la Infraestructura Hidráulica, para proteger y apoyar a las áreas productivas poblacionales; México; IPN; 1980; 168 pp.