

300615

10
2ej



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA U. N. A. M.

**PROYECTO Y CALCULO DE LA PRESA DE ALMACENAMIENTO
"EL CHIHUERO", MUNICIPIO DE HUETAMO, MICHOACAN.**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

JOSE GONZALO LOPEZ VALLE

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN I. FRANCISCO JAVIER RIBE MARTINEZ DE VELASCO



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 está 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.

CONTENIDO

INTRODUCCION	1
Antecedentes históricos	2
Alcances	4

CAPITULO I.

JUSTIFICACION DEL PROYECTO	5
Generalidades	5
Etapa de Anteproyecto	6
Proyecto "El Chihuero"	8
Localización del Proyecto	8
Antecedentes	8

CAPITULO II.

PROYECTO Y DISEÑO DE LA CORTINA	17
II.1 JUSTIFICACION DE LA CAPACIDAD TOTAL EN RELACION AL ESTUDIO HIDROLOGICO REALIZADO	17

II.2	ESTUDIO DE LA CORTINA DEL TIPO DE MATERIALES GRADUADOS DETERMINANDO LA SECCION CONVENIENTE PARA ESTA, INCLINACION DE LOS TALUDES INTERIORES Y EXTERIORES CONVENIENTES DE ACUERDO AL ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS REALIZADO	25
II.2.1	JUSTIFICACION DEL TIPO DE LA CORTINA	25
	Sección de la Cortina	26
II.2.2	ANALISIS DE ESTABILIDAD	28
	Tipos y causas más comunes de fallas.....	29
	Condiciones de Trabajo	30
	Método Sueco, Procedimiento de las Dovelas Diferenciales.....	32
II.3	ANCHO DE LA CORONA CONVENIENTE DE ACUERDO A LA ALTURA DE LA CORTINA	42
	Altura Estructural de la Cortina.....	42
	Ancho de la Corona	45

CAPITULO III.

	PROYECTO Y DISEÑO DEL VERTEDOR DE DEMASIAS	47
	Generalidades	47
III.1	ESTUDIO DEL TIPO DE VERTEDOR CONVENIENTE DE ACUERDO A LA TOPOGRAFIA DE LA BOQUILLA	48

III.2 ESTUDIO DEL VERTEDOR ESTIMADO COMO CONVENIENTE DEL TIPO MEDIO ABANICO	49
III.2.1 CALCULO HIDRAULICO DEL VERTEDOR	53
Cimacio	53
Sección de Control.....	56
Arcos del Abanico	61
III.2.2 CALCULO ESTRUCTURAL DEL VERTEDOR	62
Estabilidad a Volteo.....	63
Estabilidad al Deslizamiento	65

CAPITULO IV.

PROYECTO Y CALCULO DE LA OBRA DE TOMA	67
IV.1 ESTUDIO DEL TIPO DE LA OBRA DE TOMA ECONOMICA CONVENIENTE DE ACUERDO A LA TOPOGRAFIA DE LA BOQUILLA	67
IV.2 ESTUDIO DE LA OBRA DE TOMA	69
IV.2.1 CALCULO HIDRAULICO DE LA OBRA DE TOMA.....	69
Datos de Proyecto	72
Cálculo de las Pérdidas de Carga	73

IV.2.2	CALCULO ESTRUCTURAL DE LA OBRA DE TOMA	80
	Datos de Proyecto	81

CAPITULO V.

PRESUPUESTO GENERAL DE LA OBRA	84
---	-----------

V.I	CUBICACION DEL PROYECTO DE LA CORTINA VERTEADOR Y OBRA DE TOMA PARA LA DETERMINACION DEL COSTO PROBABLE DE LA OBRA	84
------------	---	-----------

CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE LAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y FACTIBILIDAD ECONOMICA DEL PROYECTO 'EL CHIHUERO'	101
Cortina	102
Vertedor	103
Obra de Toma	104

BIBLIOGRAFIA	106
---------------------------	------------

INDICE DE FIGURAS, DIAGRAMAS Y PLANOS.

INTRODUCCION.

CAPITULO I.

No. FIG.	Descripción.	
1	Localización del área en estudio	10
2	Ubicación estatal del Proyecto	10
3	Plano de Localización	11
4	Zona de Riego del Proyecto "EL CHIHUERO"	15

CAPITULO II.

No. FIG.	Descripción.	
5	Condición inicial Talud Aguas Abajo	37
6	Resumen de Areas	37
7	Solución Gráfica Talud Aguas Abajo	38
8	Solución Gráfica Talud Aguas Arriba	40
9	Regionalización Sísmica	41
10	Valores para Bordo Libre Adicional	45
	Diagrama de Flujo: Programa "FUNCVASS"	19

Simulación de Vaso para V.M.O. de 6.0 millones de m3.....	22
Simulación de Vaso para V.M.O. de 6.5 millones de m3.....	23
Simulación de Vaso para V.M.O. de 7.0 millones de m3.....	24
Plano General de la Cortina.	

CAPITULO III.

No. FIG.	Descripción.	
1	Coordenadas del Punto de Tangencia.....	57
2	Perfil Creager.....	58
3	Cálculo de las coordenadas del Cimacio.....	59
4	Perfil del Cimacio.....	60
Plano General del Vertedor.		

CAPITULO IV.

No. FIG.	Descripción.	
1	Tabla del Manual H. King.....	77
2	Cálculo de la Escala de Gastos.....	77
Plano General de la Obra de Toma.		

CAPITULO V.

Precio Unitario de la Excavación	87
Precio Unitario Colocación del Material Impermeabilizante	89
Precio Unitario Grava y Arena (Respaldo)	91
Precio Unitario Colocación Roca a Volteo	94
Precio Unitario Grava y Arena (filtro)	96

No. FIG.	Descripción.	
1	Costo Estimado de la Cortina	99
2	Costo Estimado del Vertedor	99
3	Costo Estimado de la Obra de Toma	100
4	Resumen	100
5	Catálogo de Conceptos de mayor influencia en la obra	100
6	Costo Estimado de La Presa de Concreto	100

INTRODUCCION

INTRODUCCION.

Toda obra que el hombre realiza, siempre lleva como meta la consecución de algún fin. La Ingeniería Civil no se aparta de esta premisa, pues toda obra que realizamos tiene como objetivo la satisfacción de una necesidad. Sin embargo, el logro de nuestros objetivos, en la mayoría de los casos, no tiene una solución simple y rápida. Es por ello, que en la generalidad de las obras que realizamos en nuestra profesión, revisten problemas, tanto técnicos como humanos. Pero es precisamente con estas dificultades, donde nosotros podemos hacer gala de nuestros conocimientos e ingenio para justificar el nombre que como profesionales llevamos: "Ingenieros".

Como se mencionó anteriormente, nuestra actividad profesional entraña tan diversos y peculiares problemas, que para darles solución se deben emplear tres facetas del ingeniero: Conocimientos Técnicos, Experiencia e Ingenio. Los dos primeros aspectos se adquieren, primero en el aula y sobre todo durante la actividad profesional, donde siempre nos iremos enriqueciendo con mayores conocimientos, y mejor aún, con ese tesoro que sólo el tiempo nos regala: la experiencia. Si aunado a estos dos componentes, añadimos el propio ingenio, la actividad profesional promete ser fértil y seguir retroalimentando y enriqueciendo a esas tres facetas.

Con las anteriores ideas ya expuestas, podemos ahora introducirnos al propósito del presente trabajo.

Para el correcto logro de un objetivo, primero deben establecerse con claridad los propósitos que se desean alcanzar. Con los objetivos bien establecidos, debe el Ingeniero aportar la forma y los medios con que se conseguirá el fin. En la mayoría de los casos, ese medio lo constituirá una obra civil. Es ahora, cuando se deberán evaluar tanto técnica, económica y socialmente, las posibles soluciones, de acuerdo a las características propias de cada una de ellas, para elegir la solución más adecuada, óptima y eficiente. Sabemos además, que para que la elección sea correcta, deberá estar

sustentada en estudios previos, análisis y casi siempre en el criterio del Ingeniero.

El desarrollo de un país, va de acuerdo al mejoramiento armónico en todas las áreas económicas, principalmente en la agricultura, pues se considera a ésta como la base de una economía sana.

En nuestro país, por la distribución tan heterogénea de la precipitación pluvial, la irrigación es necesaria para la incorporación de tierras a la actividad agrícola. Sin embargo, no siempre es posible salvar los obstáculos que ofrece nuestra orografía.

Sabemos que de la precipitación total en un año, sólo el 26 % es susceptible de ser aprovechado, y entre las formas de hacerlo están: la generación de energía eléctrica, riego para fines agrícolas, industria, y agua potable (siendo éstos de mayor a menor porcentaje respectivamente).

De la superficie total que comprende nuestra República Mexicana sólo el 18 % se considera útil para la agricultura, de los cuales el 15 % está bajo riego, el 36 % son áreas de temporal plana, el 12 % son de temporal montañosa, y el resto se encuentra sin utilizar.

Como se puede observar, las características orográficas y climatológicas, no hacen de nuestro país un lugar de potencial agrícola. Sin embargo, como se expondrá en la siguiente sinopsis histórica, no nos hemos conformado con lo que la naturaleza nos ofrece, más aún, se ha procurado transformarla de forma en que podamos obtener un mejor provecho de los recursos existentes, usando nuestra capacidad de raciocinio, con la conciencia de evitar perjuicios ambientales.

ANTECEDENTES HISTORICOS.

Desde antes de la llegada de los españoles a nuestro continente, en la cultura mesoamericana se contaba ya con pequeñas obras hidráulicas, que comprueban un desarrollo en cuanto al riego de tierras, aunque con conocimientos totalmente empíricos.

En el Altiplano Central se contaba con aproximadamente 380 obras de irrigación.

Sabemos que la población azteca construyó con tecnología propia lo que se conoce como chinampas, donde se alojaron huertos y cultivos flotantes. Así mismo, construyeron un sistema de diques en el Valle de México con el propósito de evitar inundaciones en la ciudad de Tenochtitlán.

Durante la época colonial, el desarrollo y construcción de obras encaminadas al riego de tierras fué marginado, pues la actividad minera, objeto principal de los gobiernos españoles, relegó a la actividad agrícola un papel secundario.

En las décadas siguientes a la independencia de nuestro país, sólo se llegaron a construir 4 presas de almacenamiento y derivación y algunos canales de riego, para respaldar, aunque en pequeña medida las actividades del campo.

No es sino hasta la época del Porfiriato cuando se llevan al cabo numerosas obras de irrigación, hechas por particulares; durante este régimen se llegó a cubrir un área de un millón de hectáreas bajo riego.

Es en la Constitución de 1917 cuando quedan establecidas como propiedad de la Nación, las tierras y aguas comprendidas dentro del territorio nacional, en el Artículo 27. Por esta razón fué creado el Departamento de Irrigación.

El General Alvaro Obregón, en su período presidencial, crea en 1921 la Dirección de Irrigación, con el propósito de favorecer la actividad agrícola y asegurar su producción.

Para el año de 1926, se crea la Comisión Nacional de Irrigación, encargada de desarrollar la política de irrigación de nuestro país, con el mejor provecho de los recursos hidrológicos, propiciando así el desarrollo agrícola.

Como primer política de irrigación, se realizaron las grandes y medianas obras de riego, teniendo mayor preferencia las obras sencillas y económicas que proporcionaran resultados inmediatos. Cabe mencionar que en aquellos tiempos, la Ingeniería Civil mexicana, no se encontraba con la experiencia necesaria para resolver los problemas que se atendieron, por lo que se recurrió a la asesoría extranjera. Sin embargo, en sólo seis años, se logró prescindir de la ingeniería extranjera, pues ya se había adquirido esa experiencia por la participación de Ingenieros mexicanos en compañías extranjeras.

La segunda etapa de la política de irrigación comienza cuando en 1946, el Señor Presidente Lic. Miguel Alemán, transforma a la Comisión Nacional de Irrigación en Secretaría de Recursos Hidráulicos. Durante la actividad de esta Secretaría, se logró incorporar 2'447,000 hectáreas bajo riego, así como descentralizar la política de irrigación, al crearse Comisiones Ejecutivas con autonomía; estas comisiones dieron impulso al desarrollo hidráulico regional por cuencas.

A partir de 1962, se elaboraron planes de uso racional del agua, así como para la disposición de información precisa de datos hidrológicos a nivel regional y nacional.

Para el año de 1976, por decreto del Presidente José López Portillo, se fusionan la Secretaría de Recursos Hidráulicos y la Secretaría de Agricultura y Ganadería, para dar lugar a la actual Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

En el año de 1982, se tenía un total de 5'800,000 hectáreas bajo riego, de las cuales 1'000,000 fueron habilitadas por particulares y el resto por el gobierno.

ALCANCES.

Recientemente en nuestro país, se ha impulsado el crecimiento de sistemas de riego a nivel nacional, construyéndose para ello, entre otras, Presas de almacenamiento y derivación, Canales y Distritos de riego. Parte de este desarrollo, lo constituye el proyecto denominado El Chihuero, localizado en el Municipio de Huetamo, Estado de Michoacán. Este proyecto, está constituido esencialmente por una presa de almacenamiento aunada a una infraestructura de distribución, que proporcionará el agua necesaria para la incorporación de tierras de temporal a tierras de riego.

Es objeto del presente trabajo, el estudio y evaluación de las necesidades y fines que justifiquen el llevar al cabo este proyecto. Para ello se analizarán las alternativas que proporcionen bases para justificar el proyecto, y de lograrlo, fundamentar la elección del tipo de cortina, obra de vertedor y de toma, con el propósito de lograr un proyecto eficiente y económico. Como es de suponer, las condiciones geográficas del sitio de construcción de la presa, así como el destino que tenga la misma, influirán de manera definitiva en la justificación del plan propuesto.

El elemento imprescindible para la vida es el agua, sin ella nuestro planeta sería desierto y, como en el resto de los planetas del sistema solar, no se habría dado la vida.

C.N.A.

CAPITULO I

CAPITULO I.

JUSTIFICACION DEL PROYECTO.

GENERALIDADES.

El objetivo en la planeación de proyectos, es determinar cómo se llevarán al cabo. Para ello, se requiere hacer estudios que permitan analizar de manera correcta las perspectivas de solución a ciertos problemas, con el propósito de elaborar conclusiones sustentadas tanto en aspectos técnicos como sociales. Para ello, debe tenerse especial cuidado en que:

- El proyecto brinde una solución a una necesidad presente o futura.
- El proyecto solucione y corresponda al fin que se persigue, en forma adecuada.
- Los beneficios derivados de la construcción de la obra, justifiquen su costo.

Estos estudios, deben ser lo suficientemente completos para proporcionar información de utilidad para la evaluación de posibles soluciones. Sin embargo, los estudios no deben ser demasiado extensos, pues se desviarían recursos técnicos y económicos a actividades innecesarias.

La investigación de las características y particularidades de un lugar, deben realizarse dentro de la etapa de anteproyecto, descrita a continuación.

Etapa de Anteproyecto.

Durante este período de anteproyecto, se recopilan los datos necesarios que hagan posible el evaluar las condiciones del lugar, para así determinar la factibilidad económica de construir una obra. En nuestro caso, para el proyecto de una presa de almacenamiento, se elaborarán los estudios preliminares de acuerdo a la siguiente secuencia:

- 1.- **Visita de inspección al sitio de la obra:** Durante esta visita, se recaban datos de carácter técnico y socioeconómico. Esta información debe comprender a la zona del proyecto, así como su área de influencia.
- 2.- **Estudios Preliminares:** Estos estudios se elaboran con el objeto de tener bases para determinar la factibilidad de realizar la obra. Como se mencionó anteriormente, esta información debe ser tanto técnica como económica.

Los estudios técnicos se llevan al cabo para determinar, de acuerdo a las características propias del lugar, la posibilidad de construir determinado tipo de obra.

Comprendidos en este apartado, se encuentran los estudios:

- **Topográficos:** Con la topografía de la cuenca, vaso de almacenamiento, boquilla y zona o distrito de riego, se podrá prever la capacidad del vaso, el lugar más propicio para la construcción de la presa (boquilla), así como la altura de la cortina.
- **Geológicos:** De acuerdo a la geología propia del vaso y boquilla, se estudiará la impermeabilidad del terreno, para determinar si el vaso será realmente eficiente. También de acuerdo con la geología del sitio, se puede determinar la capacidad y esfuerzos permisibles del terreno, características elásticas del material, coeficiente de permeabilidad, así como la profundidad de las excavaciones. Con esta información, se podrá elegir determinado tipo de cimentación para la presa.
- **Climatológicos:** Estos datos, como los otros, son fundamentales en los estudios previos del proyecto de una presa, ya que sus regímenes pluviométricos, evaporaciones, temperaturas, etc., participan en el buen funcionamiento de la obra.
- **Hidrológicos:** Estos estudios comprenden los periodos y magnitudes de la precipitación pluvial, afluentes al vaso, origen del agua que escurre, así como

la cantidad de agua que se pierde, ya sea por evaporación, efecto de la temperatura, o por infiltración en el terreno.

- **Agrológicos:** Como el objeto de la obra es proporcionar agua para riego, deben conocerse los cultivos que serán regados, y de acuerdo a los tipos de cultivo, se podrán preestablecer las demandas de agua durante el año.

A partir de los estudios técnicos se elabora la planeación del proyecto. Una vez que se haya determinado la factibilidad del mismo, se realizarán los anteriores estudios descritos, pero de manera más detallada y específica.

Dentro de los estudios socioeconómicos, se indagará sobre las características y condiciones sociales y económicas que privan en la localidad. Se evaluará objetivamente la factibilidad de aprovechar el agua de acuerdo con el propósito de utilización, cuántos y quiénes son los propietarios beneficiados y perjudicados. Así mismo se conocerán los recursos existentes cercanos al lugar, para determinar bancos de préstamo que conlleven a la utilización del material más económico para construir la presa.

Deben también considerarse los problemas socioeconómicos existentes que pudieran generarse durante y después de la ejecución de la obra, atendiendo a la actividad agrícola y niveles de vida. Con este estudio se podrá evaluar el cumplimiento de los objetivos propuestos, para justificar o no la construcción de la obra, de acuerdo a una realidad social y económica de la población afectada.

- 3.- **Factibilidad del proyecto:** Con los Estudios preliminares, se someterá a juicio del especialista el llevar al cabo la obra, o adoptar otra solución que satisfaga la necesidad propuesta.
- 4.- **Levantamiento topográfico:** Se procede a hacer un levantamiento detallado de la boquilla y del vaso.
- 5.- A partir del estudio hidrológico, se determina la conveniencia de proyectar una cortina de una altura de acuerdo a la cantidad de agua que se va a almacenar.

PROYECTO "EL CHIHUERO".

En el presente capítulo se contempla la justificación técnica e hidrológica para la construcción de la presa de almacenamiento denominada como el Proyecto "El Chihuero". De acuerdo a los estudios preliminares referidos a continuación, se logrará determinar la factibilidad del proyecto.

Localización del Proyecto.

Las coordenadas geográficas del sitio del proyecto son las siguientes:

Latitud: 18° 41' 00" N

Longitud: 100° 53' 18" W.G.

Altitud: 360 m.s.n.m.

El sitio del proyecto se encuentra en el Municipio de Huetamo, en el Estado de Michoacán. Al Norte colinda con el Municipio de Tiquicheo y Carácuaro; al Sur con el Municipio de Cd. Altamirano, Gro.; al Este colinda con el Municipio de San Lucas y al Oeste con los Municipios de Turicato y Churumuco.

El acceso al sitio del proyecto, a partir del poblado de Huetamo, Mich., es continuando el recorrido por una brecha cercana al poblado de La Parota, donde se tiene fácil acceso en tiempo de estiaje, con un recorrido de 2.5 Km., a partir de Huetamo y pasando por los poblados de La Parota y Piriticuaro.

El área de estudio se encuentra en la denominada Sierra Madre del Sur.

Antecedentes.

La idea de incorporar tierras de temporal al régimen de riego, en la región de Huetamo, surgió hace aproximadamente 25 años. Los estudios preliminares fueron encargados a la hoy extinta Comisión del Río Balsas, pero al dejar de funcionar este organismo, la Dirección de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural, continuó con los estudios.

Para el año de 1978, el Comité Pro-riego de Huetamo, Mich., solicitó la agilización de estos estudios, pues la propia población pensaba en la necesidad de una presa de almacenamiento y zona de riego.

El área de influencia del Proyecto "El Chihuero", actualmente no cuenta con ningún tipo de infraestructura hidráulica para riego. En la cuenca vecina, se localiza una presa de almacenamiento llamada "El Pejo", con capacidad de 7.0 millones de m³ y con una cortina de altura de 29.0 m. De acuerdo al proyecto debería beneficiar 500 Has., pero por carencia de una red de canales, sólo se encuentran bajo riego 220 Has.

Estudios Preliminares.

- Topografía: La zona de estudio se encuentra muy drenada, con un relieve poco accidentado en general. Existen pequeñas planicies y lomeríos de mediana altura que confinan amplios valles.

El área drenada hasta el sitio del proyecto consta de 75.0 Km². Para la elaboración de las curvas de Elevaciones- Areas-Capacidades, se partió de la elevación de 71.5 m (cota arbitraria) del lecho del cauce, hasta la elevación 100.0 m, correspondiente a las partes altas de las laderas.

Como sabemos el sitio donde se pretende construir la presa, debe localizarse en la parte donde la conformación del terreno propicie la menor longitud del eje de la cortina; es decir, un angostamiento del valle. Según se observa en el plano, el sitio elegido cumple con la anterior premisa, además de contar con las elevaciones necesarias a cada lado del cauce del río, para lograr la altura proyectada.

- Geología: La zona que albergará al vaso del Proyecto "El Chihuero", se encuentra cubierta en su mayoría por grandes espesores de depósitos continentales y volcánicos del Periodo Terciario. Sin embargo, existen también pequeñas áreas donde afloran rocas mesozoicas.

La boquilla es topográfica y geológicamente asimétrica. Su margen izquierda está constituida por roca intrusiva clasificada como monzonita, de carácter masivo y dispuesta en gruesos bloques. Por la margen derecha se encuentra una formación compuesta por areniscas feldespáticas de la formación tipo San Lucas, de grano medio y regularmente cementados. Junto a ellas, se encuentran interestratificaciones de lutitas silificadas.

Localización del Area en Estudio.

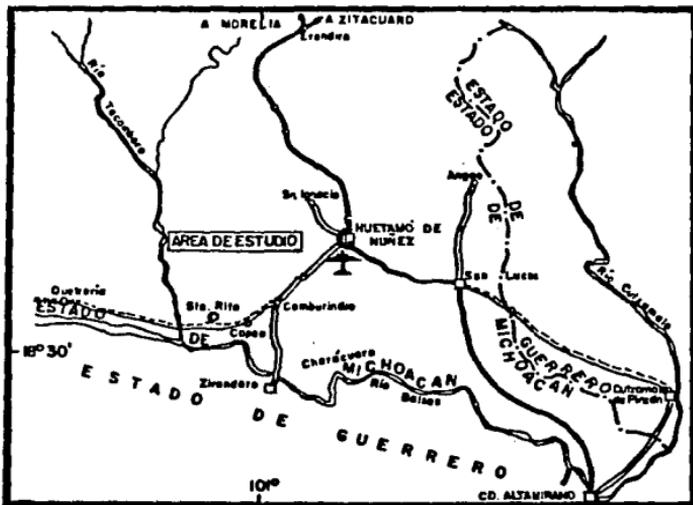


figura (1)

Ubicación Estatal del Proyecto.



figura (2)

PROYECTO CHIHUERO MPIO. HUETAMO,
MICHOACAN

PLANO DE LOCALIZACION.

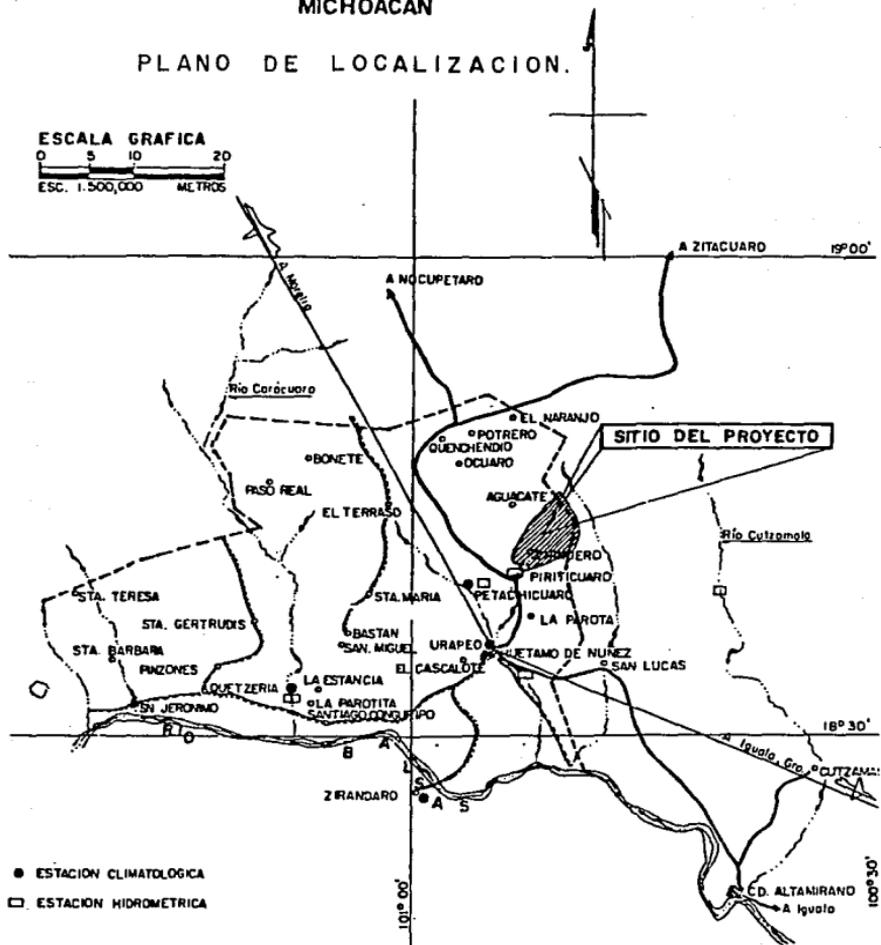


figura (3)

Las rocas de la boquilla tienen una capa que las cubre de suelo y aluvión de 6.0 m de espesor.

El vaso tiene una configuración alargada e irregular, cubierto por suelo y afloramientos de areniscas feldespáticas, en la mayor parte de la superficie del terreno. En la parte terminal del vaso, afloran rocas calizas en formación Morelos, variando de puras a arcillosas. Estas rocas están poco o medianamente fracturadas, por lo que se ha favorecido la formación de la serie de manantiales en la región, que proporcionan un gasto fluctuante entre 16 y 244 l.p.s.

Por la ubicación fisiográfica de la región en estudio, se sabe que los temblores son muy frecuentes.

De acuerdo al estudio geológico, cuyas conclusiones se enunciaron anteriormente, se determina que el sitio del Proyecto "El Chihuero", presenta condiciones favorables para la construcción de la obra planeada.

- Climatología: Los datos meteorológicos fueron recabados de la estación "El Pejo", con un periodo de observación de 20 años (1965-1984).

En general, puede describirse el clima de la zona de estudio como seca, con poca agua, cálid^o y con baja concentración térmica en el verano.

La precipitación media anual es de 864.1 mm, pudiéndose definir dos periodos: El primero de ellos de octubre a mayo, caracterizándose por ser una temporada seca con una precipitación de 96.15 mm. El segundo periodo está comprendido de junio a septiembre, siendo considerado húmedo pues presenta una precipitación de 967 mm.

Según los datos recabados, el año con mayor precipitación fue 1981 con un valor de 1,235.0 mm y, curiosamente, 1982 fué el de menor precipitación con 570.5 mm.

La temperatura media anual es de 28.1 °C, siendo la temperatura media mensual más baja la correspondiente al mes de enero de 1981 con 24.1 °C, y el mes con temperatura mensual más alta fue en mayo de 1965 con 33.0 °C. El año de 1969 se consideró el año con temperatura máxima media anual de 28.84 °C; y la mínima de 27.42 °C se registró en 1975. De acuerdo a los datos registrados, en la región no se presentan heladas.

Como se puede comprender, debido a las elevadas temperaturas que privan en la región, la evaporación es alta, midiéndose una media anual de 2,633.8 mm. El año de 1969 se registró con la evaporación máxima anual, siendo ésta de 2,820.0 mm. El año con menor evaporación fue 1965 con 2,517.9 mm. Durante los meses de febrero a mayo, la evaporación es muy superior a la precipitación, ocurriendo en los meses de julio a septiembre, el caso contrario.

- **Hidrología:** La región en estudio se ubica dentro de la gran cuenca hidrográfica del Río Balsas o Mezcala.

A una altura de 1,250 m.s.n.m., en el cerro Silleta, se origina el Río Chihuero, también conocido con los nombres de Los Limones, Piriticuaro o Río Huetamo. El arroyo desciende hasta llegar a Huetamo de Nuñez, Mich., donde recibe aportaciones del arroyo El Pejo o Urapa, conociéndose aguas abajo como Río Huetamo.

La corriente descrita tiene un desarrollo hasta la boquilla de 21.7 Km, conformando una cuenca de 75 Km² y un gasto máximo de 299.40 m³/seg. El periodo de observación se refiere a los años entre 1964 a 1985. El gasto mínimo observado es nulo, pues no se observan escurrimientos en los primeros meses del año, es decir, de febrero a mayo.

El arroyo Chihuero escurre un volumen medio anual de 7.608 millones de m³.

De acuerdo a los estudios efectuados, se obtuvieron los siguientes datos aforados:

Volumen escurrido medio anual (1965-1980)	8.005 m m ³ .
Volumen escurrido máximo anual (1985)	19.658 m m ³ .
Volumen escurrido mínimo anual (1974)	0.569 m m ³ .
Volumen escurrido máximo mensual (sept.)	2.403 m m ³ .
Volumen escurrido mínimo mensual (abril-mayo)	0.000 m m ³ .

Los datos anteriores se obtuvieron de la estación hidrométrica "El Pejo".

De acuerdo a las características fisiográficas de la cuenca, se tiene un desnivel total del cauce principal de 580.00 m. La pendiente promedio del cauce principal de acuerdo al método Taylor-Schwarz es $S_c = 1.61 \%$; pero con el método de igualación de áreas se calcula una pendiente promedio del 1.87% .

Sin embargo, las aportaciones al vaso no son constituidas únicamente por el escurrimiento en el cauce principal, pues existen otras aportaciones como es el agua emanada en manantiales existentes en la cuenca.

Realizando aforos más próximos a la boquilla, se midieron los siguientes escurrimientos:

Aportación media anual	11.167 m m3.
Aportación máxima anual	20.353 m m3.
Aportación mínima anual	5.426 m m3.

- Estudio Agrológico: Como se describió en el estudio topográfico, la zona presenta lomeríos con zonas planas, con suelos de profundidad variable (100-200 cm).

El uso principal de las tierras del proyecto es el agrícola. La agricultura de temporal es practicada en un 90% . Los cultivos principales de acuerdo a su extensión e importancia son: Ajonjolí, maíz, sorgo, cacahuate, y en menor escala pero bajo riego, se encuentran los cultivos de: Melón, sandía, jicama y pequeñas huertas de papaya y limón.

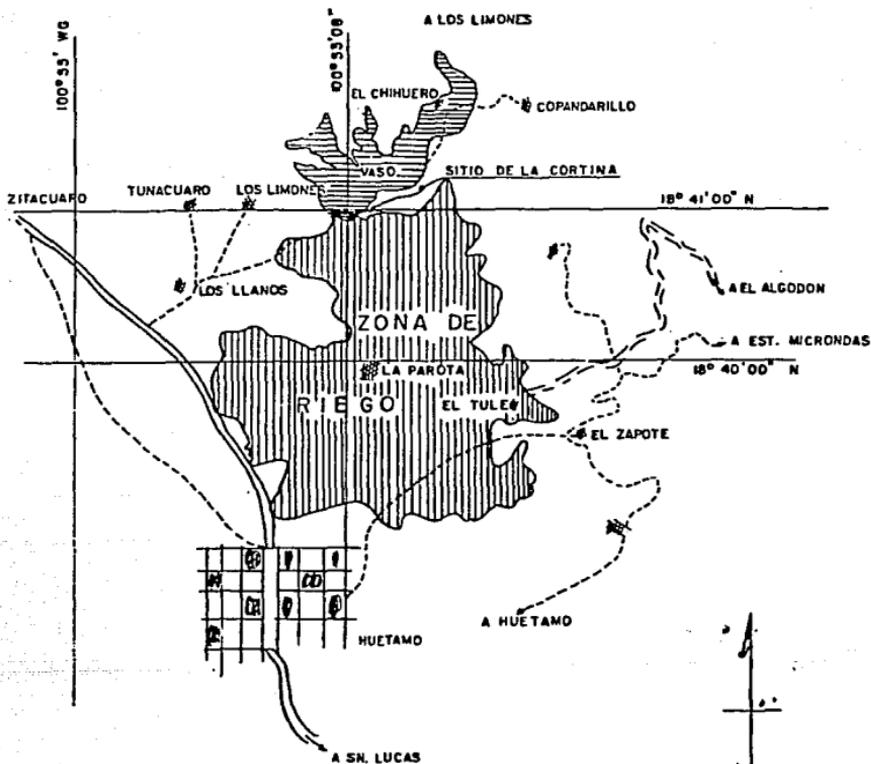
El estudio agrológico del Proyecto "El Chihuero", fue elaborado por la Ex-Residencia de Agrología, ahora Unidad Hidráulica de Agrología de Morelia, Mich. De acuerdo al estudio efectuado, se propuso el siguiente plan de cultivos:

1er ciclo (primavera-verano).- Maíz 25% , ajonjolí 20.0% , sorgo 20% , cacahuate 15% , hortalizas 10% , cítricos 10% y mango 5% .

2do ciclo (otoño-invierno).- Maíz 25% , sorgo 10% , sandía y melón 20% y hortalizas 10% .

Para cuantificar la demanda anual bruta por Ha., se fundamentó en el uso consuntivo de acuerdo a la temporada y tipo de sembradío. La demanda

PROYECTO CHIHUERO



ESCALA 1:50,000

figura (4)

encontrada fue de 6,295 m³/Ha., siendo los meses de enero, febrero, marzo y agosto los de mayor demanda.

La superficie viable para riego es de 935 Has., entre los poblados de Piríticuaro, La Parota y Cutzeo.

- Estudio Socioeconómico: La finalidad del Proyecto "El Chihuero" es incorporar al riego 935 Has. localizadas en las inmediaciones del Municipio de Huetamo, Mich., en ambas márgenes del arroyo Chihuero.

Se ha estimado que al contar con riego, los probables beneficiarios podrán asegurar sus cosechas, y por consiguiente, incrementarán la producción agrícola y ganadera de la región.

Con referencia a las condiciones de vida sociales, económicas y culturales, serán mejoradas sustancialmente. Así mismo, se evitará la emigración de campesinos a otras zonas del país, e incluso al extranjero.

Sustentándonos en las conclusiones de cada estudio realizado y ya descrito, podemos concluir que las condiciones topográficas como hidrológicas, hacen atractivo la construcción del Proyecto propuesto, por lo que queda bien justificado el continuar con estudios más detallados que permitan determinar la factibilidad técnica y económica de la obra. Esa justificación será tratada en los siguientes capítulos.

Crear conciencia del valor del agua como recurso vital pero escaso, que requiere ser manejado en forma integral con eficiencia y equidad

C.N.A.

CAPITULO II

CAPITULO II.

PROYECTO Y DISEÑO DE LA CORTINA.

II.1 JUSTIFICACION DE LA CAPACIDAD TOTAL EN RELACION AL ESTUDIO HIDROLOGICO REALIZADO.

Una vez que se ha determinado la conveniencia de formar un vaso de almacenamiento, surge la cuestión de cuánta agua debemos almacenar para lograr un proyecto eficiente y económico. De ahí se comprende que un buen estudio hidrológico es la base de resultados óptimos.

Se puede afirmar que las estructuras de una presa consisten primordialmente de: Cortina, Vertedor y Obra de Toma, sin embargo éstas son sólo la última etapa de un sistema que se pretende crear, por ello es que la cuenca de captación resulta ser la parte fundamental en todo el sistema, pues en toda esa superficie se desarrollan los fenómenos hidrológicos que competen a nuestro proyecto.

Como se describió en el capítulo anterior, el estudio hidrológico, con sus datos obtenidos, aportará bases para elaborar un diseño adecuado en relación a la cantidad de agua que será necesario almacenar, para satisfacer nuestras necesidades de riego. Para revisar que la capacidad del agua sugerida sea la adecuada, el proyectista se auxilia de lo que se llama una simulación de funcionamiento de vaso.

Para realizar una correcta simulación del comportamiento del vaso, es necesario contar con ciertos datos indispensables como lo son: Las aportaciones al vaso, evaporaciones netas, la ley de demandas, así como la conformación del vaso en cuanto a las capacidades de acuerdo a la elevación del espejo de agua, asentadas en lo que conocemos como Curva Elevaciones-Areas-Capacidades.

En el caso del Proyecto "El Chihuero", las aportaciones al vaso son básicamente dos: Una es el agua producto de precipitación pluvial que escurre dentro de la cuenca hacia una corriente principal conocida como el Arroyo "Chihuero". Esta corriente se clasifica como intermitente, pues durante el periodo de estiaje no se registra gasto alguno. La segunda forma de entradas al vaso lo constituye un manantial existente en el poblado "El Chihuero", que presenta un gasto intermitente entre 16 y 244 l.p.s.

Los datos concernientes a las aportaciones, fueron obtenidos en la estación hidrométrica "Piriticuaro". Al analizar estos registros, se observó que existían anomalías en el periodo comprendido de 1974 a 1979. Las anomalías encontradas hacían pensar en la existencia de un periodo de sequía extrema, pero al cotejar con áreas circunvecinas, se comprobó la inexistencia de este periodo. Con esta idea, se prefirió utilizar datos inferidos de los escurrimientos, auxiliándose de la estación climatológica "El Pejo".

Los escurrimientos inferidos fueron determinados por el método indirecto de la *U.S. Soil Conservation Service*, que consiste básicamente en calcular el coeficiente de escurrimiento de la cuenca, y multiplicarlo por la precipitación pluvial medida. Se debe mencionar que la descripción de este método hidrológico, no es objeto de la presente tesis, sino sirvió meramente para obtener datos más apegados a la realidad.

Por este método se obtuvo el siguiente:

Volumen escurrido medio anual 11.167 m de m3.

Al referirnos a la evaporación neta, ésta se determina restando la precipitación pluvial de la evaporación medida, con lo que se elimina un dato, y se facilita el cálculo de la simulación del funcionamiento del vaso.

En el capítulo anterior se mencionó que la ley de demandas fue proporcionada como una cantidad de agua necesaria para riego que varía mensualmente, pero se repite año con año. Así mismo, el levantamiento topográfico del vaso de almacenamiento es necesario para la obtención de la ya citada Curva Elevaciones-Areas-Capacidades.

Debemos recalcar que los datos anteriores fueron obtenidos de la Dependencia gubernamental correspondiente.

La simulación del funcionamiento del vaso, consiste en determinar mes a mes, las aportaciones de agua que entran al vaso, calcular la evaporación neta

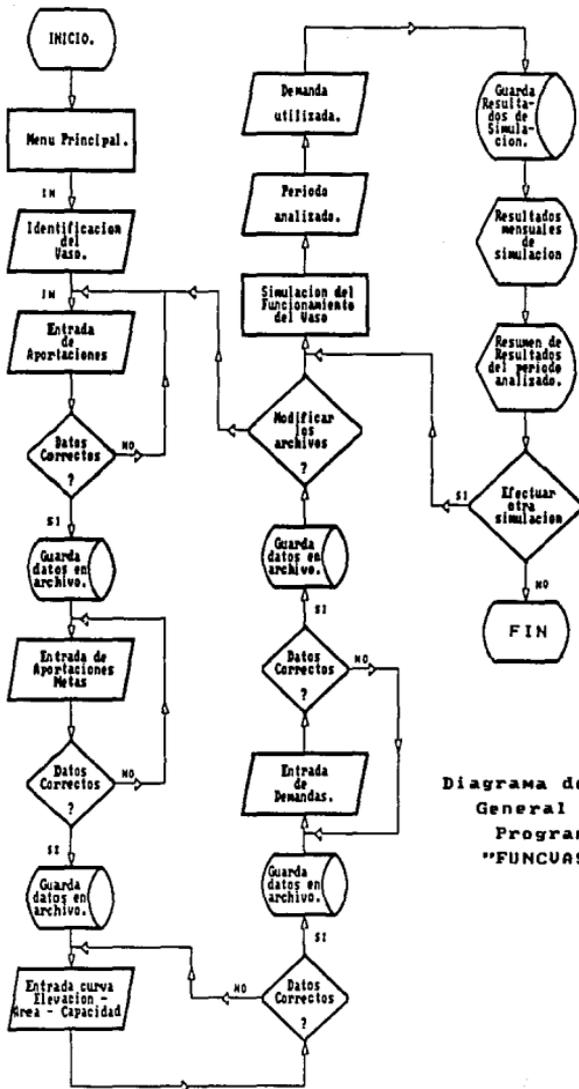


Diagrama de Flujo
General del
Programa
"FUNCUASS"

media que se presente, y así con una capacidad determinada al inicio del mes, sumamos las aportaciones, restamos las evaporaciones netas medias y la cantidad de agua demandada, para así tener un volumen final y el volumen de agua derramada o no proporcionada a lo que llamaremos déficit.

Para que la simulación se apegue a la realidad, se debe contar con registros de un periodo más o menos largo, es decir, de más de dos décadas.

De los resultados de la simulación, se observa la cantidad de veces y volumen de agua que se derramó, así como el que se demandó y no se aportó durante el periodo analizado, y así se puede establecer qué tan eficiente es el diseño propuesto.

Para el Proyecto "El Chihuero" la simulación del funcionamiento del vaso, se efectuó mediante un programa elaborado por el presente autor. Este programa fue realizado para la Compañía de Luz y Fuerza del Centro (en liquidación) con la asesoría de los Ingenieros: Ing. Mario Antonio Cervantes Elías e Ing. Manuel Cid Salgado.

El programa que se presenta realiza el funcionamiento de un vaso hidráulico en la forma acostumbrada, requiriendo como datos básicos: las aportaciones, evaporación neta, ley de demandas y Curva Elevaciones-Areas-Capacidades, que son conservados en archivos para utilizarse en la simulación.

El programa de funcionamiento de vaso "FUNCVASS", escrito en lenguaje BASIC, realiza la simulación mensual de un periodo elegido, así como un resumen final donde aparecen las aportaciones demandadas, volúmenes evaporados, déficits y derrames totales, calculando el porcentaje aprovechado, el derramado, el correspondiente al déficit y evaporaciones. Así, con el porcentaje aprovechado podemos evaluar la eficiencia de nuestro diseño.

Para el presente trabajo, se estudió la solución propuesta, considerando otras dos opciones en cuanto a la capacidad del vaso, durante el periodo comprendido entre enero de 1965 a diciembre de 1984.

A continuación enunciaremos las consideraciones hechas para efectuar la simulación, en el caso de nuestro proyecto.

Se consideró una capacidad de azolves siempre igual al 0.1 % de la cantidad escurrida durante el año, que considerando una vida útil de la presa de 50 años y un volumen medio anual escurrido de 11.167 millones de m³ da

una capacidad de 0.560 millones de m3. No obstante, por un estudio realizado en relación a la cantidad de sedimentos que arrastra la corriente, se propuso reducir la capacidad de azolves a 0.545 millones de m3.

El nivel de la Obra de Toma corresponderá al nivel de azolves. La capacidad útil será la capacidad total menos la de azolves. La carga mínima para el cálculo de las estructuras de salida de agua a zona de riego serán para capacidad de azolves más 10% de la capacidad útil.

Como capacidad inicial se consideró el 60 % de la capacidad total del vaso, para cada simulación.

Las capacidades normales que se analizaron fueron: 6.0, 6.5, y 7.0 millones de m3, y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Capacidad Proyectada.	Eficiencia.
6.00 millones de m3	54.03 %
6.50 millones de m3	58.31 %
7.00 millones de m3	61.12 %

Los resultados concentrados de la simulación, se muestran en las hojas anexas en este trabajo.

Como vemos, a medida que aumentamos la capacidad del vaso, tenemos mayores eficiencias, por haber menos derrames y déficits. Sin embargo, el incremento de eficiencias en relación a las capacidades, no es proporcional, es decir, el aumento de 6.00 a 6.50 millones de m3 significa un aumento de eficiencia de casi un 8 %, mientras que de 6.50 a 7.00 millones de m3 sólo se incrementa en un 5 %. No obstante, el incremento en los costos para la construcción de la cortina aumentan desproporcionadamente, lo que significa que aumentar un poco la eficiencia, aumenta abruptamente el costo del proyecto.

Por las razones enunciadas en el párrafo anterior, y que se confirman en el capítulo referente al costo de proyecto, podemos justificar como óptima la capacidad de agua normal igual a 6.50 millones de m3, con la ventaja de poder aumentar su eficiencia con el diseño de un superalmacenamiento, que nos permitiera captar un mayor volumen de agua, sin descuidar el aspecto económico.

VASO CHIHUERO**SIMULACION****FUNCIONAMIENTO DE VASO**

	MES	AÑO
FECHA DE INICIO	ENE	1965
FECHA DE TERMINO	DIC	1984

MILLONES DE M3

VOLUMEN DE AZOLVES :	0.545
VOLUMEN INICIAL :	3.6
VOLUMEN MINIMO DE OPERACION :	1.0905
VOLUMEN MAXIMO ORDINARIO :	6.0

CAPACIDAD MAXIMA REGISTRADA :	15.123
-------------------------------	--------

VASO CHIHUERO**SIMULACION****FUNCIONAMIENTO DE VASO****MILLONES DE M3**

APORTACION TOTAL :	224.18
DEMANDA TOTAL :	155.12
VOLUMEN EVAPORADO TOTAL :	15.47
DERRAME TOTAL :	70.32
DEFICIT TOTAL :	17.27

% APROVECHAMIENTO :	54.03
% DERRAMADO :	31.37
% DEFICIT :	7.70
% VOLUMEN EVAPORADO ::	6.90

VASO CHIHUERO

SIMULACION

FUNCIONAMIENTO DE VASO

	MES	AÑO
FECHA DE INICIO	ENE	1965
FECHA DE TERMINO	DIC	1984

MILLONES DE M3

VOLUMEN DE AZOLVES :	0.545
VOLUMEN INICIAL :	4.0
VOLUMEN MINIMO DE OPERACION :	1.1405
VOLUMEN MAXIMO ORDINARIO :	6.5

CAPACIDAD MAXIMA REGISTRADA :	15.123
-------------------------------	--------

VASO CHIHUERO

SIMULACION

FUNCIONAMIENTO DE VASO

MILLONES DE M3

APORTACION TOTAL :	224.18
DEMANDA TOTAL :	155.12
VOLUMEN EVAPORADO TOTAL :	16.67
DERRAME TOTAL :	64.29
DEFICIT TOTAL :	12.51

% APROVECHAMIENTO :	58.31
% DERRAMADO :	28.68
% DEFICIT :	5.58
% VOLUMEN EVAPORADO ::	7.44

VASO CHIHUERO**SIMULACION****FUNCIONAMIENTO DE VASO**

	MES	AÑO
FECHA DE INICIO	ENE	1965
FECHA DE TERMINO	DIC	1984

MILLONES DE M3

VOLUMEN DE AZOLVES :	0.545
VOLUMEN INICIAL :	4.2
VOLUMEN MINIMO DE OPERACION :	1.1905
VOLUMEN MAXIMO ORDINARIO :	7.0

CAPACIDAD MAXIMA REGISTRADA :	15.123
-------------------------------	--------

VASO CHIHUERO**SIMULACION****FUNCIONAMIENTO DE VASO****MILLONES DE M3**

APORTACION TOTAL :	224.18
DEMANDA TOTAL :	155.12
VOLUMEN EVAPORADO TOTAL :	18.03
DERRAME TOTAL :	59.64
DEFICIT TOTAL :	9.49

% APROVECHAMIENTO :	61.12
% DERRAMADO :	26.60
% DEFICIT :	4.23
% VOLUMEN EVAPORADO ::	8.04

II.2 ESTUDIO DE LA CORTINA DEL TIPO DE MATERIALES GRADUADOS DETERMINANDO LA SECCION CONVENIENTE PARA ESTA, INCLINACION DE LOS TALUDES INTERIORES Y EXTERIORES CONVENIENTES DE ACUERDO AL ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS REALIZADO.

II.2.1 JUSTIFICACION DEL TIPO DE LA CORTINA.

Durante la etapa de la selección del tipo de cortina más conveniente, deben tomarse en cuenta ciertas condiciones que sustenten esa elección, por ello, el análisis concienzudo que se haga tanto de las características técnicas así como de los recursos disponibles redundará en un proyecto económico y con condiciones de seguridad satisfactorias.

Refiriéndonos al Proyecto "El Chihuero", analizaremos las condiciones que condujeron a determinar que el tipo de cortina más adecuado, consiste en una cortina del tipo de Materiales Graduados.

El sitio donde se proyecta la cortina, es una boquilla muy amplia, de 430 m. Esta condición topográfica implica que la relación entre la altura de la cortina y la longitud de su eje sea pequeña.

Debido a la elevada longitud del eje de la cortina, es posible que se presenten asentamientos diferenciales. Como sabemos, en una cortina de gravedad, ya sea de concreto o mampostería, los materiales son rígidos, los que podrían sufrir agrietamientos por dichos asentamientos diferenciales. Una falla de este tipo es catastrófica, sin embargo, para encontrar solución a este problema, podemos proponer una cortina construida con materiales de características que permitieran absorber dichas deformaciones sin llegar a la falla. Con esta conclusión, podemos proyectar una cortina a base de materiales térreos y rocosos, como una cortina del tipo de Materiales Graduados que se antoja la elección más viable.

Ahora bien, si nos referimos al material que sustentará nuestra construcción, observamos que la cortina se desplantará sobre dos materiales distintos: arena feldespática y roca monzonítica. Como son materiales distintos, su módulo de elasticidad es diferente, por lo que se puede prever que el comportamiento de los dos materiales bajo el peso de la cortina no es igual, y se registrarán deformaciones distintas. Esta razón hace más objetiva nuestra decisión de proyectar una cortina de Materiales Graduados.

Todas las bases que justifican nuestra decisión serían vanas si el material elegido no se encuentra en la región, lo que haría un proyecto extremadamente caro, y sería mejor buscar otra solución económicamente más factible.

Como se observa en el plano de bancos de préstamo de la zona, es abundante el material de enrocamiento, y un poco menos lo es la grava arena (utilizada en los filtros), lo que determina que de acuerdo a la disponibilidad del material, se proyectará la sección de cortina más conveniente. Por las cantidades de grava, se advierte que la construcción de una cortina de concreto sería muy caro, pues habría que trasladar hasta el sitio de la obra, primordialmente cemento y grava. Así, presenta económicamente más ventajas una cortina de Materiales Graduados que una de concreto.

De cualquier forma, existe la opción de construir una cortina de tierra y enrocamiento con corazón a base de una placa de concreto sobre todo el eje de la cortina, que fungiera como la parte impermeable; pero esta solución es desechada por los indicios que se han presentado de que presas con corazón de concreto son particularmente susceptibles de sufrir daños durante un temblor, debido a que el concreto y los suelos que los rodean no vibran conjuntamente, y como sabemos, el proyecto en estudio se encuentra en una zona de alta sismicidad.

Sección de la cortina.

Para la conformación de la cortina de Materiales Graduados se propuso un diseño simétrico, compuesto por una sección de roca a volteo, un respaldo de grava y arena, un filtro de grava y arena, y como corazón impermeable una arcilla compactada.

Como se observa en el plano (1), se distingue que para la sección se propone un desplante a partir de roca sana y sin uso de trinchera. Generalmente el planear una trinchera significa que sólo el corazón impermeable se desplantará sobre roca limpia y sana o sobre material impermeable, por lo que se excava en el terreno de sustentación correspondiente. Sin embargo, en el Proyecto "El Chihuero" se plantea una limpieza total y un desplante de toda la base de la cortina sobre roca. Esto se debe a que el contenido de finos del material sobre la roca virgen, es mayor al 12 % conduciendo, según experiencias de la S.A.R.H. a una resistencia baja como para figurar como base de cimentación.

De acuerdo al estudio de disponibilidad de materiales, se encontró que se tienen grandes cantidades de roca, mientras que la grava y arena se encuentra en menor proporción.

Al diseñar los espesores del material en la sección de la cortina, debe tenerse muy en cuenta los procesos constructivos. En ocasiones, con ciertas dimensiones, se pueden lograr condiciones de impermeabilidad y estabilidad, sin embargo el proceso constructivo se dificultaría grandemente, por ello, con el fin de facilitar las labores constructivas se pueden aumentar dichas secciones.

Como sabemos, la función de la cortina, es evitar o disminuir a un mínimo el flujo de una corriente hacia aguas abajo. Por ello, se debe garantizar que la presa sea lo suficientemente impermeable para detener ese flujo. En la cortina de Materiales Graduados, el corazón impermeable desempeña esta tarea, pues se constituye de arcilla que aunque presenta un pequeño índice de permeabilidad, es adecuada para usarse en este tipo de obras.

El diseño de un filtro tiene como objetivo primordial que cuando el agua atraviesa la frontera entre la arcilla y la grava arena, se impida el arrastre del material más impermeable através de los huecos, mucho mayores, del material más permeable. Así deben colocarse estos filtros en una presa de sección homogénea, entre las diferentes capas de una sección graduada entre el corazón y los respaldos de una presa de tierra y enrocamiento.

En la etapa de construcción de este filtro debe de cuidarse mucho la granulometría del material, para que se logre el objetivo propuesto.

De acuerdo al propósito del filtro, un espesor de 1.50 m sería suficiente, sin embargo, por cuestiones constructivas, se proyectó de 3.00 m, correspondiente al ancho de tractores y maquinaria pesada, con lo que se facilita la compactación del material y aumenta la confiabilidad en el filtro.

El objeto de un respaldo a base de grava y arena, es evitar la contaminación de dos materiales en contacto, al pasar el fino a ocupar los huecos del que tiene partículas de mayor tamaño. Si llegaran a filtrarse finos através del material grueso, se iría erosionando el corazón, y se produciría el efecto de tubificación, que es la aparición de ductos por donde pasan los finos, que al ser cada vez de mayores dimensiones, ponen en riesgo la seguridad de la estructura. Sin embargo, por la escases de grava y arena, se ha propuesto que en caso en que no se pueda obtener un mayor volumen de este material para cubrir las necesidades de proyecto, el respaldo de dicho material se

deberá restringir, hasta un volumen semejante al disponible, y el resto se complementará con enrocamiento a volteo.

Debido a la naturaleza erosionable de los materiales que componen a la estructura, se requiere de un material que proteja de la erosión producida por el oleaje así como de los efectos del intemperismo. Esta es la razón por la que el talud aguas arriba de la presa de tierra, debe protegerse contra la acción del oleaje por medio de un zampeado o una losa de concreto. Para el Proyecto se diseñó una capa a base de roca a volteo, que aparte nos proporcionará mayor estabilidad a la cortina por su gran peso.

II.2.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD.

Hablar sobre una presa de tierra, es referirnos a una de las obras más importantes en cuanto a su complejidad técnica, así como por el monto de inversiones que se requieren para su construcción. Como es de suponer, la Mecánica de Suelos desempeña un papel fundamental en el diseño de este tipo de obras.

Por los riesgos que conlleva la falla de una obra como lo es una cortina, éstas deben ser proyectadas con la mayor seguridad y cuidado que sea posible. No obstante, por la cuantiosa inversión que se requiere para la construcción de la obra, no se pueden adoptar criterios conservadores, pues representan una mayor erogación de dinero; esto crea la necesidad de buscar un balance de seguridad y economía que permitan alcanzar un proyecto óptimo.

Se conoce bajo el nombre genérico de taludes, a las superficies inclinadas con respecto a la horizontal que adoptan las estructuras térreas, ya sea en forma natural o donde intervenga la mano del hombre. Así se dividen los taludes en naturales (laderas) y artificiales (cortes y terraplenes).

Si en una o más superficies continuas de un terraplén y la de su cimentación, el valor de los esfuerzos cortantes iguala la resistencia media disponible, tiene lugar un deslizamiento o falla por cortante. Su manifestación externa puede ir desde una distorsión pequeña en los taludes, hasta un desplazamiento masivo de la cortina.

En el Proyecto "El Chihuero", los taludes diseñados para la cortina de Materiales Graduados, son la parte medular del proyecto. Estos taludes deben planearse para las combinaciones de esfuerzos más desfavorables que puedan presentarse en la vida de la estructura. Estas combinaciones son muy diversas, ya que al intervenir la fuerza de empuje del agua, así como su filtración en la cortina, aunado a las condiciones de lleno total o vaciado rápido, se producen condiciones de esfuerzos muy variadas. Por ello, el proyectista tiene como punto esencial de su labor la correcta determinación de las propiedades de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, para así, aplicar un método de estabilidad de taludes que verifiquen la seguridad de su diseño.

Considerando la estabilidad de los taludes, el diseño debe cumplir con las siguientes premisas:

- 1.- Los taludes laterales deben ser los necesarios para que la cortina sea estable.
- 2.- Las dimensiones deben ser suficientemente grandes para gobernar la infiltración.
- 3.- La amplitud de la base debe distribuir el peso de la cortina sobre un área suficiente para prevenir el sobrefatigamiento de la cimentación.

Tipos y causas más comunes de fallas.

De acuerdo al mecanismo de falla que presentan, se distinguen las fallas por: deslizamiento superficial, por rotación y por traslación.

Deslizamiento Superficial: Las partículas del material que conforman al talud, están sometidas a fuerzas que tienden a hacerlos deslizar, siendo más intensa esta acción en los bordes del talud por falta de presión normal confinante.

Deslizamiento por Rotación: Este tipo de fallas, así como las de traslación, suceden en lapsos muy cortos, afectando incluso masas de suelos considerables. Estos deslizamientos se presentan en una superficie de falla cilíndrica, pudiendo interceptar hasta el pie de talud y afectar al terreno donde se sustenta éste (falla de base). Si este tipo de fallas ocurre en el cuerpo del talud, se conocen como fallas locales.

La causa de los deslizamientos se atribuye a una reducción de la resistencia no drenada, pero también a concentraciones de esfuerzos producidos por el arqueo del terraplén, consecuencia del asentamiento diferencial de la cimentación.

Las fallas locales se producen por las excesivas presiones de poro existentes durante la construcción, disminución de su resistencia, fuerzas de filtración, empuje hidrostático, sismo, o deficiencias en la construcción de la cortina.

Deslizamiento por Traslación: Ocurre a lo largo de superficies de deslizamiento horizontales o muy poco inclinadas, contenidas en los estratos más débiles próximos a la superficie del terreno.

Condiciones de trabajo.

Desde la construcción de la presa hasta el momento de encontrarse llena, las condiciones de esfuerzos sobre sus materiales, van cambiando con el tiempo y circunstancias constructivas. Existen varios aspectos que pueden producir la falla de la cortina, pero la falla por deslizamiento de taludes es quizá la más estudiada de todas las que se presentan en presas de tierra. La razón es que es el tipo de falla más susceptible de análisis y cuantificación por los métodos existentes.

Por la información con que se cuenta, se sabe que las fallas por deslizamiento ocurren básicamente en las primeras etapas de la vida de la presa, y providencialmente, se presentan cada vez más raramente, lo que permite tener tranquilidad ante la seguridad de los métodos de análisis adoptados.

Las fallas por deslizamiento de taludes suelen dividirse en tres tipos principales:

- 1.- Fallas durante la construcción.
- 2.- Fallas durante la operación.
- 3.- Fallas después de un vaciado rápido.

Fallas durante la construcción. Estas fallas son menos frecuentes que las ocurridas durante la operación, y nunca han sido catastróficas. Estas fallas se presentan en cimentaciones sobre arcillas blandas, lo cual no es el caso del Proyecto "El Chihuero". Estas fallas pueden ser lentas o rápidas, y son producto de las presiones ejercidas sobre la cimentación que ocasionan asentamientos.

Fallas durante la operación. Esencialmente se presentan dos tipos: Las fallas profundas con superficie de falla invadiendo, generalmente, terrenos de cimentación arcillosos; y fallas superficiales, que afectan pequeños volúmenes del talud. Las fallas profundas suelen ocurrir a presa llena, y se relacionan con las presiones neutrales producto del flujo del agua a través de la cortina y el terreno de cimentación; el deslizamiento no alivia esas presiones, y frecuentemente se presentan otras ulteriores. El talud afectado es prácticamente el de aguas abajo. Estas fallas profundas son relativamente lentas, del orden de un metro diario, pudiéndose prolongar por semanas, y pueden llegar a abarcar todo el ancho de la corona, reduciéndose así la altura del bordo.

Fallas después de un vaciado rápido. De acuerdo a las fallas de importancia reportadas por deslizamiento de talud aguas arriba, éstas son resultado de un vaciado rápido. Aunque este tipo de falla no ha causado el colapso de la presa o pérdida de agua en el almacenamiento, pueden hacer peligrar la seguridad de la cortina al tapar conductos y galerías. La probabilidad de que se presenten fallas repetidas es casi nula, pues en la primera falla de un vaciado rápido se disipan las presiones neutrales a consecuencia del flujo.

El llamado vaciado rápido representa la pérdida de altura del orden de 10 a 15 cm/día, a partir del máximo hasta la mitad de altura de la cortina. Los deslizamientos suelen ser lentos y su superficie de falla es profunda, interesando el terreno de cimentación, y abarca a veces, hasta la mitad del ancho de la corona.

Prácticamente este tipo de fallas profundas ocurren en presas construidas sobre arcillas plásticas con gran contenido de agua, lo que no es nuestro caso, y se constituye como motivo a favor, que nos da mayores márgenes de seguridad. No obstante, debido a que en los materiales que conforman la cortina está una arcilla en el corazón impermeable, debe ser revisado su factor de seguridad en relación a la estabilidad de los taludes.

De acuerdo al estudio geológico al que se hizo mención en el anterior capítulo, el sitio del Proyecto "El Chihuero" se encuentra en una zona de gran intensidad sísmica; por ello, deben también estudiarse los efectos que produciría la incidencia de los temblores sobre el cuerpo de la cortina.

De acuerdo con experiencias de fallas producidas por los temblores en las presas de tierra, se presentan generalmente las siguientes características:

- 1.- Las fallas más frecuentes son grietas longitudinales en la corona del bordo, presentándose asentamientos en el mismo.
- 2.- La destrucción total de una presa es muy improbable.
- 3.- La componente horizontal del sismo en dirección perpendicular al eje de la cortina, causa los principales daños en las presas de tierra. La amplitud y periodo del movimiento son mayores en la cresta que en el terreno de la cimentación.

Conforme a las ideas anteriormente expresadas, el proyectista debe verificar que la estructura, tenga un factor de seguridad que prevenga las fallas por estabilidad.

La primera señal de inminente deslizamiento de talud, suele ser un abundamiento en las proximidades del pie del mismo, y el desarrollo de grietas en su corona.

Al desarrollar este capítulo, se explicará detalladamente el método práctico para estudiar un deslizamiento según una superficie circular. Por lo general, la aplicación del método descrito es suficiente para evaluar la seguridad de las estructuras térreas contra deslizamiento.

Método Sueco, Procedimiento de las Dovelas Diferenciales.

Se conoce como Método Sueco a aquel en que las superficies de falla son cilíndricas; aunque existen varios procedimientos, sólo trataremos el de las Dovelas Diferenciales.

El procedimiento expuesto a continuación, es el de aplicación rutinaria en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, por lo cual se han desarrollado programas para computadora para facilitar su empleo, y reducir el tiempo de análisis.

El método de las Dovelas Diferenciales es un procedimiento gráfico para estimar los valores de las fuerzas normales y tangenciales. Para este análisis se eligen dovelas de ancho diferencial.

Considerando una dovela de ancho dx , cuyo peso es dw , al descomponerse éste en una normal y otra tangencial a la superficie de falla, se obtienen las fuerzas dN y dT , las cuales son las fuerzas actuantes normal y tangencial respectivamente, en la base de la dovela; el factor de seguridad de esta dovela puede expresarse como:

$$F.S. = \frac{\sigma d l \tan \phi + c d l}{\sigma T d l}$$

donde:

$$\sigma n = \frac{dN}{d l} = \frac{\gamma h dx \cos \alpha}{d l}$$

$$\sigma t = \frac{dT}{d l} = \frac{\gamma h dx \sin \alpha}{d l}$$

Por lo que el factor de seguridad queda:

$$F.S. = \frac{\gamma h dx \cos \alpha \tan \phi + c d l}{\sigma h dx \sin \alpha}$$

El factor de seguridad para la masa inestable será:

$$F.S. = \frac{\tan \phi \int_a^x \gamma h \cos \alpha dx + c l}{\int_a^x \gamma h \sin \alpha dx} \quad (1)$$

Cada una de las integrales de la ecuación anterior representa un área, la cual se puede medir con un planímetro, o calcularse también por incrementos finitos; es por esta razón que a este método gráfico se le conoce como "Método del Planímetro".

Para resolver gráficamente la ecuación anterior, se procede de la siguiente forma:

- 1.- Se elige un número arbitrario de puntos a lo largo de la superficie de falla, cuya vertical pase por los puntos donde cambia el material. Por cada uno de los puntos elegidos, se traza una vertical que intercepte al talud y al círculo, prolongándose hasta interceptar una línea horizontal trazada sobre el cuerpo del terraplén.
- 2.- A escala, se determina la altura "h" del material comprendido entre el talud y el círculo de falla; para cada punto se multiplicará por el peso volumétrico de los materiales que cruce, de acuerdo a la condición en que se encuentre, sea ésta seco, húmedo, saturado o sumergido, para obtener el valor "h". El valor "h" final es la suma de los valores individuales de cada uno de los materiales interceptados en la línea vertical que pasa por el punto en cuestión. Por cada punto, a una escala arbitrariamente elegida, se mide el valor "h" correspondiente y se descompone en dos vectores, uno normal y el otro tangencial al círculo, utilizando como guía el radio del círculo.
- 3.- Con los valores a escala (h_{cos} y h_{sen}), se representa gráficamente y a la misma escala sobre la línea horizontal, en la proyección del punto correspondiente. Al unirse todos los puntos obtenidos con una curva, se tendrán las integrales buscadas:

$$\int_0^x \gamma h_{cos} \alpha \, dx \quad \text{y} \quad \int_0^x \gamma h_{sen} \alpha \, dx$$

- 4.- Con un planímetro, se miden las áreas bajo cada curva y se obtienen de esta forma los valores de las integrales.
- 5.- El término "cl" es el producto de la cohesión por la longitud total del arco del círculo que pasa por material cohesivo; la longitud "l" se obtiene gráficamente.
- 6.- Por último, se sustituyen valores en la ecuación (1), según la condición analizada, y se concluye la revisión.

Por medio de este procedimiento se facilita la consideración de los efectos sísmicos, ya que el procedimiento hace que gráficamente se reduzcan las fuerzas normales N, y se incrementen las tangenciales T.

La representación gráfica de las fuerzas, se hace considerando nuevos valores de N y T obtenidos por la presencia del sismo, y se prosigue con el análisis en la forma ya expuesta.

Para el análisis de estabilidad de taludes en el Proyecto "El Chihuero", se utilizó un programa de computación, el cuál, mediante el análisis de una gran cantidad de círculos de falla, proporciona los círculos críticos de acuerdo a la condición analizada. Como resultado de la corrida, nos proporcionó como críticas las condiciones iniciales tanto para el talud aguas abajo como el de aguas arriba.

Para corroborar los factores de seguridad aportados por la computadora, se verificaron manualmente dichos círculos.

Primeramente, enunciaremos el procedimiento de cálculo de la estabilidad del talud aguas abajo, bajo condiciones iniciales a presa llena, figura (5).

Una vez definidas arbitrariamente las dovelas diferenciales, se obtuvo el peso de cada una de ellas, conforme a lo explicado. Los resultados de sus pesos se pueden observar en la figura (9).

Dibujando a escala los pesos de cada dovela, se incrementaron gráficamente por el efecto del sismo, considerando de acuerdo a la zona, un Coeficiente Sísmico de 0.15 (figura(7)) que es el adecuado para el área de proyecto.

Una vez considerado el efecto sísmico en dirección de la falla de talud, se encuentran gráficamente las fuerzas normales y tangenciales de cada dovela, las cuales se proyectan sobre la línea horizontal arriba del dibujo de la cortina.

Los puntos correspondientes a fuerzas normales y tangenciales se unen para formar un área continua.

El área correspondiente a las fuerzas normales y tangenciales se miden con un planímetro. Una vez realizada esta operación, se multiplica el área de fuerzas normales por su ángulo de fricción correspondiente, y se suman. Los resultados se pueden observar en la figura (6).

Para encontrar el factor de seguridad nos referiremos a la siguiente fórmula, que es una simplificación a la ecuación (1).

$$F.S. = \frac{\sum N \tan \phi + cL}{\sum T + RTH} \quad (2)$$

donde:

cL = Resistencia al deslizamiento del material cohesivo.

RTH = Resultante tangencial de la presión hidrostática.

De la ecuación (2) ya se encontró la suma de las fuerzas normales multiplicadas por su ángulo de fricción. Para encontrar la resistencia del corazón impermeable, encontramos primeramente, la longitud del círculo de falla que pasa por el material referido, encontrando:

$$L = 28.116 \text{ m}$$

Si tenemos que $c = 4.5 \text{ T/m}^2$ tenemos que

$$cL = 126.52$$

Sumando este valor al de fuerzas normales, encontramos el siguiente Momento resistente:

$$Mr = 731.28 \text{ Ton-m}$$

Para encontrar el momento motor, debemos encontrar la resultante tangencial de la presión hidrostática.

Tenemos que:

$$RPH = \frac{\gamma_w \times H \times H'}{2} \quad (3)$$

donde:

RPH : Resultante total de la presión hidrostática.

H : Altura de la columna de agua sobre el talud de material impermeable y círculo de falla.

H' : Longitud entre el círculo de falla y la superficie del agua sobre el talud de material impermeable.

Al medir encontramos

$$H = 21.40 \text{ m}$$

Condición Inicial

Talud Aguas Abajo

Dovela	3 (TIm)	2 h (m)	2 h(TIm)	2 h(TIm)
1	0.90	10.00	9.00	9.000
2	0.90 0.70	7.00 10.00	6.30 7.00	13.300
3	0.90 0.70 0.75	5.50 7.25 8.00	4.95 5.075 6.00	16.025
4	1.90 1.75 0.75 2.00	1.25 0.75 6.50 19.00	2.375 1.31 4.875 38.00	46.560
5	1.90 1.75 2.00	1.25 7.25 23.75	2.375 12.687 47.50	62.562
6	1.90 1.70 1.75	8.00 10.00 8.00	15.20 17.00 14.00	46.200
7	1.90 1.70	10.25 13.75	19.475 23.375	42.650
8	1.90	16.50	31.35	31.350
9	1.90	10.00	19.00	19.000

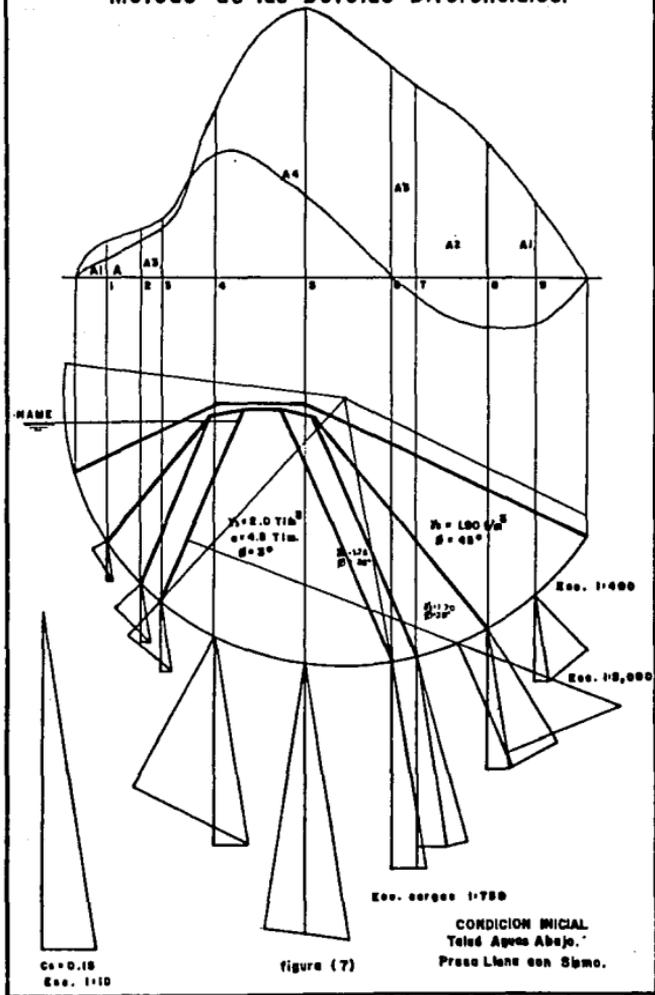
figura (5)

Resumen de Areas.

	Area		A Tan
A1	182.37	45°	182.37
A2	320.05	38°	250.05
A3	156.43	35°	109.53
A4	1,203.00	3°	63.05
		N Tan.	604.76
		At.	375.75

Figura (6)

Método de las Dovelas Diferenciales.



$$H' = 23.35 \text{ m}$$

Sustituyendo estos valores en (3) calculamos

$$RPH = 249.85$$

Para graficar la fuerza, producto de la presión del agua, situamos una línea perpendicular al talud del material impermeable, localizado a 2/3 de la longitud de talud mojado. A partir del círculo de falla, trazamos sobre la línea el valor de RPH. A partir del punto final, encontramos gráficamente la resultante tangencial:

$$RTH = 177.00 \text{ m}$$

Si sumamos este valor al de las fuerzas tangenciales encontramos la magnitud del Momento motor.

$$At = 375.75 \text{ u}^2$$

$$Mm = 552.75 \text{ Ton-m}$$

Y así tenemos que:

$$F.S. = \frac{Mr}{Mm} = \frac{731.28 \text{ Ton-m}}{552.75 \text{ Ton-m}}$$

$$F.S. = 1.32$$

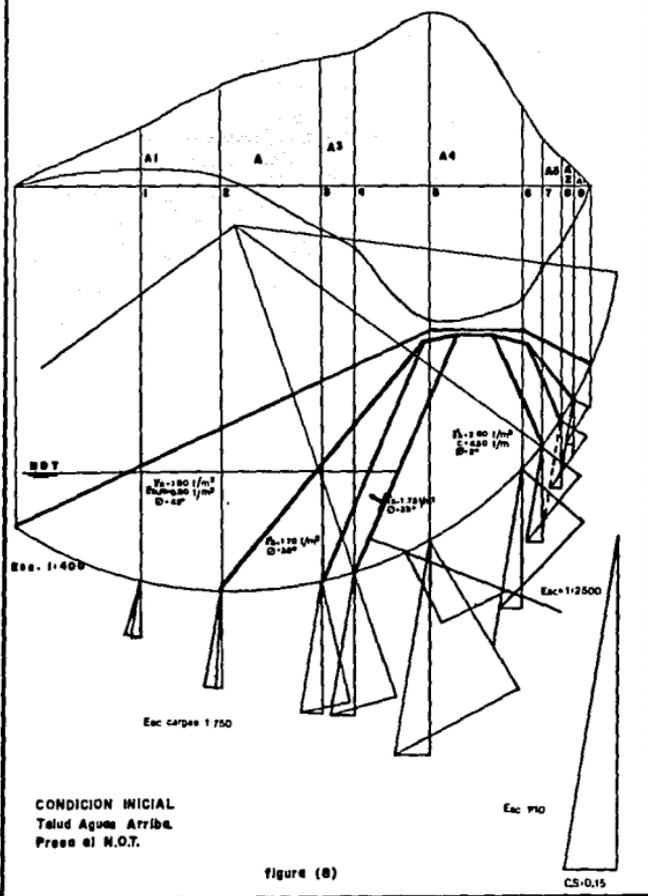
Como el valor es mayor a la unidad, se considera seguro y justifica el talud aguas abajo.

Para el talud aguas arriba (figura(8)), efectuamos los cálculos de la misma manera a la del estudio anterior, considerando las siguientes dos diferencias:

- El efecto del sismo se considera contrario al usado para el talud aguas abajo.
- El nivel de agua se consideró al Nivel de Obra de Toma (NOT) de acuerdo al resultado arrojado por la computadora.

Al realizar la revisión encontramos el factor de seguridad para el talud aguas arriba.

Método de las Dovelas Diferenciales.





**TIEMPOS DE RECURRENCIA EN AÑOS, DE
 TEMBLORES EN VARIAS ZONAS DE
 LA REPUBLICA MEXICANA**

INTENSIDAD ESCALA DE FIGTER	ZONAS			
	0	1	2	3
4	9	3	1.1	0.4
5	26	9	3	1.1
6	73	26	9	3
7	208	73	26	9
8		208	73	26

REGIONALIZACION SISMICA

Figura (9)

F.S.= 1.06

El valor encontrado, califica al talud como adecuado, que aunque tiene un margen de seguridad estrecho, garantiza estabilidad.

De esta manera, queda justificada la sección propuesta para la Cortina de Materiales Graduados del Proyecto "El Chihuero".

II.3 ANCHO DE LA CORONA CONVENIENTE DE ACUERDO A LA ALTURA DE LA CORTINA.

Una vez que se ha determinado la capacidad conveniente del vaso de almacenamiento, y establecidos los taludes de los materiales que conforman a la cortina, se puede calcular la altura estructural de la misma, y así proyectar el ancho de la corona conveniente. Conociendo las dimensiones de la sección de la cortina, es posible cuantificar la cantidad necesaria de materiales para su construcción.

Altura Estructural de la Cortina.

La altura total de una cortina, se divide y calcula de acuerdo a los siguientes lineamientos:

$$H_d = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 \quad (1)$$

donde:

H_d= Altura estructural de la cortina.

H₁= Altura correspondiente a la capacidad de azolves.

H₂= Altura de la capacidad útil.

H₃= Altura de la capacidad adicional que se puede almacenar.

H₄= Altura de ola más bordo libre adicional.

Para el cálculo, definiremos como nivel de desplante la cota arbitraria 71.08 m.s.b.n.

Anteriormente, para el funcionamiento del vaso, se calculó la capacidad de azolves (545,000 m³). Con esa capacidad de azolves se determinó el siguiente nivel:

N azolves= 80.20 m.s.b.n.

Si a este nivel le restamos el nivel de desplante obtendremos:

H1= 9.12 m

Como sabemos, la capacidad normal para el Proyecto "El Chihuero", se determinó en 6.5 millones de m³. Esta capacidad nos definió nuestro nivel de aguas normal:

NAM= 92.70 m.s.b.n.

La capacidad útil queda comprendida entre el nivel de aguas normales y el nivel de azolves, por lo que

H2= 12.50 m

Para calcular la capacidad adicional que se puede almacenar (superalmacenamiento), se requiere conocer la avenida máxima probable. Para nuestro caso, a partir de datos de descarga sobre el vertedor obtendremos la altura "H3".

Se tiene la siguiente fórmula de vertedores:

$$Q = c \times L \times [H^*]^{(3/2)} \quad (2)$$

de donde:

$$H = \left(\frac{Q}{c \times L} \right)^{2/3} \quad (3)$$

donde:

H= Altura del superalmacenamiento.

Q= 523.64 m³/seg (gasto regularizado)

c= 2.00 (coeficiente de gasto del vertedor)

L= 60.00 m (longitud de la cresta vertedora)

Los datos anteriores serán analizados y justificados en el Capítulo II del presente trabajo. Por ahora nos conformaremos con conocerlos para calcular la altura del superalmacenamiento.

Al sustituir los valores en la ecuación (3) tenemos

H3= 2.67 m

Lo que nos da el siguiente nivel de aguas máximas extraordinarias:

NAME= 95.37 m.s.b.n

Por último calcularemos la altura de ola y el bordo libre adicional.

La altura de las olas generadas por los vientos en un vaso, depende de la velocidad de los mismos, su duración, profundidad del agua, anchura del vaso y su fetch.

Se define como fetch a la distancia sobre la que el viento puede actuar sobre una masa de agua. Generalmente se refiere a la distancia normal de la playa de barlovento hacia la estructura que se proyecta, en nuestro caso la cortina.

Para auxiliarnos en nuestro cálculo, utilizaremos la fórmula de altura de ola:

$$H = (0.005v - 0.068) F \quad (4)$$

donde:

F= fetch (en Km)

H= altura de ola

v= velocidad del viento (en km/hr)

Para el Proyecto "El Chihuero", se ha determinado un fetch F= 1.93 Km.

Las velocidades máximas que se presentan en la República Mexicana y son problemáticas para este tipo de construcciones son: 100, 115 y 130 Km/hr.

Calculando la altura para $v= 115$ Km/hr y sumándolas al bordo libre adicional promedio correspondiente tenemos:

$$B.L.A. + H_{ola} = 2.01 \text{ m}$$

$$H_4 = 2.01 \text{ m}$$

Por lo que el nivel de corona lo podemos cerrar a:

$$N. \text{ corona} = 97.40 \text{ m.s.b.n.}$$

Conociendo los datos de alturas, las sustituimos en la ecuación (1) para encontrar la altura estructural de la cortina.

$$H_d = 26.30 \text{ m}$$

A partir de la altura estructural de la cortina, podemos encontrar el ancho de la corona.

B.L.A. (m)	100 Km/hr	115Km/hr	130 Km/hr
Promedio	1.57	1.31	1.02
Máximo	2.95	2.54	2.24
Mínimo	0.37	0.29	0.14

Figura 10
Valores para Bordo Libre Adicional

Ancho de la Corona.

El ancho de la corona depende de varias condiciones: la naturaleza de los materiales para los terraplenes y distancia mínima admisible a través del terraplén con el agua al nivel normal del vaso, altura e importancia de la presa, la posibilidad de utilizarla como tramo de camino, y la factibilidad de su construcción.

Para el cálculo de la anchura siguiente se ha propuesto la siguiente fórmula para presas de materiales flexibles.

$$B_o = \frac{H_d}{6} + 3$$

donde:

B_o= Ancho de la cortina.

Sustituyendo el valor de la altura estructural de la cortina, se encontró:

$$B_o = 8.26 \text{ m}$$

Para el Proyecto "El Chihuero" se propuso un ancho de cortina de 10.00 m lo que se considera un valor adecuado y correcto, pues es mayor al que encontramos, justificando así esta dimensión.

En la corona se ha proyectado un revestimiento, el cual tiene el propósito de evitar la infiltración de agua al corazón impermeable a través de la corona.

La aplicación de la tecnología a la solución de los problemas del agua solamente será útil en la manera que contribuya con un proceso de modernización participativa que beneficie a todos los mexicanos

C.N.A.

CAPITULO III

CAPITULO III.

PROYECTO Y DISEÑO DEL VERTEDOR DE DEMASIAS.

GENERALIDADES.

Para la mejor comprensión de este capítulo enunciaremos algunos aspectos que nos introducirán en el tema.

La función de los Vertedores de demasias para presas de almacenamiento y reguladoras, es dejar fluir el agua excedente o de avenidas que no cabe en el espacio destinado al almacenamiento, para conducirla por un conducto artificial al cauce original del río o algún drenaje natural.

Para presas de tierra y enrocamiento, la capacidad del Vertedor es de gran importancia, pues si el agua rebasara los bordos proyectados, se corre el riesgo de que sean destruidos. Por esta razón, el cuidado en este tipo de estructuras garantizará la seguridad de la presa.

No se justifica que por economía se propongan Vertedores con escasos márgenes de seguridad, pues en general, el costo de un Vertedor de amplia capacidad es poco mayor a uno de menores dimensiones.

El Vertedor, además de tener una capacidad adecuada, debe ser hidráulica y estructuralmente eficiente, y debe ubicarse de manera tal que sus descargas no erosionen ni socaven el talud aguas abajo de la presa.

Por la misma naturaleza del funcionamiento hidráulico de un Vertedor, su superficie debe ser resistente a las velocidades erosivas creadas por el flujo de agua, por ello, generalmente se proyecta su construcción a base de estructuras de concreto.

La frecuencia de uso del Vertedor es determinada por las características de escurrimiento propios de la cuenca y el aprovechamiento del vaso. Sin embargo, como medida preventiva ante la posibilidad de una avenida su presencia es indispensable.

III.1 ESTUDIO DEL TIPO DE VERTEDOR CONVENIENTE DE ACUERDO A LA TOPOGRAFIA DE LA BOQUILLA.

Una vez que se ha comprendido la importancia que tiene un Vertedor, corresponde ahora elegir el tipo que más convenga a nuestro proyecto en cuestión.

Al determinar la mejor combinación de capacidad de almacenamiento y capacidad del Vertedor para afrontar la avenida de proyecto elegida, se deben considerar todos los factores pertinentes de hidrología, hidráulica, proyecto y costos posibles.

Las condiciones del emplazamiento influyen en gran manera a la localización, tipos y componentes del Vertedor. Las pendientes de la superficie atravesada por los canales de descarga y control del Vertedor, la clase y volumen que represente la excavación, la posibilidad de erosión de las superficies excavadas y la necesidad de revestirlas, la permeabilidad y la resistencia de la cimentación, y la estabilidad de los taludes excavados; son todos estos, factores a considerarse en la selección, que aunados a un estudio económico del conjunto, y eficacia hidráulica estructural definirán el plan final.

La condición más importante al efectuar la selección del Vertedor, es sin lugar a dudas la topografía de la boquilla, o el lugar que se designe para su erección.

Para el Proyecto "El Chihuero" se ha dispuesto la construcción del Vertedor sobre la margen derecha de la boquilla.

Esta margen se conforma por una ladera poco escarpada. Esta condición topográfica hace pensar de inmediato en la conveniencia de un Vertedor de Medio Abanico, pues es el que aparentemente se ajusta por sus propias características.

Generalmente, para presas de tierra y enrocamiento, se han proyectado Vertedores de Canal Lateral. Estos Vertedores, se diseñan cuando la ladera

sobre la que se localizan tiene pendientes muy pronunciadas, por lo que se requiere una excavación importante. Para nuestro Proyecto, como ya lo hemos dicho, la ladera es poco inclinada, por lo que la proposición de un Vertedor de este tipo significaría tener que excavar un gran volumen, lo que incrementaría los costos de construcción, representando una solución no económica.

El proyecto de un Vertedor de Medio Abanico, supone una excavación, pero significativamente menor a la requerida por un Vertedor de Canal Lateral. Por su propia geometría se constituye como la mejor opción para las condiciones geográficas de la boquilla, por lo que es muy justificable su elección para el Proyecto "El Chihuero".

Después de elegir el tipo de Vertedor, el ingeniero proyectista debe pensar en las características de evacuación, que dependen de la forma especial de control que se halla elegido para la descarga, para luego determinar la máxima descarga de Vertedor y el nivel máximo del vaso.

Es necesario hacer presupuestos de las diferentes combinaciones de vertedores de distintas capacidades de acuerdo a la altura de una presa, para proporcionar una base de elección del tipo de Vertedor económico, de acuerdo a la relación óptima de la capacidad del vertedor y la altura de la presa. Sin embargo la decisión, por escases de tiempo, generalmente recae en el criterio y experiencia del proyectista.

III.2 ESTUDIO DEL VERTEDEDOR ESTIMADO COMO CONVENIENTE DEL TIPO MEDIO ABANICO.

Para el Proyecto "El Chihuero", se ha elegido la opción de construir un Vertedor de Medio Abanico, de cresta curva con perfil Creager y trabajando libremente.

Como se sabe, los Vertedores de excedencias en las presas no vertedoras se proyectan con un amplio margen de seguridad, considerando usualmente, una avenida máxima probable que puede ocurrir en 10,000 años.

Para la determinación de las avenidas de diseño, con base en mediciones efectuadas en la estación "El Pejo" se calcularon las intensidades y lluvias de diseño, mediante un procesamiento estadístico de lluvias máximas diarias, ajustándose a varias funciones de probabilidad para obtener los valores correspondientes a periodos de retorno de 500, 1,000 y 10,000 años. La

distribución en el tiempo para las lluvias máximas se hicieron de acuerdo al Método del U.S. Soil Conservation Service.

Para comenzar el proyecto de Vertedor, se parte teniendo como base el valor de la avenida máxima probable encontrada en el estudio hidrológico del proyecto.

Avenida Máxima Probable (10,000 años)= 760 m3/seg

Para encontrar la altura sobre el Vertedor, se realizó la simulación del paso de la avenida mencionada por el vaso del proyecto, con el fin de determinar los volúmenes superalmacenados, el gasto de diseño de la obra de excedencias, y el nivel máximo que alcanzarán las aguas.

De los resultados de la simulación, se observó que al considerar una longitud de cresta libre de 60.00 m, se logra regularizar 523.64 m3/seg, equivalentes al 68.5 % de la avenida máxima probable, para un periodo de retorno de 10,000 años.

Para el cálculo del Nivel de Aguas Máximas (no se considera velocidad de llegada) utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Q = c \times L \times [H^{\frac{3}{2}}] \quad (1)$$

donde:

Q= 523.64 m3/seg (gasto regularizado)

L= 60.00 (longitud del vertedor)

c= 2.00 (constante de vertedor)

H= (carga sobre el vertedor)

De (1) podemos despejar "H" y encontrar

$$H = \left(\frac{523.64}{2 \times 60} \right)^{2/3} = 2.67 \text{ m}$$

Sumando esta altura al Nivel de Aguas Normales (NAN) o cresta vertedora, ya calculado, tendremos el Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME): $\text{Elev. NAME} = 92.70 + 2.67 = 95.35$

Antes de proseguir con el cálculo hidráulico, es conveniente mencionar los elementos que constituyen al Vertedor de Abanico.

Los elementos que constituyen a un Vertedor de Abanico son: Canal de acceso, cimacio, colchón, sección de control, los arcos del abanico, la transición, el canal de descarga, el canal de salida y el dissipador de energía.

Todos estos componentes, a excepción del canal de acceso y el de salida, serán revestidos de concreto.

- **Canal de Acceso:** La corriente debe de entrar al cimacio en las condiciones más favorables, es decir, libremente en toda su longitud y en dirección normal en todos sus puntos, ya que si cerca del cimacio hubiera erosión, se obligaría a la corriente a entrar a él, con dirección desviada en algunos sitios, y además se formarían zonas sin corriente, aumentando las cargas hidráulicas sobre la cresta.
- **Cimacio:** Esta estructura es un muro por el que derrama el agua excedente de la presa.
- **Colchón:** Este elemento tiene como función disipar la mayor cantidad posible de la energía de la corriente que cae del cimacio, por medio de un salto hidráulico.
- **Sección de control:** La sección de control es la línea que limita al colchón y la transición. En esta parte la corriente tiene el mínimo contenido de energía específica y se forma el tirante crítico.
- **Arcos del Abanico:** Generalmente son curvas circulares o elípticas, y limitan el colchón y la transición.
- **Transición:** Es la zona comprendida desde la sección de control hasta el principio del canal de descarga.
- **Canal de descarga:** Tiene como objetivo el desalojar rápidamente la corriente.
- **Canal de salida:** Se utiliza para conducir la corriente hasta el río para evitar todo peligro de erosión.

- **Disipador de energía:** En caso de que la roca por donde fluye el agua no sea de buena calidad, para protegerla de la erosión se colocan los disipadores de energía que reducen considerablemente la velocidad de salida del agua disminuyendo el riesgo de la erosión.

Ahora que se tiene una mejor idea de las partes que constituyen al Vertedor de Medio Abanico, procedemos a su cálculo hidráulico.

Las normas y especificaciones para el diseño de los Vertedores de Abanico, fueron aportados por el Ing. Salvador Ulloa en 1956, después de trabajos de investigación sobre el tema.

El diseño de este tipo de Vertedores consiste en lo siguiente:

- 1.- Utilizar cimacios de altura mínima, para que la corriente caiga de ellos al colchón con la menor energía posible y sea más fácil disiparla en el colchón, y para utilizar la mínima cantidad de concreto ya que sus secciones siguen los perfiles Creager, en las que como se sabe se hacen muy amplias al aumentar mucho la altura.
- 2.- Determinar que en el Vertedor hay un gasto unitario por metro de longitud, que no debe excederse.
- 3.- Suponer que la sección de control es un Vertedor y el colchón un vaso de almacenamiento pequeño.
- 4.- El colchón requiere las mínimas excavaciones y se utiliza toda su área para disipar toda la energía de la corriente.
- 5.- Determinar la forma y dimensiones que deben tener los arcos del abanico, para que la sección de control quede situada correctamente para que la corriente salga fácilmente y no se tengan zonas sin escurrimiento.
- 6.- Revisar que se cumplan ciertas relaciones de longitudes entre la cresta del cimacio, la sección de control, el ancho de la transición y el ancho del canal de descarga.

A continuación se detallará la secuela de cálculo para cada elemento.

III.2.1 CALCULO HIDRAULICO DEL VERTEDOR.

Cimacio.

Un factor importante en el funcionamiento del vertedor es el gasto unitario que pasa por la cresta del cimacio. Anteriormente obtuvimos la longitud de cresta vertedora (60.00 m) y el gasto regularizado (523.64 m3/seg) por lo que tenemos un gasto unitario "q":

$$q = 8.727 \text{ m}^3/\text{seg}/\text{m}$$

Primeramente procederemos a calcular la altura del cimacio. Para su cálculo procederemos a utilizar un método simplificado propuesto por el Ing. Zambrano Peñaloza, y de acuerdo a los siguientes datos:

Datos:

$$Q = 523.64 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$L = 60.00 \text{ m}$$

$$H = 2.67 \text{ m}$$

$$q = 8.727 \text{ m}^3/\text{seg}/\text{m}$$

Primeramente calcularemos el tirante crítico "dc1" sobre la cresta del Vertedor de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$dc1 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (2)$$

Si sustituimos valores en (2) tenemos:

$$dc1 = 1.98 \text{ m}$$

Acto seguido calcularemos el tirante crítico "dc2" sobre la sección de control "b". Tenemos en el Proyecto "El Chihuero" $b = 13.50 \text{ m}$.

Conforme a la siguiente relación, y mediante un proceso iterativo obtendremos "dc2".

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \quad (3)$$

donde:

A= Area crítica en la sección de control.

T= Longitud de la superficie libre del agua en la sección de control.

Tenemos que al sustituir valores en el primer miembro de (3) tenemos:

$$\frac{Q^2}{g} = 27,950.95$$

Se ha proyectado una sección trapezoidal en la sección de control con un talud de 0.5 : 1, por lo que de acuerdo a las siguientes fórmulas podemos encontrar el área y la longitud de superficie del agua, para que al sistuirse en la ecuación (3) se cumpla la igualdad.

$$A = (b + kdc)dc \quad (4)$$

$$T = b + 2dck \quad (5)$$

donde:

b: Ancho del canal.

k: Constante del talud (0.5)

Se comienza proponiendo distintos tirantes críticos, por aproximaciones sucesivas hasta que se cumpla con la igualdad (3), y así encontramos:

$$dc_2 = 5.015$$

Por lo que tenemos:

$$\frac{A^3}{T} = 27,950.95$$

Con el valor del tirante crítico encontrado, casi se cumple la igualdad, por lo que lo consideraremos correcto.

Si se considera que aguas arriba de la sección de control, se tiene un régimen de aguas lento, la carga de velocidad es muy pequeña por lo que se pudiera pensar que

$$d_2 = \frac{3}{2} d_{c2} \quad (6)$$

Si sustituimos valores encontramos:

$$d_2 = 7.68 \text{ m}$$

Como este tipo de Vertedores permiten ahogar parcialmente el tirante crítico sobre su cresta, se recomienda reducir en dos terceras partes el tirante crítico sobre la cresta, quedando:

$$\frac{2}{3} d_{c1} = 1.32 \text{ m}$$

Si nos referimos a las elevaciones tenemos:

$$\text{Elev. Cresta Vertedor} = 92.70 \text{ m.s.b.n.}$$

$$\text{Elev. Sup. agua en cresta} = 94.68 \text{ m.s.b.n.}$$

$$\text{Elev. agua en zona de colchón} = 94.02 \text{ m.s.b.n.}$$

sin ahogar el d_{c1}

Conocidas las características anteriores, podemos deducir la plantilla del colchón.

$$\text{Elev. plantilla colchón} = 86.34 \text{ m.s.b.n.}$$

Restando esta elevación a la cresta del Vertedor, encontramos la altura del cimacio "a":

$$a = 6.36 \text{ m}$$

Con la altura del cimacio podemos calcular el perfil Creager que guardará nuestro cimacio.

Primeramente encontramos los puntos más elevados del cimacio, de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$x_c = 0.283 H_d$$

$$y_c = 0.126 H_d$$

y encontramos:

$$x_c = 0.756 \text{ m}$$

$$y_c = 0.336 \text{ m}$$

Ahora, se propone un talud del cimacio de 0.7 : 1, con el que obtendremos las coordenadas del punto de tangencia. Estas coordenadas son:

$$x_t = 1.6675 \times 2.67 = 4.45 \text{ m}$$

$$y_t = 1.2877 \times 2.67 = 3.44 \text{ m}$$

Acto seguido, calculamos las coordenadas de todo el cimacio desde su cima hasta el punto de tangencia. Los resultados se pueden ver en la figura (3).

Sección de control.

Como ya se ha dicho, la sección de control es esencialmente un Vertedor. La longitud que tenga y el sitio donde se coloque son decisivos en todo el funcionamiento del Vertedor.

Se recomienda como conveniente que se sitúe a una distancia de 3.00 a 5.00 m aguas abajo de los puntos extremos de los arcos del cimacio. Sin embargo, para el Proyecto "El Chihuero" se propuso que estuviera justo junto al último arco.

Para lograr un buen funcionamiento hidráulico, se deben cumplir las siguientes relaciones esenciales:

Fórmula empleada

$$X = \frac{185}{2Hd} = 0.85 Y \quad ; \quad \frac{Xf}{Hd} = \frac{1}{(0.925 T) \wedge (1/0.85)} \quad ; \quad \frac{Yf}{Hd} = \frac{1}{(0.925 T) \wedge (1/0.85)}$$

T	$\frac{X1}{Hd}$	$\frac{Y1}{Hd}$	T	$\frac{X1}{Hd}$	$\frac{Y1}{Hd}$
0.50	2.4773	2.6782	0.76	1.5137	1.0766
0.51	2.4203	2.5652	0.77	1.4906	1.0464
0.52	2.3656	2.4591	0.78	1.4682	1.0175
0.53	2.3132	2.3592	0.79	1.4464	0.9896
0.54	2.2629	2.2652	0.80	1.4251	0.9629
0.55	2.2146	2.1765	0.81	1.4044	0.9372
0.56	2.1681	2.0928	0.82	1.3843	0.9125
0.57	2.1234	2.0137	0.83	1.3647	0.8888
0.58	2.0804	1.9389	0.84	1.3456	0.8659
0.59	2.0390	1.8681	0.85	1.3270	0.8439
0.60	1.9991	1.8010	0.86	1.3089	0.8227
0.61	1.9606	1.7373	0.87	1.2912	0.8022
0.62	1.9234	1.6769	0.88	1.2739	0.7825
0.63	1.8876	1.6195	0.89	1.2571	0.7635
0.64	1.8529	1.5650	0.90	1.2407	0.7452
0.65	1.8194	1.5130	0.91	1.2247	0.7275
0.66	1.7870	1.4636	0.92	1.2090	0.7104
0.67	1.7557	1.4165	0.93	1.1938	0.6938
0.68	1.7254	1.3715	0.94	1.1788	0.6779
0.69	1.6960	1.3286	0.95	1.1642	0.6624
0.70	1.6675	1.2877	0.96	1.1500	0.6475
0.71	1.6399	1.2485	0.97	1.1361	0.6331
0.72	1.6132	1.2111	0.98	1.1224	0.6191
0.73	1.5872	1.1753	0.99	1.1091	0.6056
0.74	1.5620	1.1410	1.00	1.0961	0.5925
0.75	1.5375	1.1081	-	-	-

Coordenadas del punto de tangencia del cimacio con un talud.

Figura (1)

$$Y = 0.5 \frac{X^{185}}{0.85 H_d} ; H_d = \text{Carga de diseño}$$

X/Hd	Y/Hd	X/Hd	Y/Hd	X/Hd	Y/Hd
0.10	0.00706	1.10	0.5964	2.10	1.973
0.20	0.02546	1.20	0.7006	2.20	2.150
0.30	0.05391	1.30	0.812	2.30	2.334
0.40	0.09170	1.40	0.932	2.40	2.526
0.50	0.1387	1.50	1.058	2.50	2.724
0.60	0.1944	1.60	1.193	2.60	2.929
0.70	0.2585	1.70	1.334	2.80	3.359
0.80	0.3309	1.80	1.483	3.00	3.816
0.90	0.4115	1.90	1.639	3.50	5.075
1.00	0.5000	2.00	1.802	4.00	6.498

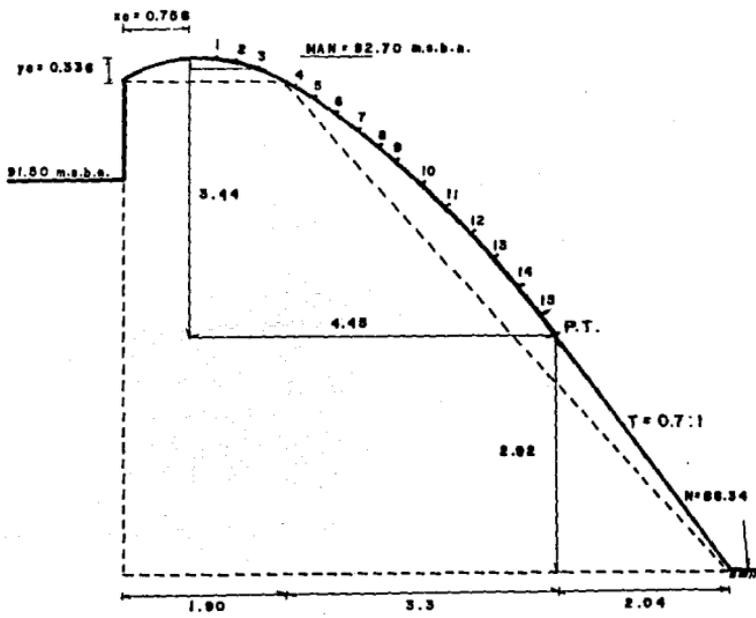
Datos para el trazo de un Cimacio tipo Creager usando la fórmula de Scimeni

figura (2)

Cálculo de Coordenadas

X	Y
0.27	0.02
0.53	0.07
0.80	0.14
1.07	0.24
1.34	0.37
1.60	0.52
1.87	0.69
2.14	0.88
2.40	1.10
2.67	1.34
2.94	1.59
3.20	1.87
3.47	2.17
3.74	2.49
4.01	2.82
4.27	3.19

Figura (3)



Perfil del Cimacio.

<u>Longitud de la cresta del cimacio</u>	-	1.82 a 1.83	(i)
Longitud de la sec. de control vert.			
<u>Longitud de la sec. de control vert.</u>	-	2.30 a 2.50	(ii)
Ancho del canal de descarga			

Refiriéndonos a la condición (i) encontramos un cociente con valor de 3.24, mientras que para la segunda condición tenemos un valor de 1.37 .

De acuerdo a las cotas originales proyectadas, concluimos que el diseño del Vertedor no cumple con los criterios de cálculo para este tipo de estructuras de excedencias, por lo que se recomienda bajar la plantilla del colchón a la elevación propuesta por la presente Tesis, así como buscar se cumplan las relaciones anteriormente referidas (i y ii) como una propuesta para desarrollar el proyecto definitivo en el laboratorio.

Arcos del Abanico.

Para el diseño de la geometría del Vertedor, debe tenerse en cuenta que los arcos del abanico jamás se estrecharán demasiado.

Para fines del presente trabajo, basta con verificar que se cumpla con la longitud de cresta libre ya determinada.

La geometría de un Vertedor de Abanico se encuentra compuesta por cuatro arcos de circunferencia, de los cuales dos tienen su concavidad contra la dirección del flujo de salida del agua, y son los que determinan la longitud del Vertedor.

Refiriéndonos a estos arcos, tenemos los siguientes radios y ángulos que forman:

$$R1= 25.783 \text{ m}$$

$$A1= 40^\circ$$

$$R2= 69.230 \text{ m}$$

$$A2= 34^\circ 45'$$

donde:

R: Radio.

A: Angulo descrito.

Como sabemos, la longitud de una circunferencia se define como

$$L_c = 2 \pi R$$

Si con la fórmula anterior hacemos una relación de acuerdo a los ángulos descritos, tenemos:

$$L_a = \frac{A \pi R}{180^\circ}$$

encontrando

$$L_1 = 18.00 \text{ m}$$

$$L_2 = 42.00 \text{ m}$$

Que sumados dan una longitud total de 60.00 m que corresponde a la longitud de cresta libre ya encontrada, por lo que se considera correcto su diseño.

Debemos mencionar, que aparte del estudio analítico del Vertedor, y los resultados propuestos por la presente Tesis, o por el proyecto original, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos tiene como norma no considerar definitivos los proyectos de obras de excedencias, si antes no son probados en un Laboratorio de Hidráulica por medio de modelos a escala.

III.2.2 CALCULO ESTRUCTURAL DEL VERTEDEDOR.

En el presente trabajo haremos el análisis estructural del cimacio, que es el elemento que está sometido a las mayores fuerzas de empuje, ante las cuales debe tener estabilidad.

Es de suponer que para garantizar una estabilidad adecuada en el cimacio, la roca donde se cimiente y el concreto con que se construya debe ser de buena calidad, es decir, resistente, e impermeable.

El cálculo estructural consistirá en la revisión de la estabilidad al volteo, así como su estabilidad frente al deslizamiento.

Estabilidad a Volteo.

Para garantizar la estabilidad frente al volteamiento, la suma de los momentos de las fuerzas que se oponen al volteo deben ser 1.50 veces mayor al momento producto del empuje de la corriente, es decir, nuestro factor de seguridad debe ser mayor a 1.50 .

La línea de acción del empuje es horizontal y su punto de aplicación se encuentra a la siguiente distancia de la base:

$$d = \frac{a}{3} \left(1 + \frac{H}{a + 2H} \right) \quad (1)$$

$$P = \frac{w}{2} (2aH + a^2) \quad (2)$$

Si tenemos:

$$a = 6.36 \text{ m}$$

$$H = 2.67 \text{ m}$$

$$w = 1.00 \text{ Ton/m}^3$$

Sustituyendo valores en (1) y (2) tendremos:

$$d = 2.60 \text{ m}$$

$$P = 37.20 \text{ Ton.}$$

Para el cálculo analizaremos un metro de longitud del cimacio, construido con mampostería. La arista de volteo "o" se encuentra localizada en la parte inferior derecha del cimacio.

$$\text{Peso mampostería} = 2.60 \text{ Ton/m}^3$$

Por efectos de la subpresión, reduciremos este peso en un 30 % quedando:

Peso mampostería = 1.82 Ton/m³

Para analizar los momentos nos referiremos al perfil supuesto, sólo para el cálculo estructural en la figura (3), y considerando un ancho de banqueta de 1.50 m .

Se realiza el cálculo multiplicando las fuerzas tanto actuantes como resistentes por su respectiva distancia de su centroide a la arista de volteo.

Momento actuante.

$$M_a = (37.20 \text{ Ton})(2.60 \text{ m})$$

$$M_a = 96.72 \text{ Ton-m}$$

Momento resistente.

$$M_r = (1.90)(6.00)(1.82)(5.2) + \frac{(6.00)(5.34)(2.80)(1.82)}{2} + (1.50)(5.16)(1.82)(7.99)$$

$$M_r = 287.50 \text{ Ton-m}$$

Por lo que tenemos:

$$F.S. = \frac{M_r}{M_a} = \frac{287.50 \text{ Ton-m}}{96.72 \text{ Ton-m}}$$

$$F.S. = 2.97$$

Como el factor de seguridad es mayor a 1.50, se considera al cimacio estable contra el volteo.

Para garantizar que todo el muro trabaje a compresión haremos la revisión de esfuerzos en el terreno.

Tenemos que:

$$a = \frac{M_r - M_a}{w} \quad (3)$$

donde:

a: Resultante de la presión ejercida.

Si sustituimos valores en (3) tenemos:

$$a = 2.98$$

Como vemos, la resultante queda en el tercio medio, por lo que no se crean esfuerzos de tensión.

Estabilidad al deslizamiento.

El empuje de la corriente trata de hacer deslizar al cimacio, y la subpresión le ayuda disminuyéndole peso al cimacio, ya sea en su desplante en la roca en que se desplantó, o en cualquier otro plano del cimacio.

Por otro lado, el peso propio del cimacio se opone al deslizamiento.

Para determinar las condiciones que deben cumplirse para que no haya deslizamiento en el cimacio, supondremos lo siguiente:

- No se considera la resistencia al esfuerzo cortante ni del concreto, ni de la roca de la cimentación.
- En cualquier plano del cimacio debe cumplirse la siguiente condición:

$$\frac{\text{Suma algebraica de las fuerzas horizontales}}{\text{Suma algebraica de las fuerzas verticales}} = C.F.$$

donde:

C.F.: Coeficiente de fricción.

El valor del coeficiente de fricción varía entre 0.60 y 0.75.

Si sustituimos valores, encontramos:

$$\frac{-P}{F_v} = \frac{32.20 \text{ Ton}}{64.02 \text{ Ton}}$$

Obteniendo un valor de 0.50, cumpliéndose la condición anterior.

De esta forma queda concluido el cálculo estructural del Vertedor de Medio Abanico del Proyecto "El Chihuero".

Es primordial en los próximos años cuidar la calidad del agua y disminuir la contaminación de los ríos, cuerpos de agua y del mar, bajo marcos de corresponsabilidad entre gobierno y sociedad civil.

C.N.A.

CAPITULO IV

CAPITULO IV.

PROYECTO Y CALCULO DE LA OBRA DE TOMA.

IV.1 ESTUDIO DEL TIPO DE OBRA DE TOMA ECONOMICA CONVENIENTE DE ACUERDO A LA TOPOGRAFIA DE LA BOQUILLA.

Una vez que se ha diseñado la cortina, el ingeniero proyectista debe planear la forma en que se extraerá el agua del vaso de almacenamiento. Las estructuras que se construirán con el objeto de sustraer el agua en forma controlada y así ser utilizada, se conoce en su conjunto como Obra de Toma.

De acuerdo al destino con que ha sido proyectada la cortina, se planea el tipo de Obra de Toma conveniente.

En las presas de almacenamiento se distinguen básicamente tres tipos de Obras de Toma:

- 1.- Con Torre y Galería.
- 2.- Con Tubería trabajando a presión.
- 3.- Con Lumbrera.
- 4.- Combinada.

Los tipos anteriormente enunciados, se distinguen entre sí por su funcionamiento hidráulico así como por las estructuras que las conforman.

Conociendo los distintos tipos de Obra de Toma, así como las partes de que constan, se procede a analizar los factores que conducirán al tipo de Obra de Toma más conveniente de acuerdo al proyecto que se realice.

La topografía de la boquilla es uno de los factores que más pesan en la elección del tipo de Obra de Toma, pues de acuerdo a las condiciones topográficas, se proyecta la forma de descarga de la toma, pudiendo ser directamente al río o conduciendo el agua por los canales a la zona de riego.

Para poder efectuar el cálculo hidráulico de la Obra de Toma, cualquiera que sea su tipo, se debe contar con la elevación del umbral (dependiente del nivel de azolves) así como con la elevación de descarga, para unir a éstas por una línea, lo más corta posible y obtener un proyecto eficiente.

Si observamos la topografía de la boquilla de nuestro proyecto en estudio, a la margen izquierda del cauce baja una ladera con mayor pendiente que su similar al lado derecho. Sobre esta ladera, se ha propuesto situar a la Obra de Toma. La razón de elegir esta margen es simplemente porque de este lado se encuentra la zona de riego a la cual se dotará de agua.

Por la conformación topográfica de esta ladera, no se puede unir en forma de línea recta el umbral de la Obra de Toma con la descarga. Por ello, para conservar una pendiente uniforme en el conducto, se diseñó una deflexión en 30ª en la estación (0 + 055). Debido a esta condición se produce una pérdida de carga hidráulica. La forma de tener la menor pérdida constructivamente, es mediante tubería de acero. Es aquí cuando el proyectista comienza a sentir las ventajas de proponer una Obra de Toma con tubería de acero.

También el tipo de la cortina es determinante para la elección de la Obra de Toma. En el caso de una presa de Materiales Graduados, se ha de pensar en varias soluciones de acuerdo con la geología de la boquilla, tratando de adoptar el tipo de Obra de Toma que incluya túneles en las laderas de la boquilla, o en conductos excavados por debajo de la cortina, si así resultara más conveniente. En general, para cortinas de Materiales Graduados, las Obras de Toma de Torre y Galería así como las de Tubería trabajando a presión, son las más utilizadas.

En el Proyecto "El Chihuero", el gasto normal en la Obra de Toma es de 0.920 m³/seg, un gasto que implica un diámetro de ducto no muy grande. Por ello este diámetro puede lograrse mediante Tubería trabajando a presión, siendo los procedimientos constructivos mucho menos difíciles que si se

construyera una Obra de Toma de Torre y Galería con este diámetro, reduciéndose así los costos de construcción.

Cabe destacar que el funcionamiento hidráulico es mejor en una Obra de Toma de Torre y Galería, sin embargo se eligió para el Proyecto "El Chihuero" una Obra de Toma con Tubería a presión, pues actualmente por los costos de construcción de la torre y puente de acceso en las obras de Torre y Galería, sólo se pueden justificar para cortinas de altura considerable, lo cual no es nuestro caso. Con esta conclusión se justifica el diseño de una Obra de Toma con Tubería a presión por significar una menor erogación en la construcción que su similar de Torre y Galería.

Los conductos para las Obras de Toma son un elemento delicado en las presas de tierra, cuya construcción debe realizarse con gran cuidado, pues el descuido ha sido causa de fallas de importancia en el pasado.

Estas obras se pueden desarrollar en túnel, através de las laderas que forman la boquilla de la presa, o por tubos através de la propia cortina. El primer método se considera más seguro, pues evita los problemas de sellado que existen entre el material de la cortina y el ducto, cuya deficiencia puede producir fallas por tubificación, al infiltrarse el agua por el contacto.

En el Proyecto "El Chihuero", se ha dispuesto colocar tubería de lámina de acero dentro del terreno natural. Esta tubería quedará cubierta por concreto simple hasta el nivel del terreno después de la limpia. Con el concreto simple se disminuye el riesgo de infiltración de agua alrededor de la tubería de acero.

IV.2 ESTUDIO DE LA OBRA DE TOMA.

IV.2.1 CALCULO HIDRAULICO DE LA OBRA DE TOMA.

El estudio del funcionamiento hidráulico de la Obra de Toma, se realiza para determinar las dimensiones de los elementos que la conforman.

En el caso del aprovechamiento de agua para riego, el estudio hidráulico es importante, pues se requiere que el agua entre al canal de conducción bajo un régimen tranquilo, y debido a que por lo general, como en nuestro Proyecto, el conducto trabaja con un régimen rápido, hay necesidad de construir un tanque amortiguador que disipe la energía.

En presas destinadas a riego, la Obra de Toma sirve para disponer de los gastos almacenados en el vaso, ya sea directamente de la presa de almacenamiento (nuestro caso) o por medio de una presa derivadora aguas abajo.

Otra forma en que puede trabajar la Obra de Toma en nuestro Proyecto, es como estructura auxiliar de la obra de control y excedencias.

Una vez que se ha justificado la elección de la Obra de Toma con Tubería trabajando a presión, veamos las partes que la constituyen y sus funciones:

- Canal de Acceso: Es la obra por la cual se encausa el agua a la rejilla.
- Rejilla: Impide el paso de cuerpos flotantes hacia la tubería de la toma.
- Caseta de Operación: Es el lugar donde se alojan las válvulas de emergencia, para poder aislar la tubería. Las válvulas más comúnmente utilizadas son de mariposa por su pequeño tamaño, por lo que la galería donde residen suele no ser de grandes dimensiones.
- Tanque Amortiguador: La descarga al canal se hace por medio del tanque amortiguador que hace que el agua pierda energía de movimiento, para obtener un flujo más controlable.
- Pantalla: Así como el tanque amortiguador sirve para disipar la energía del flujo del agua, la pantalla actúa de forma para que pase con un régimen tranquilo al tanque de reposo y pueda controlarse el gasto en el vertedor.
- Tanque de reposo: Es aquí donde se tiene controlada la velocidad de flujo de agua para desalojarse hacia el canal de salida. En éste se coloca una escala de gastos para medir el gasto conducido.
- Vertedor: El tipo de vertedor de cresta delgada en el cual para evitar que se formen subpresiones, a éste se le acondiciona un conducto de ventilación para cuidar que no trabaje ahogado. El vertedor nos sirve para aforar el volumen de aguas conducido al conocer la carga que obra sobre éste.

Como se verá más adelante, la capacidad con que se proyecte la Obra de Toma, deberá ser tal que satisfaga las necesidades de la extracción. En el caso de una Obra de Toma para riego, el gasto estará regido por las demandas en la zona de riego.

Para realizar el cálculo hidráulico de una Obra de Toma, se necesita primeramente conocer la cantidad del agua que se va a extraer para satisfacer las necesidades en la zona de riego. En pocos casos el gasto de extracción en presas de almacenamiento es constante. Por esta razón, la Obra de Toma se proyecta para un gasto normal en la Obra de Toma, y se revisa su funcionamiento hidráulico para cargas mayores a la de proyecto.

De manera general, la Obra de Toma se diseña para proporcionar como mínimo el gasto requerido en el mes de máxima demanda, de acuerdo con los cultivos, áreas y calendario de riego. De manera que

$$Q = \frac{Db}{Nh \times Nd}$$

donde:

Q: Gasto en la Obra de Toma.

Db: Demanda bruta en riego.

Nh: Duración diaria de los riegos.

Nd: Días de riego considerados en el mes.

La expresión anterior debe afectarse por los coeficientes de conducción y aplicación considerados con un valor $k = 0.60$ multiplicado en el denominador.

Para el Proyecto "El Chihuero" se calculo un gasto $Q = 0.920$ m³/seg.

Primeramente se deben conocer la cotas del umbral de la obra de toma, así como la elevación a la que se localizará la descarga.

El umbral de una Obra de Toma en una presa de almacenamiento, debe situarse a la elevación de la cota de azolves. Sin embargo, en algunos casos pueden proyectarse en niveles inferiores tomando ciertas consideraciones, como el hecho de que los azolves no se depositan en capas horizontales sino más bien paralelas al fondo de vaso, así como que los depósitos de los azolves se hacen en mayor proporción a la llegada de la corriente al vaso.

En el caso de la elevación a la que se vaya a hacer la descarga, si se hace ésta sobre el cauce del río, el nivel de ella a la salida de la toma, debe localizarse por arriba del nivel del tirante máximo en el río.

Ya conocidos el gasto y cotas de la Obra de Toma, falta conocer la carga bajo la cual trabajará ésta. En general, esta carga es variable, por lo que su diseño se hace bajo una carga mínima. Un criterio para valuar esta carga mínima, marca que ésta será la correspondiente al nivel de la capacidad de azolves del vaso más un 10 % de la capacidad útil.

Conocida la carga mínima, se procede a calcular las pérdidas registradas durante el flujo del agua dentro de la Obra de Toma, de acuerdo al gasto requerido en la toma. Sumando todas las pérdidas a la salida de la Obra de Toma, debe ser igual o menor a la carga que resulte del nivel mínimo.

Si el nivel del agua baja del nivel mínimo de operación, se puede seguir extrayendo agua del vaso, pero decaerá el gasto a medida que disminuya la carga, y como es de suponer, será nulo si el nivel del agua continua por abajo de la plantilla de la Obra de Toma.

Así mismo, cuando el nivel del agua rebase el nivel mínimo de operación, se podrá regular el gasto de entrada por medio de mecanismos de control de la toma.

A continuación se describirá el proceso de cálculo hidráulico de la Obra de Toma del Proyecto "El Chihüero".

Datos de Proyecto.

Capacidad total=	6,500,000.00	m3
Capacidad de azolves=	545,000.00	m3
Capacidad útil=	5,955,000.00	m3
Capacidad mínima=	1,140,500.00	m3
Elevación embalse mínimo=	83.04	m.s.b.n
Elevación de azolves=	80.20	m.s.b.n.
NAME=	95.37	m.s.b.n.
Carga mínima=	2.84	m
Carga máxima=	15.17	m

Gasto normal de la toma=

0.92 m³/seg

Primeramente se supone un diámetro de tubería y se calculan todas las pérdidas de carga para el gasto normal de la toma. Así, al nivel mínimo de operación se le resta la suma de todas las pérdidas para obtener la elevación en el tanque de reposo.

El diámetro de la tubería se fija considerando velocidades en ésta de 2.0 a 4.00 m/seg para que no existan depósitos ni causen deterioro

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0.92}{2.00} = 0.46 \text{ m}^2$$

En la tubería de 76.2 cm (30") ϕ :

$$A = \frac{3.1416 \times 0.762^2}{4} = 0.598 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0.92}{0.598} = 1.53 \text{ m/seg que se acepta}$$

Para el Proyecto "El Chihuero", se ha propuesto una tubería de 76.2 cm (30") que es la que se considera más apropiada.

Una vez elegido el diámetro de la tubería, procedemos a calcular las pérdidas de carga.

Cálculo de las pérdidas de carga.

1.- Pérdidas de carga por rejilla.

Se supone un valor de 0.10 m.

2.- Pérdidas de carga por cambio de dirección.

Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$h_d = c \sqrt{\frac{d}{90^\circ}} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

donde:

c= coeficiente= 0.25 (generalmente)

d= deflexión del cambio= 45° (para nuestro caso)

g= constante de gravedad= 9.81 m/seg^2

v= velocidad de flujo a la entrada

Para la estructura de entrada se propuso una sección de $1.30 \text{ m} \times 3.60 \text{ m}$.

Conociendo el gasto normal $Q= 0.920 \text{ m}^3/\text{seg}$ y sabiendo que $v= Q/A$

$v= 0.19658 \text{ m/seg}$

Sustituyendo valores en (1) tenemos:

$h_d= 0.000348 \text{ m}$

3.- Pérdida de carga por entrada a la tubería.

Se tiene la siguiente pérdida de carga:

$$h_e = k \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

donde:

$k= 0.23$ (para entrada con aristas ligeramente redondeadas)

Conociendo el diámetro de la tubería (0.762 m) y el gasto normal, encontramos la velocidad en el ducto:

$v= 2.01738 \text{ m/seg}$

Sustituyendo valores en (2)

$h_e= 0.02365 \text{ m}$

4.- Pérdida de carga por fricción.

Se emplea la fórmula de Hazen-Williams:

$$s = \left(\frac{v}{0.84918 c (r^{0.63})} \right)^{1.85185} \quad (3)$$

donde:

r= radio hidráulico.

r= $d/4 = 0.1905$

c= 100 (para tubería de acero)

Sustituyendo valores en (3)

s= 0.006797

Si se tiene una longitud de tubería L= 104 m

$DI = h = s \times L(4)$

hf= 0.7069 m

5.- Pérdidas de carga por válvulas.

Teniendo en proyecto una válvula de compuerta (30") y una válvula de mariposa del mismo diámetro, se encuentra la longitud de tubería equivalente (ver tablas) y se multiplica por la pérdida unitaria determinada anteriormente.

Lvc= 5.25 m (válvula de compuerta)

Lvm= 5.00 m (válvula de mariposa)

Sumando longitudes y sustituyendo en (4)

hv= 0.06967 m

6.- Pérdida de carga por codos.

En el proyecto se observa en la alineación de la tubería, una deflexión de 30 tomada por un codo del mismo ángulo, y un codo de 90° al final de la tubería. De la misma manera como se hizo con las válvulas, se encontraron sus longitudes equivalentes.

$$Lc90 = 19.00 \text{ m}$$

$$Lc30 = 11.00 \text{ m}$$

Sustituyendo en (4)

$$h_c = 0.20391 \text{ m}$$

7.- Pérdida de carga por salida o expansión brusca.

Se tiene:

$$h_s = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (5)$$

donde:

v_1 = velocidad en la tubería.

v_2 = velocidad en el tanque amortiguador.

Se propuso una sección en el tanque amortiguador de 2.10 m X 3.615 m, y se encontró

$$v_2 = 0.1212 \text{ m/seg}$$

Sustituyendo valores en (5) encontramos

$$h_s = 0.18326 \text{ m}$$

Sumando las pérdidas de carga tenemos:

$$h = 1.4117 < 2.84 \text{ m (carga mínima)}$$

L — P	Condición de los bordes o aristas en la entrada				
	Todos los bordes a escuadra	Contracciones suprimidas en el fondo solamente	Contracciones suprimidas en el fondo y en costado	Contracciones suprimidas en el fondo y en los dos costados	Contracciones suprimidas en el fondo, los costados y la parte superior.
0.02	0.61	0.63	0.68	0.77	0.95
0.04	0.62	0.64	0.68	0.77	0.94
0.06	0.63	0.65	0.69	0.76	0.94
0.08	0.65	0.66	0.69	0.74	0.93
0.10	0.66	0.67	0.69	0.73	0.93
0.12	0.67	0.68	0.70	0.72	0.93
0.14	0.69	0.69	0.71	0.72	0.92
0.16	0.71	0.70	0.72	0.72	0.92
0.18	0.72	0.71	0.73	0.72	0.92
0.20	0.74	0.73	0.74	0.73	0.92
0.22	0.75	0.74	0.75	0.75	0.91
0.24	0.77	0.75	0.76	0.78	0.91
0.26	0.78	0.76	0.77	0.81	0.91
0.28	0.78	0.76	0.78	0.82	0.91
0.30	0.79	0.77	0.79	0.83	0.91
0.35	0.79	0.78	0.80	0.84	0.90
0.40	0.80	0.79	0.80	0.84	0.90
0.60	0.80	0.80	0.81	0.84	0.90
0.80	0.80	0.80	0.81	0.85	0.90
1.00	0.80	0.81	0.82	0.85	0.90

Figura (1)

Tabla obtenida del Manual de H. King

Cálculo de la Escala de Gastos

Q (lts)	H (mts)	Dif. H (mts)
0	0	0
100	0.0850	0.0850
250	0.1580	0.0730
500	0.2530	0.0950
750	0.3310	0.0790
920	0.3809	0.0489
1,000	0.4030	0.0221
1,500	0.5270	0.1240
2,000	0.6370	0.1100
2,500	0.7370	0.1000
3,000	0.8300	0.0930
32,168	0.8682	0.0382

Figura (2)

Para calcular la elevación del agua en el tanque amortiguador restamos las pérdidas de nivel mínimo de operación y resulta:

$$\text{Elev. del agua en tanque amortiguador} = 83.04 - 1.412 = 81.628$$

Elevación del Agua en Tanque Amortiguador= 81.628 m.s.b.n.

En seguida se calcula la elevación del agua en el tanque de reposo, después de la pantalla, para determinar la elevación del vertedor.

La pantalla consta de una serie de orificios iguales, cuya suma de áreas es A1 y está despegada del piso del tanque de reposo, formando un orificio de área A2; los coeficientes C1 y C2 son respectivamente los de descarga para cada orificio pequeño y para el orificio grande. Estos coeficientes se obtienen del manual de King donde

L= espesor del orificio.

P= perímetro del mismo.

La pantalla consta de 24 orificios de 0.20 m X 0.20 m cada uno y una L= 0.20 m. El orificio grande tiene una sección de 0.30 m X 2.10 m con una L= 0.20 m.

L1/P1= 0.250 por lo que C1= 0.775 (todos los bordes en escuadra).

L2/P2= 0.04167 por lo que C2= 0.6408 (contracciones suprimidas en el fondo).

Se tiene

$$h_p = \frac{Q^2}{((C_1 A_1 + C_2 A_2)^2) \times 2g} \quad (6)$$

Sustituyendo valores en (6)

$$h_p = 0.0356 \text{ m}$$

Así encontramos que:

Elev. agua en tanque de reposo = $81.628 - 0.036 = 81.592$

Elevación del agua en Tanque Reposo = 81.592 m.s.b.n.

A continuación se procede a calcular la carga sobre el vertedor con la fórmula de vertedores de cresta delgada:

$$Q = 1.78L(H^{1.47})[1 + 0.56(H/d)^2] \quad (7)$$

donde:

$$d = H + P$$

P = altura del vertedor.

H = carga sobre el vertedor.

L = longitud del vertedor.

Para el proyecto se considerará un P = 1.80 m.

Se va proponiendo un H, se sustituye en (7) y por iteraciones se continúa hasta encontrar el H correspondiente a $Q = 0.920$ m³/seg. Para el caso expuesto se encontró

$$H = 0.38 \text{ m}$$

Así podemos definir

$$\text{Elevación Cresta Vertedora} = 81.592 - 0.381 = 81.21 \text{ m.s.b.n.}$$

Como se tomó la altura del vertedor de 1.80 m

$$\text{Elevación plantilla Tanque de reposo} = 81.2115 - 1.80 = 79.41 \text{ m.s.b.n.}$$

Una vez hecho el cálculo para el gasto normal, debe revisarse el funcionamiento para el Gasto Máximo correspondiente a una carga de 15.17 m correspondiente al NAM ($95.37 - 80.20 = 15.17$ m).

El método consiste en suponer una carga sobre el vertedor (H) y con la fórmula (7) encontrar un gasto, y a partir de él, calcular todas las pérdidas, sumarlas al nivel de cresta de vertedor, y compararlas con el NAME. Este proceso se hace mediante aproximaciones sucesivas proponiendo un H hasta que el NAME "calculado" coincida con el NAME "real". Con esta metodología se encontró:

H= 0.8682 m

Q= 3.2168 m³/seg (gasto máximo)

Elevación Tanque Amortiguador = 82.484 m.s.b.n.

Elevación Tanque de Reposo = 82.084 m.s.b.n.

Por último se calcula la escala de gastos mediante la fórmula (7). La escala de gastos puede observarse en la figura (2).

Es así como queda concluido el cálculo hidráulico de la Obra de Toma. Se concluye que el diámetro de tubería tiene un buen funcionamiento por lo que se considera el adecuado.

IV.2.2 CALCULO ESTRUCTURAL DE LA OBRA DE TOMA.

La parte de la Obra de Toma que se someterá al cálculo estructural para la presente tesis, será la correspondiente a las rejillas.

El objeto principal de las rejillas, como ya se mencionó, es evitar el paso de basura a través de la Obra de Toma. Se sobrentiende que si el conducto es pequeño con válvulas de control, será necesario que los barrotes de las rejillas queden muy juntos para eliminar las basuras pequeñas.

Las rejillas están constituidas por barras de acero soportadas sobre marcos del mismo material o de concreto.

En general, la separación de las barras de la rejilla varía de acuerdo con el tipo de éstas y el fin a que se destinen, pero dentro de un rango de 7.5 y 15 cm c.a.c. de barra, colocadas en tableros.

Para efectuar el cálculo estructural de rejillas, debemos considerar las siguientes:

Normas de Diseño.

Especificaciones de Gaylord y Savage.

- 1.- La velocidad del agua a su paso por la rejilla no debe ser mayor a 0.61 m/seg.
- 2.- La separación entre barras de las rejillas no mayor de 15 cm en obras pequeñas.
- 3.- Para el cálculo de la rejilla se supondrá a ésta totalmente obstruida, aún cuando nunca suceda.
- 4.- Las barras están diseñadas para soportar con carga de ruptura una presión igual a la mitad del tirante del agua que obra sobre ellas entre límites de 6.10 y 15.24 m.
- 5.- El marco donde se coloca la rejilla debe diseñarse con un factor de seguridad de 2 bajo la misma carga, ya que en caso de ruptura, es preferible que las barras se rompan antes que el marco falle.

A continuación se describe el proceso de cálculo.

Datos de Proyecto.

Gasto máximo= 3.2168m³/seg

NAME= 95.37m.s.b.n.

Elev. a centro rejilla 80.65 m.s.b.n.

Primeramente, se calcula el área para lograr el gasto máximo a la velocidad de 0.61 m/seg.

$$A = Q/v$$

$$A= 5.2735 \text{ m}^2$$

Se han propuesto siete cavidades por donde se captará el agua.

$$A \text{ bruta/orificio} = 0.7536 \text{ m}^2$$

Se proponen soleras de 5/8" @ 10 cm c.a.c.

En 1.00 m² caben 10 soleras quedando un

$$A \text{ neta/m}^2 = 0.841 \text{ m}^2$$

$$A \text{ total requerida} = \frac{A \text{ bruta}}{A \text{ neta}}$$

$$A \text{ total requerida} = 0.900 \text{ m}^2$$

Se supuso una sección de rejilla de 1.10 m X 1.00 m considerando 5 cm para soporte a cada lado de la sección.

Se tomó como rejilla crítica a aquellas localizadas en la parte inferior.

$$1/2H = \frac{\text{NAME} - \text{Elev. centro rejilla}}{2}$$

$$1/2FH = 7.36 \text{ m}$$

Se tomará 7.36 m como carga de ruptura.

Como siguiente paso se calcula la presión sobre la rejilla multiplicando la carga de ruptura por el peso volumétrico del agua, calculando una

$$\text{Presión sobre la rejilla} = 7,360 \text{ kg/m}^2$$

Si hay 10 soleras por m², entonces

$$w \text{ /rejilla} = 736 \text{ kg/m}^2$$

Acto seguido calculamos el momento flexionante sobre las barras considerándolas como simplemente apoyadas.

$$M = \frac{w \times L^2}{8} = 9,200 \text{ kg-cm}$$

Para reducir la longitud de flambéo, se propone utilizar un atizador al centro del claro con la misma sección que las soleras. Después se calcula la fatiga permisible de acuerdo a la siguiente relación:

$$f = \frac{1,405}{1 + \left(\frac{l^2}{2,000 b^2} \right)}$$

Para obtener la fatiga de ruptura se multiplicará la expresión anterior por el siguiente cociente: $\frac{4,000}{1,265}$

Considerando:

$$l = 50 \text{ cm}$$

$$b = 1.59 \text{ cm}$$

Se tiene un

$$f_s = 2,972.81 \text{ kg/cm}^2$$

Luego calculamos

$$s = M/f_s = 3.095 \text{ cm}^3$$

y sustituimos en la siguiente expresión:

$$h = \frac{6s}{b}$$

encontramos un peralte (h)

$$h = 3.42 \text{ cm} = 1 \frac{1}{4}''$$

Así se concluye que para nuestro proyecto se propone una rejilla de 1.10 m X 1.00 m con soleras verticales de 5/8" X 1 1/2" @ 10 cm c.a.c. con atizador a base de solera con la misma sección a la mitad del claro con incisiones en peine para incrustar elementos verticales.

*El agua desde los principios del hombre,
ha figurado como elemento primordial en
las labores de agricultura y todo
tipo de producción, y más ahora, que
la demanda del líquido es cada vez mayor.*

C.N.A.

CAPITULO V

CAPITULO V.

PRESUPUESTO GENERAL DE LA OBRA.

V.1 CUBICACION DEL PROYECTO DE LA CORTINA, VERTEDOR Y OBRA DE TOMA PARA LA DETERMINACION DEL COSTO PROBABLE DE LA OBRA.

Una vez que se ha desarrollado el diseño de cualquier proyecto en Ingeniería, se procede a cuantificar los volúmenes de obra, para poder hacer una estimación del costo probable de esa obra. A partir de ese costo aproximado, se puede decidir sobre varios aspectos, como los siguientes:

- La factibilidad de llevarse a cabo la construcción de la obra de acuerdo con el presupuesto estimado, y calificar si la inversión es amortizable.
- La Dependencia o Entidad Federativa propietaria del proyecto decida la forma de proveniencia de los fondos con que se pagará la obra, es decir, ya sea con recursos propios, o mediante un financiamiento federal o internacional.
- La decisión de efectuar la construcción mediante etapas de acuerdo con los recursos económicos disponibles o o relizarla en un sólo periodo.
- Con el presupuesto como base, emitir una licitación pública para la construcción del proyecto, y determinar la oferta más atractiva.

Para el Proyecto "El Chihuero", una vez determinadas las dimensiones y características de la Cortina, Vertedor y Obra de Toma, se procedió a cuantificar la cantidad de materiales que intervienen en la obra, y se pudieron definir los conceptos de obra.

A partir de esos conceptos, se elaboraron los Precios Unitarios, de los cuales se anexan aquellos que representan los montos más importantes. Los

Precios Unitarios se consideraron por unidad de obra terminada, es decir, comprenden los rubros de Mano de Obra, Materiales, Equipos y herramientas, suministros y acarreos, de acuerdo a procedimientos constructivos y especificaciones consideradas para este tipo de obras. Así mismo, contemplan el Costo Indirecto, cargos por Financiamiento y Utilidad.

El costo de cada concepto se obtiene al multiplicar el volumen de obra correspondiente por su Precio Unitario.

El cargo por equipos especiales y de control se consideró como el 5 % sobre el costo de cada estructura, para el caso de Vertedor y Obra de Toma.

De acuerdo con las anteriores ideas, se definieron las cantidades, costos y montos totales, así como su porcentaje en el costo total del proyecto, tanto para Cortina, Vertedor y Obra de Toma, que se muestran en los cuadros anexos.

Si sumamos los montos de cada concepto se obtiene un costo total estimado del Proyecto "El Chihuero" de \$ 58,250.08 millones de pesos, proyecto valuado en mayo de 1991.

Al observar el vaciado de montos en los cuadros, observamos que el costo de construcción de la Cortina es el mayor para una estructura, siendo el 85.04 % del valor total de la obra. El Vertedor representa el 13.71 % del total, mientras que la Obra de Toma sólo interviene con el 1.25 %.

Los cargos por concepto que más inferencia tienen sobre el costo total del Proyecto "El Chihuero", se encuentran comprendidos en la construcción de la cortina y son (de mayor a menor incidencia):

- 1.- Roca a volteo.
- 2.- Grava y arena en el respaldo.
- 3.- Grava y arena en el filtro.
- 4.- Material impermeable.
- 5.- Excavación.

Cabe señalar que con los costos y porcentajes obtenidos se cumple la Ley de Pareto que marca que "el 20 % de los conceptos representan el 80 % del monto total de la obra".

En el primer capítulo se mencionó la conveniencia del empleo de Materiales Graduados en lugar de Concreto ciclópeo. A continuación se hará la justificación correspondiente.

Pensemos en los materiales que conforman a la cortina (ya enunciados) y sus volúmenes; si sumamos estas cantidades de obra (material impermeable, grava y arena en respaldo y filtros y roca a volteo) obtendremos un volumen total de la cortina y su importe (Figura (5)).

Si suponemos una cortina de concreto equivalente a la quinta parte del volumen que implica el mismo Proyecto con Materiales Graduados, y se multiplica por el Precio Unitario del Concreto Ciclópeo, se tendrá un importe aproximado de la Cortina de \$ 87,069.01 millones de pesos (Figura (6)).

Al comparar los costos entre ambas opciones del material que constituirá a la presa, se observa que una Cortina de Concreto representa más del 85 % sobre el costo de una Cortina de Materiales Graduados, en el caso particular del Proyecto "El Chihuero". De esta manera se corrobora nuestra decisión de proyectar una cortina de Materiales Graduados en el presente proyecto.

Si consideramos la inversión del proyecto prorrateada entre las hectáreas beneficiadas, tendremos:

$$\text{Costo /ha.} = \frac{\$ 58,250'080,000}{935 \text{ ha.}} = \$ 62'299,550.80 \text{ /ha.}$$

Esto nos lleva a pensar en una inversión de \$ 62.3 millones de pesos por hectárea, lo que marca una base para decidir sobre la conveniencia económica de la ejecución del proyecto. Este valor encontrado, se presume como aceptable, pues se encuentra dentro de los límites fijados por experiencia para este tipo de proyectos que es de \$ 65 millones de pesos por hectárea, aproximadamente.

UNIVERSIDAD LA SALLE.
"PROYECTO Y CALCULO DEL VASO DE
ALMACENAMIENTO "EL CHIHUERO", MUNICIPIO
DE HUETAMO, ESTADO DE MICHOACAN".

JULIO, 1991

PRECIO No. 1

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO
CONSTRUCCION DE LA CORTINA.
EXCAVACION.

I.- MANO DE OBRA.

II.- MATERIALES.

III.- MAQUINARIA.

1).-Escarificación o rippeo para detención de
boleas y afloje de la arcilla.

1 Tractor komatsu D155	X	\$210,977.52 /hr.	=	\$210,977.52 /hr.
1 Ripper	X	\$11,508.85 /hr.	=	\$11,508.85 /hr./hr.

				\$222,486.37 /hr.

Rendimiento 48.00 m³/hr.

\$222,486.37 /hr.	=	\$4,635.13 /m ³

48.00 m ³ /hr.		

2).-Remoción, extracción, maniobras y acarreo
del material a una distancia hasta de 20 m.

1 Tractor komatsu D155	X	\$210,977.52 /hr.	=	\$210,977.52 /hr.
1 Ripper	X	\$11,508.85 /hr.	=	\$11,508.85 /hr.

				\$222,486.37 /hr.

Rendimiento 80.00 m³/hr.

\$222,486.37 /hr.	=	\$2,781.08 /m ³

80.00 m ³ /hr.		

3).-Sobreacarreo del material rocoso hasta una
distancia de 40 m.

1 Tractor komatsu D155	X	\$210,977.52 /hr.	=	\$210,977.52 /hr.
1 Ripper	X	\$11,508.85 /hr.	=	\$11,508.85 /hr.

				\$222,486.37 /hr.

Rendimiento 48.00 m³/hr.

\$222,486.37 /hr.

----- = \$4,635.13 /m3
 48.00 m3/hr.

4).-Equipo de apoyo a excavación.

Retroexcavadora cat.235 de 2.4yd
 C. Horario \$224,649.50 /hr \$224,631.96
 Rendimiento 80.00 m3/hr
 Factor de 10.00%
 Participación:

 \$224,649.50 /hr x .10
 ----- = \$280.81 /m3
 80.00 m3/hr

CARGO POR MAQUINARIA	=	\$12,332.16 /m3
COSTO DIRECTO	=	\$12,332.16 /m3
INDIRECTOS Y UTILIDAD	47.77% =	\$5,891.07 /m3
PRECIO UNITARIO	=	\$18,223.23 /m3

UNIVERSIDAD LA SALLE.
 INGENIERIA CIVIL.
 José Gonzalo López Valle.

UNIVERSIDAD LA SALLE.
 "PROYECTO Y CALCULO DEL VASO DE
 ALMACENAMIENTO "EL CHIQUERO", MUNICIPIO
 DE HUETAMO, ESTADO DE MICHOACAN".

JULIO, 1991

PRECIO No. 2

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO
 CONSTRUCCION DE LA CORTINA.
 COLOCACION DEL MATERIAL IMPERMEABLE.

I.- MANO DE OBRA.

II.- MATERIALES.

1).- Material Impermeable.

Costo \$6,796.47 /m3
 Consumo 1.00 m3/m3
 Abundamiento 25.00%

\$6,796.47 /m3 x 1.00 m3/m3 x 1.25 = \$8,495.59 /m3

2).- Suministro de Agua

Costo \$11,534.30 /m3
 Consumo .250 m3/m3

\$11,534.30 /m3 x .25 m3/m3 = \$2,883.58 /m3

CARGO POR MATERIALES = \$11,379.16 /m3

III.-MADUINARIA.

1).-Limpia del terreno en banco.

Tractor s/orugas komatsu D-155A
 C. Horario \$210,977.52 /hr
 Rendimiento 250.00 m3/hr

\$210,977.52 /hr

 250.00 m3/hr = \$843.91 /m3

2).-Carga del Material.

Cargador Michigan 7511A 2.5 yd
 C. Horario 70,084.46 /hr
 Rendimiento 60.00 m3/hr

\$70,084.46 /hr

 60.00 m3/hr = \$1,168.07 /m3

3).- Tarifa de fleteros 1er. km \$590.46 /m3

Tarifa de fleteros km 2-20
 14.00 km X 293.00 /m3-km = \$4,102.00 /m3

 \$4,692.46 /m3

Mermas y Desperdicios = 5.00%
 $\$ 4,692.46 /m^3 \times 1.05 = \$4,927.08 /m^3$

4).-Tendido del material.

Motoconformadora compacto CM17
 C. Horario 88,471.1343 /hr
 Rendimiento 80.00 m3/hr

$\$88,471.13 /hr$

 80.00 m3/hr = \$1,105.89 /m3

5).-Compactación del Material.

1 Compactador CA-25A X \$79,152.65 /hr. = \$79,152.65 /hr.
 1 Pipa de 7000 lts. X \$45,242.03 /hr. = \$45,242.03 /hr.

 \$124,394.67 /hr.

Rendimiento 45.00 m3/hr.
 $\$124,394.67 /hr.$

 45.00 m3/hr. = \$2,764.33 /m3

CARGO POR MAQUINARIA = \$10,809.28 /m3
 COSTO DIRECTO = \$22,186.45 /m3
 INDIRECTOS Y UTILIDAD 47.77% = \$10,599.42 /m3

 PRECIO UNITARIO = \$32,787.87 /m3

UNIVERSIDAD LA SALLE.
 INGENIERIA CIVIL.
 José Gonzalo López Valle.

UNIVERSIDAD LA SALL
 "PROYECTO Y CALCULO DEL VASO DE
 ALMACENAMIENTO "EL CHIHUERO", MUNICIPIO
 DE HUETAMO, ESTADO DE MICHOACAN".

Precio No. 3

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO
 CONSTRUCCION DE LA CORTINA.
 GRAVA Y ARENA (RESPALDO)

I.- MANO DE OBRA.

1).-Personal auxiliar en la trituradora

1 Cabo de peones 1a.	X	\$25,577.56 /tno.	=	\$25,577.56 /tno.
5 Ayudante general 1a.	X	\$19,969.68 /tno.	=	\$99,848.40 /tno.

				\$125,425.96 /tno.

Rendimiento 70.00 m3/tno.

\$125,425.96 /tno.

70.00 m3/tno.

= \$1,791.80 /m3

CARGO POR MANO DE OBRA

=

\$1,791.80 /m3

II.- MATERIALES.

1).- Regalias del banco.

Costo	\$17,028.61 /m3
Consumo	1.00 m3/m3
Abundamiento	35.00%

\$17,028.61 /m3 x 1.00 m3/m3 x 1.35 = \$22,988.62 /m3

CARGO POR MATERIALES

=

\$22,988.62 /m3

III.-MAQUINARIA.

1).-Extracción y amontonamiento

Retroexcavadora cat.235 de 2.4yd	
C. Horario	\$224,631.96 /hr
Rendimiento	8.00 m3/hr

\$224,631.96 /hr

8.00 m3/hr

= \$28,078.99 /m3

2).-Carga del material en grúa

Cargador Michigan 75111A 2.5 yd	
C. Horario	\$70,084.46 /hr

Rendimiento	10.00 m3/hr		
	\$70,084.46 /hr		
	-----	=	\$7,008.45 /m3
	10.00 m3/hr		

3).-Producción de agregados

1 Bomba 4" gasolina	X	\$10,837.66 /hr.	=	\$10,837.66 /hr.
1 Pta. cribado 3 pisos	X	\$24,565.73 /hr.	=	\$24,565.73 /hr.
3 Banda transp.24"x18	X	\$11,890.25 /hr.	=	\$35,670.74 /hr.
4 Camion volteo 6 m3	X	\$52,111.86 /hr.	=	\$208,447.44 /hr.
1 Planta luz 75 kw	X	\$24,348.26 /hr.	=	\$24,348.26 /hr.
		-----		\$303,869.83 /hr.

Rendimiento	12.00 m3/hr.		
	303,869.83 /hr.		
	-----	=	\$25,322.49 /m3
	12.00 m3/hr.		

4).-Carga del material de banco

Cargador Michigan 75111A 2.5 yd
C. Horario \$70,084.46 /hr
Rendimiento 15.00 m3/hr

	\$70,084.46 /hr		
	-----	=	\$4,672.30 /m3
	15.00 m3/hr		

5).-Transporte del Material.

Tarifa de fleteros 1er. km		\$590.46 /m3	
Tarifa de fleteros km 2-20			
12.00 km X 293.00 /m3-km	=	\$3,516.00 /m3	

		\$4,106.46 /m3	

Mermas y Desperdicio =	5.00%		
\$ 4,106.46 /m3 x 1.05	=	\$4,311.78 /m3	

6).-Tendido del Material

Motoconformadora compacto CM17
C. Horario \$88,471.13 /hr
Rendimiento 10.00 m3/hr

	\$88,471.13 /hr		
	-----	=	\$8,847.11 /m3
	10.00 m3/hr		

7).-Compactación del Material.

Compactador dynapac CA-25A
C. Horario \$79,152.65 /hr
Rendimiento 10.00 m3/hr

	\$79,152.65 /hr		
	-----	=	\$7,915.26 /m3

10.00 m³/hr

ULSA-03 HOJA/3

CARGO POR MAQUINARIA = \$86,156.39 /m³

HERRAMIENTA

10% de la Mano de Obra
.10 X \$1,791.80 /m³

= \$179.18 /m³

CARGO POR HERRAMIENTA = \$179.18 /m³

COSTO DIRECTO = \$111,115.99 /m³

INDIRECTOS Y UTILIDAD 47.77% = \$53,080.11 /m³

PRECIO UNITARIO = \$164,196.10 /m³

UNIVERSIDAD LA SALLE.
INGENIERIA CIVIL.
José Gonzalo López Valle.

UNIVERSIDAD LA SALLE.
 PROYECTO Y CALCULO DEL VASO DE
 ALMACENAMIENTO "EL CHIHUERO", MUNICIPIO
 DE HUETAMO, ESTADO DE MICHOACAN.

JULIO, 1995

PRECIO No. 4

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO
 CONSTRUCCION DE LA CORTINA.
 COLOCACION DE ROCA A VOLTEO.

I.- MANO DE OBRA.

II.- MATERIALES.

1).- Material para Enrocamiento.

Costo \$16,127.74 /m³
 Consumo 1.00 m³/m³
 Abundamiento 45.00%

\$16,127.74 /m³ x 1.00 m³/m³ x 1.45 = \$23,385.22 /m³

CARGO POR MATERIALES = \$23,385.22 /m³

III.- MAQUINARIA.

1).- Limpia del terreno en banco.

Tractor s/orugas komatsu D-155A
 C. Horario \$210,977.52 /hr
 Rendimiento 245.00 m³/hr

\$210,977.52 /hr

 245.00 m³/hr = \$861.13 /m³

2).-Carga del Material.

Cargador s/rued.72-81 Terex 9 yd
 C. Horario \$514,136.34 /hr
 Rendimiento 210.00 m³/hr

\$514,136.34 /hr

 210.00 m³/hr = \$2,448.27 /m³

3).-Transporte del Material.

Camion volteo terex R-35
 C. Horario \$197,436.13 /hr
 Rendimiento 70.00 m³/hr

\$197,436.13 /hr

 70.00 m³/hr = \$2,820.52 /m³

4).- Colocación del material
 Camion volteo terex R-35

C. Horario \$197,436.13 /hr
 Rendimiento 58.00 m3/hr

$$\frac{\$197,436.13}{58.00 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$3,404.07 /\text{m}^3$$

5).-Tendido y Compactación del Material.

Tractor s/orugas komatsu D-155A

C. Horario \$210,977.52 /hr
 Rendimiento 20.00 m3/hr

$$\frac{\$210,977.52}{20.00 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$10,548.88 /\text{m}^3$$

CARGO POR MAQUINARIA	=	\$20,082.86 /m3
COSTO DIRECTO	=	\$43,468.09 /m3
INDIRECTOS Y UTILIDAD	47.77%	\$20,764.71 /m3
PRECIO UNITARIO	=	\$64,232.79 /m3

UNIVERSIDAD LA SALLE.
 INGENIERIA CIVIL.
 José Gonzalo López Valle.

UNIVERSIDAD LA SALLE.
 "PROYECTO Y CALCULO DEL VASO DE
 ALMACENAMIENTO "EL CHIHUERO", MUNICIPIO
 DE HUETAMO, ESTADO DE MICHUACAN".

ULSA-10 HOJA/1
 JULIO, 1991

Precio No. 10

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO
 CONSTRUCCION DE LA CORTINA.
 GRAVA Y ARENA (FILTRO)

I.- MANO DE OBRA.

1).-Personal auxiliar en la trituradora

1 Cabo de peones 1a.	X	\$25,577.56 /tno.	=	\$25,577.56 /tno.
5 Ayudante general 1a.	X	\$19,969.68 /tno.	=	\$99,848.40 /tno.

				\$125,425.96 /tno.

Rendimiento 70.00 m³/tno.

\$125,425.96 /tno.	
-----	=
70.00 m ³ /tno.	\$1,791.80 /m ³

CARGO POR MANO DE OBRA = \$1,791.80 /m³

II.- MATERIALES.

1).- Regalias del banco.
Costo \$17,028.61 /m ³
Consumo 1.00 m ³ /m ³
Abundamiento 35.00%

\$17,028.61 /m³ X 1.00 m³/m³ X 1.35 = \$22,988.62 /m³

CARGO POR MATERIALES = \$22,988.62 /m³

III.-MAQUINARIA.

1).-Extracción y amontonamiento

Retroexcavadora cat.235 de 2.4yd
C. Horario \$224,631.96 /hr
Rendimiento 8.00 m ³ /hr

\$224,631.96 /hr	
-----	=
8.00 m ³ /hr	\$28,078.99 /m ³

2).-Carga del material en greña

Cargador Michigan 75111A 2.5 yd
C. Horario \$70,084.46 /hr

Rendimiento	10.00 m3/hr		
		\$70,084.46 /hr	
		-----	=
	10.00 m3/hr		\$7,008.45 /m3

3).-Producción de agregados

1 Bomba 4" gasolina	X	\$10,837.66 /hr.	=	\$10,837.66 /hr.
1 Pta. cribado 3 pisos	X	\$24,565.73 /hr.	=	\$24,565.73 /hr.
3 Banda transp.24"x18	X	\$11,890.25 /hr.	=	\$35,670.74 /hr.
4 Camion volteo 6 m3	X	\$52,111.86 /hr.	=	\$208,447.44 /hr.
1 Planta luz 75 kw	X	\$24,348.26 /hr.	=	\$24,348.26 /hr.

				\$303,869.83 /hr.

Rendimiento	12.00 m3/hr.		
		303,869.83 /hr.	
		-----	=
	12.00 m3/hr.		\$25,322.49 /m3

4).-Carga del material de banco

Cargador Michigan 7511A 2.5 yd
 C. Horario \$70,084.46 /hr
 Rendimiento 15.00 m3/hr

		\$70,084.46 /hr	
		-----	=
	15.00 m3/hr		\$4,672.30 /m3

5).-Transporte del Material.

Tarifa de fleteros 1er. km		\$590.46 /m3
Tarifa de fleteros km 2-20		
12.00 km X 293.00 /m3-km	=	\$3,516.00 /m3

		\$4,106.46 /m3

Mermas y Desperdicio =	5.00%	
\$ 4,106.46 /m3 x 1.05	=	\$4,311.78 /m3

6).-Tendido del Material

Motoconformadora compacto CM17
 C. Horario \$88,471.13 /hr
 Rendimiento 10.00 m3/hr

		\$88,471.13 /hr	
		-----	=
	10.00 m3/hr		\$8,847.11 /m3

7).-Compactación del Material.

Compactador dynapac CA-25A
 C. Horario \$79,152.65 /hr
 Rendimiento 10.00 m3/hr

		\$79,152.65 /hr	
		-----	=
			\$7,915.26 /m3

10.00 m³/hr

	CARGO POR MAQUINARIA	=	\$86,156.39 /m ³
HERRAMIENTA			
10% de la Mano de Obra			
.10 X \$1,791.80 /m ³	=	\$179.18 /m ³	
	CARGO POR HERRAMIENTA	=	\$179.18 /m ³
	COSTO DIRECTO	=	\$111,115.99 /m ³
	INDIRECTOS Y UTILIDAD	47.77%	\$53,080.11 /m ³

	PRECIO UNITARIO	=	\$164,196.10 /m ³

UNIVERSIDAD LA SALLE.
INGENIERIA CIVIL.
José Gonzalo López Valle.

Costo estimado de la Cortina.

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total *	%
1.- Excavación	m3	137,350.00	\$18,223.23	\$2,502.96	4.30
2.- Material Impermeabilizante	m3	130,180.00	\$32,787.87	\$4,268.32	7.33
3.- Grava y arena (respaldo)	m3	76,500.00	\$164,186.10	\$12,561.00	21.56
4.- Roca a volteo	m3	316,700.00	\$64,232.79	\$20,342.52	34.92
5.- Tepetale compactado	m3	360.00	\$125,602.47	\$45.22	0.08
6.- Tezontle	m3	360.00	\$125,602.47	\$45.22	0.08
7.- Tubo asbесто-cemento 6" Diam.	ml	132.00	\$38,000.00	\$5.02	0.01
8.- Concreto simple	m3	25.00	\$338,251.64	\$8.46	0.01
9.- Acero refuerzo	kg	458.00	\$7,687.52	\$3.52	0.01
10.- Filtros (grava y arena)	m3	59,400.00	\$164,186.10	\$9,753.25	16.74

Costo de la Cortina	\$49,535.49
----------------------------	--------------------

figura (1)

Costo estimado del Vertedor

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total *	%
11.- Excavación	m3	41,250.00	\$104,940.75	\$4,328.81	7.43
12.- Manposteria	m3	2,990.00	\$128,250.00	\$383.47	0.66
13.- Concreto simple	m3	100.00	\$693,642.17	\$69.36	0.12
14.- Concreto armado	m3	2,700.00	\$724,177.47	\$1,955.28	3.36
15.- Acero de refuerzo	kg	107,250.00	\$7,687.52	\$824.49	1.42
16.- Tubo lámina negra 2 1/2" Diam.	ml	58.00	\$139,074.40	\$8.07	0.01
17.- Tubo concreto 10" Diam.	ml	46.00	\$87,000.00	\$4.00	0.01
18.- Tubo conc. perforado 18" Diam.	ml	93.00	\$224,300.00	\$20.86	0.04
19.- Grava cribada	m3	13.00	\$164,196.10	\$2.13	0.00
20.- Filtro asfáltico	m2	111.00	\$75,663.70	\$8.40	0.01
Sub-Total				\$7,604.87	

21.- Equipos de Control	lote	1.00	\$380.24	\$380.24	0.65
-------------------------	------	------	----------	----------	------

Costo del Vertedor	\$7,985.11
---------------------------	-------------------

figura (2)

* Millones de Pesos Mexicanos

Costo estimado de la Obra de Toma

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total *	%
22.- Excavación	m3	2,100.00	\$70,662.41	\$148.29	0.25
23.- Concreto simple	m3	90.00	\$663,004.17	\$59.67	0.11
24.- Concreto ciclópeo	m3	350.00	\$747,014.36	\$261.46	0.45
25.- Concreto reforzado	m3	180.00	\$724,177.47	\$130.35	0.22
26.- Acero de refuerzo	kg	6,830.00	\$8,682.50	\$59.30	0.10
27.- Tubería de acero 302 Diam.	ml	102.00	\$348,750.00	\$35.57	0.06

Sub-Total \$694.74

28.- Equipos de Control	Lote	1	34.74	34.74	0.06
-------------------------	------	---	-------	-------	------

Costo de la Obra de Toma	\$729.48
---------------------------------	-----------------

Figura (3)

Resumen

Estructura	Costo *	%
Corina	\$49,535.49	85.04
Vertedor	\$7,985.11	13.71
Obra de Toma	\$729.48	1.25
COSTO TOTAL	\$58,250.08	100

Figura (4)

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total *
2.- Material Impermeable	m3	130,180.00	\$32,787.87	\$4,268.32
3.- Grava y Arena en el respaldo	m3	76,500.00	\$164,196.10	\$12,561.00
10.- Grava y arena en filtros	m3	59,400.00	\$165,196.10	\$9,753.25
4.- Roca a volteo	m3	316,700.00	\$64,232.79	\$20,342.52
Volumen Total:	m3	582,780.00		\$46,925.09

Presa de Materiales Graduados

Figura (5)

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total *
1.- Concreto Ciclópeo	m3	116,556.00	\$747,014.36	\$87,069.01

Presa de Concreto

Figura (6)

* Millones de Pesos Mexicanos

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE LAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y FACTIBILIDAD ECONOMICA DEL PROYECTO 'EL CHIHUERO'.

A lo largo del presente trabajo, se han indicado los pasos a seguir en la elaboración de un proyecto de Ingeniería, en este caso, el diseño de un vaso de almacenamiento y todas las estructuras que lo conforman.

Como se habrá notado, las inversiones que se requieren para la ejecución de un plan de riego, como el Proyecto "El Chihuero", son cuantiosas y conllevan varios problemas tanto técnicos como económicos que hacen su solución no muy sencilla. Por ello, ante la escasa experiencia del autor, se recurrió a ingenieros de amplia actividad profesional, en cuyos consejos se fundamentó el presente trabajo.

De acuerdo a lo tratado en los anteriores capítulos, podemos emitir algunas consideraciones y recomendaciones que sintetizen brevemente lo que se ha expuesto.

Primeramente debemos decir, que cualquier obra que el hombre realice, requiere de un estudio concienzudo sobre la conveniencia de llevarlo o no a cabo. Esto es, si con esa obra se cumplirán los objetivos propuestos, y de ser así, pensar si pudiera haber otra solución que alcanzara nuestra metas a un menor costo, para siempre asegurar una solución óptima.

Para el Proyecto "El Chihuero", los estudios hidrológicos y topográficos son la parte medular de todo el diseño, pues de ellos depende, primeramente decidir si es factible construir un vaso de almacenamiento o no, y de ser positiva la conclusión, serán el fundamento a partir de los cuales se comenzará el diseño de cada una de las estructuras que constituyen el sistema, es decir, Cortina, Vertedor y Obra de Toma, principalmente. Sin embargo, no por ello se

permite el descuido de los otros estudios, pues sólo en su conjunto se podrá lograr un proyecto óptimo.

A continuación se harán unos breves comentarios y recomendaciones sobre cada estructura en particular, de las que tratamos en capítulos anteriores.

Cortina.

Como ya se ha comprobado, la inversión más importante en todo el proyecto, se requiere en la construcción de la Cortina. Es sin lugar a dudas la que generalmente representa el mayor volumen de materiales y esfuerzo de todas las demás estructuras, y es comprensible, pues es la que mediante el cierre de la boquilla dará lugar al vaso de almacenamiento.

Por esa cuantiosa inversión, la elección del tipo de materiales que constituirán la presa, es de gran trascendencia. Como se indicó, para el Proyecto "El Chihuero", la solución más adecuada de acuerdo a la disposición de materiales en el lugar, topografía y geología, se justifica como óptima la decisión de adoptar una Presa de Materiales Graduados como la más viable y económica.

De acuerdo al estudio de la sección y dimensiones propuestas, se concluye que la cortina presenta márgenes de seguridad aceptables, pues los factores mínimos de seguridad comparados con los del análisis son menores, por lo que se tiene confianza en la estabilidad de la presa.

Para el análisis de la estabilidad de taludes, se recurrió a la ayuda de la computadora, y se analizaron los círculos críticos por medio de un método gráfico simplificado. El hecho de la sencillez del método no demerita sus resultados, pues son muy acertados; más bien, el propio método es una prueba del ingenio del hombre para efectuar cálculos con menores dificultades, pero con el mismo grado de confiabilidad.

En la actualidad, la computadora se ha convertido en una de las herramientas más importantes para el diseño, por ello actualmente podemos pensar en la factibilidad de revisar la estabilidad de los taludes de acuerdo a estudios más sofisticados, como los análisis dinámicos de presas de tierra o por medio del proceso de mallas de elementos finitos (utilizado en el análisis de la cortina de la presa Aguamilpa, actualmente en construcción).

Como se sabe, los procedimientos analíticos para el estudio dinámico de presas y terraplenes han avanzado significativamente en la última década. De métodos pseudoestáticos utilizados para calcular la estabilidad sísmica de terraplenes, se ha llegado a métodos del elemento finito que permiten evaluar tanto la estabilidad como las deformaciones potenciales. Sin embargo, todavía existen problemas relativos a la evaluación de propiedades dinámicas. Por ello, el uso de estos métodos requieren un buen criterio, forjado en la experiencia, para llegar a los resultados requeridos.

Debemos señalar entonces, que de acuerdo a la importancia y complejidad de los proyectos, debe elegirse el método de análisis. Para el Proyecto "El Chihuero" se consideró adecuado el método de las Dovelas Diferenciales utilizado.

Es conveniente mencionar que los daños que se pueden presentar durante la vida de la cortina, no requieren de un tratamiento analítico, sino simplemente de la aplicación racional de medidas preventivas. Así, para evitar la pérdida de bordo libre por asentamientos no previstos, bastaría con dotar a la presa con una altura adicional, por ejemplo.

Para lograr que la construcción de la cortina se haga en forma adecuada, debe tenerse cuidado en los siguientes procesos constructivos:

- 1.- Limpia del terreno de cimentación y desviación del río.
- 2.- Excavación hasta la roca sana a partir de la cual se desplantará la cortina.
- 3.- Colocación de los materiales que constituyen el cuerpo del terraplén.

Si estas actividades se desarrollan de acuerdo a los procedimientos adecuados, se conforma una obra segura y de larga vida útil.

La compactación de los materiales del cuerpo de la cortina es muy importante, pues si algún material de la sección sufriera un asentamiento por sismo, puede conducir a una inestabilidad del elemento impermeable.

Vertedor.

Debido a las características erosionables de los materiales en la Cortina, el Vertedor de demasías es de vital importancia, pues por medio de esta estructura es como se desalojará el agua excedente, sobre todo aquella que proviene de una avenida. Por esta razón, para garantizar la seguridad en el

Proyecto "El Chihuero", debe proyectarse una estructura auxiliar, llamada vertedor, que permita el alivio del vaso cuando este se llene a su máxima capacidad, y evitar que que el agua pase sobre la presa.

La elección del tipo de vertedor a emplear es definido primordialmente por las características topográficas de la boquilla, o el lugar que se contemple para su ubicación.

En el capítulo correspondiente se estudió el funcionamiento hidráulico de esta estructura, encontrándose discrepancias entre las dimensiones propuestas por el proyectista y las encontradas en la presente Tesis, por lo que se considera apropiado utilizar las calculadas en el presente trabajo, pero cumpliendo con el siguiente requisito de verificación.

Por la propia naturaleza de las funciones del vertedor de excedencias, éste debe construirse con materiales no erosionables.

Para un correcto diseño del vertedor nos volvemos a encontrar que el estudio hidrológico es indispensable, ya que de acuerdo a la avenida máxima probable se definirá la longitud de cresta libre del vertedor, a partir de la cual, se hace la elección del tipo e obra de excedencias y se inicia el cálculo hidráulico.

Se considera como norma no considerar como definitivos los proyectos de obras de excedencias, si antes no son probados en un Laboratorio de Hidráulica.

Obra de Toma.

Por medio de la Obra de Toma se obtendrá el agua para riego en forma controlada. Es necesario conocer los requerimientos del agua, en función de la superficie a la que se proporcionará riego, así como el tipo de cultivos, para prever las demandas de agua, y poder así proyectar este tipo de estructura de acuerdo a necesidades reales. Si no contamos con estos datos, se corre el riesgo de que la Obra de Toma presente deficiencias.

La elección de la Obra de Toma con tubería trabajando a presión es la más adecuada para el Proyecto "El Chihuero", pues si bien sus características de funcionamiento hidráulico no son las mejores, su menor inversión y facilidad constructiva la hacen la opción óptima.

Este tipo de proyectos, aunque no son muy impresionantes, constituyen un verdadero avance en la lucha por la independencia alimentaria de nuestro país, por lo que es muy conveniente el que se diera mayor impulso a este tipo de proyectos de parte del Gobierno Federal.

Se debe tener plena conciencia de las perturbaciones que nuestro proyecto pudiera tener en el medio ambiente de la zona y sistemas hidráulicos vecinos. Como se puede notar, la naturaleza de los materiales empleados en el Proyecto, hacen pequeños los cambios en el ecosistema, e incluso se pudiera pensar en un mejoramiento del clima por la presencia de un lago artificial. Aún más, se podrían fomentar actividades de acuicultura y turismo que impulsarían, además del desarrollo agrícola, la economía y cultura de la zona.

A partir de la última década, el uso de la computadora se ha convertido en un equipo con mayores perspectivas de diseño en cualquier tipo de proyecto. Es por ello, que se han reducido considerablemente los tiempos de cálculo, lo que plantea la posibilidad de efectuar mayores análisis para diferentes alternativas y condiciones, lo que anteriormente no era posible. Esta característica hace que se puedan lograr proyectos con mayor calidad y eficiencia. No obstante, esta herramienta es ineficaz si no se dirige por un buen criterio ingenieril, por lo que se puede afirmar que el buen juicio en Ingeniería es insustituible al efectuar proyectos de gran importancia, como al que nos hemos referido en este trabajo.

Al desarrollar la presente Tesis nos hemos podido dar una idea de uno de los campos de la Ingeniería Civil: la Ingeniería de proyectos, más propiamente al diseño de obras hidráulicas. No obstante, en un Proyecto como "El Chihuero", se puede sentir como varias de las ramas de la Ingeniería Civil se combinan para dar lugar a la obra, de acuerdo a distintas etapas: Diseño y Construcción.

A pesar de todo lo que se ha tratado, se recalca que el Proyecto "El Chihuero" debe llevarse a cabo sólo si su inversión se considera amortizable. Como se ha visto, el capital requerido es muy cuantioso, pero de acuerdo a los estudios efectuados en este trabajo, se considera conveniente su construcción, pues por este medio se logrará asegurar la producción de cultivos en la zona, sumándose al desarrollo de la autosuficiencia alimentaria nacional.

Por último, sólo queda agradecer al amable lector el tiempo que se haya tomado para leer este trabajo, cuyo principal objetivo es contribuir, aunque de manera modesta, al desarrollo de la Ingeniería Civil en nuestro querido país: México.

BIBLIOGRAFIA.

1).- Brambila Michel Jorge.

"ESTRUCTURAS EN ZONAS DE RIEGO".

S.A.R.H.

México, D.F. Enero, 1976.

2).- García Rivero José Luís.

"OBRAS DE RIEGO: SU NECESIDAD, SU IMPORTANCIA,
PROBLEMATICA Y SOLUCIONES".

Tesis Profesional, Universidad La Salle.

México,D.F. 1988.

3).- Herrera Delgado Joaquín.

"OBRAS DE TOMA EN PRESAS DE ALMACENAMIENTO".

S.A.R.H.

4).- Juárez Badillo Eulalio.

"MECANICA DE SUELOS". TOMO II Y III.

Editorial LIMUSA.

Segunda Edición.

Julio, 1987.

5).- Magaña del Toro Roberto.

"ANALISIS DINAMICO DE SISTEMAS DE SUELO-ESTRUCTURA Y
PRESAS DE TIERRA".

Curso Institucional.

División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.

México, D.F. Marzo, 1991.

6).- Morales Ruiz Adrián.

"PROYECTO DE LA PRESA DE ALMACENAMIENTO TIPO MATERIALES
GRADUADOS HUISCOLCO, ZACATECAS".

Tesis Profesional, Universidad del Ejército y Fuerza Aérea.

México, D.F. 1990.

7).- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

"MANUAL DE MECANICA DE SUELOS".

TOMO IV: DISEÑO DE ESTRUCTURAS TERREAS.

8).- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

"MEMORIA DESCRIPTIVA DEL ESTUDIO HIDROLOGICO DE
FACTIBILIDAD TECNICA DEL PROYECTO PRESA DE
ALMACENAMIENTO "CHIHUERO", MUNICIPIO DE HUETAMO, ESTADO
DE MICHOACAN".

Morelia, Mich. Noviembre, 1987.

9).- Ulloa Ortiz Salvador.

"DISEÑO DE VERTEDORES EN ABANICO".

Revista Ingeniería Hidráulica en México.

Números: octubre, noviembre y diciembre, 1956.

10).- *United States Department of The Interior Bureau of Reclamation.*

"DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS".

Editorial C.E.C.S.A.

Sexta Impresión.

México, D.F. 1976.

11).- Velasco Sánchez Octavio.

"PRESAS DE DERIVACION".

S.A.R.H.

México, D.F. Octubre, 1975.

12).- Zambrana Peñaloza Wilfredo.

"METODO SIMPLIFICADO PARA EL CALCULO DE LA SUMERGENCIA EN LOS VERTEDORES DE ABANICO".

Ponencia, Centro Universitario.

Abril, 1980.

13).- Zamudio M. José Manuel.

"POSICION DEL TANQUE O COLCHON EN LOS VERTEDORES DE ABANICO Y MEDIO ABANICO DE LAS PRESAS DE ALMACENAMIENTO".

Ponencia.

México, D.F. Abril, 1979.