

25
2 ej'



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGON"

"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA PARA
UNA PRESA DE CONCRETO RODILLADO PRESA
"TRIGOMIL" EN UNION DE TULA, JAL."

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
JUAN PABLO ROBLEDO JAIME

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

I N D I C E

| | PAG. |
|---|------|
| INTRODUCCION ----- | 1 |
| CAPITULO I: | |
| ASPECTOS GENERALES. | |
| I.1. Antecedentes ----- | 6 |
| I.2. Consideraciones Económicas en la Construcción de Presas de Concreto Rodillado ----- | 8 |
| I.3. Elementos de una Cortina de Concreto Rodillado--- | 16 |
| I.4. Estudios Preliminares ----- | 22 |
| CAPITULO II: | |
| ESTUDIOS BASICOS ----- | 28 |
| II.1. Estudio Topográfico ----- | 29 |
| II.2. Estudio Hidrológico ----- | 31 |
| II.3. Estudio Geológico ----- | 50 |
| II.4. Estudio Agrológico ----- | 52 |
| II.5. Estudio de Mecánica de Suelos ----- | 53 |

CAPITULO III:

| | |
|---|-----|
| CRITERIO DE DISEÑO ----- | 68 |
| III.1. Diseño de Calidad ----- | 71 |
| III.2. Pruebas de Laboratorio y su Control de Calidad-- | 74 |
| III.3. Material para el Diseño del Concreto Rodillado-- | 80 |
| III.4. Equipo y Mano de Obra para la Construcción del Concreto Rodillado ----- | 105 |

CAPITULO IV:

| | |
|---|-----|
| ASPECTOS PARTICULARES DE LA CORTINA ----- | 113 |
| IV.1. Localización ----- | 114 |
| IV.2. Descripción de la Cortina y su Estructura ----- | 115 |
| IV.3. Ubicación de Bancos de Préstamo ----- | 118 |
| IV.4. Fabricación, Transporte y Colocación de CCR ----- | 121 |
| IV.5. Datos de Proyecto ----- | 130 |

CAPITULO V:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

PAG.

V.1. Conclusiones ----- 138

V.2. Recomendaciones ----- 141

BIBLIOGRAFIA ----- 143

I N T R O D U C I O N

El desarrollo y aplicación del concreto compactado con rodillo (CCR) para estructuras de control hidráulico, ha progresado rápidamente en los últimos años. El concepto de construcción de presas de gravedad de concreto, rápida y económicamente, usando técnicas de compactación de tierras con un mínimo de cimbras y juntas, ha atraído mundialmente el interés.

Desde la aplicación inicial del CCR; a la construcción de presas de gravedad de concreto, su uso será difundido hacia secciones de derrame de pequeñas dimensiones y pavimentos de uso rudo. Con este rápido desarrollo han sobrevenido divergencias respecto al material utilizado así como para los métodos usados en su colocación.

No existe acuerdo universal, inclusive para su definición. El concreto compactado con rodillo se define, como la mezcla de cemento portland, agua y un agregado de (3/4") 19mm. o de tamaño máximo mayor compactado con rodillo. El agregado es usualmente controlado por cribas para producir una mayor uniformidad de las propiedades del concreto. El uso del término ("Rollcrete") concreto rodillado, difiere al concreto convencional principalmente en su consistencia. Para una con

sideración efectiva, el CCR deberá ser lo suficientemente seco para soportar el peso del equipo vibratorio, pero suficientemente húmedo para permitir una distribución adecuada del cementante a lo largo de la masa durante el mezclado y proceso de vibrado. La consistencia requerida tiene un efecto directo en la proporción de la mezcla.

Otra ventaja notable del CCR es la rapidez de su colocación como ejemplo basta mencionar que en la reparación de un túnel en el proyecto de Tarbela, en Paquistán, se exigió extender 400,000 M³ de concreto de los 42 días disponibles antes de la siguiente venida de primavera. Se tuvo éxito tanto desde el punto de vista técnico como de plazo de tiempo, llegándose a colocar hasta 18,000 M³ de CCR cada 24 hrs.

En vista de que su consistencia es muy seca, la vibración interna no surte ningún efecto y no puede compartir el CCR. De hecho un vibrador no puede penetrar en la mezcla fresca. Se tiene que compactar en forma similar a los terraplenes usando compactadores vibratorios con altos índices de energía o esfuerzo de compactación por volumen unitario de concreto colocado.

Por lo anterior, resulta obvio que una adecuada compactación, desde la selección del equipo hasta su correcta apli

cación, es indispensable para un compartamiento posterior -
adecuado en cuanto a resistencia y durabilidad.

El presente trabajo tiene como objetivo la descripción-
del CCR y estableciendo su procedimiento de fabricación, colo-
cación para una presa de gravedad que tiene una altura de -
100 mts., y haciendo hincapié en el equipo y los parámetros -
para seleccionarlo.

Para ello se incluye un capítulo sobre generalidades y -
antecedentes, en el que se describen los principios y funda-
mentos de este proceso, así como los procedimientos utiliza-
dos en la actualidad. En capítulos posteriores se incluyen -
los estudios básicos que vienen siendo los topográficos, geo-
lógicos e hidrológicos y la más importante (Mecánica de Sue-
los) así como su criterio de diseños de CCR y sus pruebas de-
laboratorio con un control de calidad adecuada, así como los-
parámetros de la cortina y su estructura.

Esta obra representa características muy importantes ya
que está considerada la más alta del mundo en su género "100-
mts. de altura", se inicia una nueva época en la Ingeniería -
Hidráulica Nacional, gracias a una técnica segura, eficiente-
y barata que permite reducir los tiempos de construcción.

Partiendo de la Cd. de Guadalajara por la carretera a - Barra de Navidad se llega por la población de Unión de Tula, - situada a 21 km de la presa Trigomil.

Asentada sobre el Rfo Ayuquila, punto intermedio entre las presas Tacotán y el Corcovado, la Trigomil es la segunda-presa que se construye actualmente. Con el sistema de concreto compactado con rodillo (CCR), representando un nuevo concepto en la construcción de presas en nuestro País, ya que es un concreto con una característica de cero revenimiento, que ofrece ventajas de durabilidad, resistencia, menor tiempo de colocación y bajo costo.

El objetivo de la construcción de proveer de riego al - Distrito. El Gruyo-Autlán. La presa tendrá una capacidad de almacenamiento que permitirá regar 19,500 hectáreas. Adicionalmente tendrá la función de controlar las avenidas del - tramo Tacotlán-Trigomil, del Rfo Ayuquila.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Antecedentes.

Las presas de concreto rodillado (CCR) incorporan especificaciones que aplican diferentes ponderaciones con factores que no han sido probado aún, pero que han sido validados de acuerdo a la experiencia y juicio. Conceptos tales como la influencia de la estabilidad y de la formación de la cimentación, forma de la presa tanto en planta como sección transversal, cargas apropiadas y combinación de carga, y accesorios tales como vertedores y temas dentro de la presa, han sido considerados con igual cuidado. Los conceptos aparentemente más importantes hasta el momento son las propiedades de los materiales del concreto y las técnicas de construcción, ambas de las cuáles representan ahorros económicos sustanciales.

Desde la construcción de la presa de Willew Creek (E.E. U.U.). En 1982 la presa Elk Creek en el Suroeste de Oregon, es la única presa construída usando CCR que ha pasado de la fase de planeación a la de ingeniería y diseño de la misma. Los conceptos de diseño y construcción para la presa Elk Creek,

son considerados como el criterio actual para la construcción de presas CCR. Por el tamaño y propósito de la estructura, los conceptos de diseño se establecieron para asegurar un bajo porcentaje de infiltración a través de la presa, particularmente en las juntas, para proporcionar una superficie de exposición tersa y durable a todo lo alto de la cortina y vetedor e incrementar el ritmo de colocación del concreto rodillado. Los procedimientos para mejorar la impermeabilidad, independientemente a otros procedimientos para prevenir infiltraciones, incluyen la infiltración de una cara de cortina con concreto convencional de (3 ft) 91cm. de espesor, tratamiento extensivo de juntas para eliminar vacfos y mejorar la cohesión y una colocación rápida del CCR ha bajas temperaturas para reducir el índice de rupturas por la contracción térmica. Estos procedimientos tienden a requerir poco, o ningún incremento en el costo y una presa construída con CCR permanece siendo la opción más económica para la localidad. En el verano de 1982 una serie de presas para el control de avenidas llamadas El Proyecto Northloop fue planeada para Austin, Texas.

El diseño de éstas estructuras requería que se pudieran sobrellenar durante flujos excedentes al mayor evento dentro de los 100 años anteriores.

Aunque el concreto rodillado había sido usado exitosamente en la presa Tarbela en Pakistán, los datos para la presa Willon Creek en Oregón, se tiene poca información, sobre la experiencia en la práctica privada, diseños de mezcla y procedimientos de control de calidad durante la construcción-habían sido determinados principalmente para ambas secciones-de prueba y extrapolaciones de la teoría de concreto.¹

1.2. CONSIDERACIONES ECONOMICAS EN LA CONSTRUCCION DE PRESAS DE CCR.

El concreto rodillado (CCR) se ha presentado recientemente como un material económicamente atractivo para la construcción de presas de gravedad, reemplazando el uso de concreto convencional e incluso retando la economía de presas de tierra y enrocamiento.

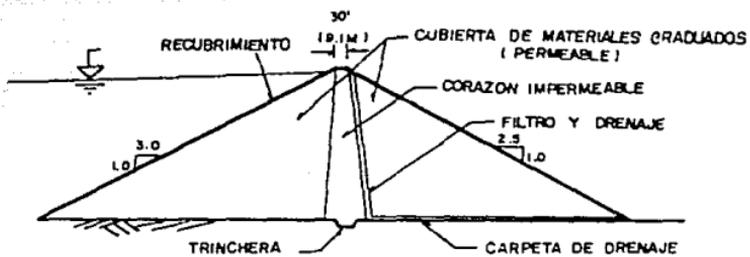
El uso de C.R. en la construcción de presas colocado con técnicas convencionales de colocación de tierra resulta en un mucho menor costo por metro cúbico de concreto colocado comparado con las presas de gravedad construídas con técnicas convencionales de colocación de concreto convencional masivo.

(1) SARH. Concreto Compactado con Rodillo, Ed. Kenneth D. Hanees, México 1985, p. 1.

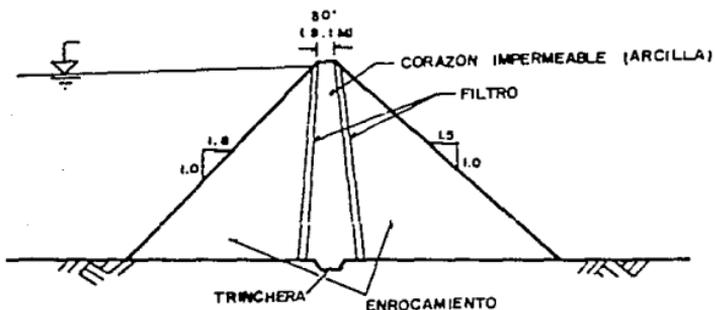
Dado que la técnica de construcción es la razón de ésta economía comparada con el concreto masivo colocado convencionalmente en presas de gravedad, es entonces interesante examinar la economía de las presas de durabilidad de C.R. comparadas con las presas donde se utilizan técnicas semejantes de construcción de la cortina. La economía en las presas de gravedad de C.R. se observa que la presa es mayor de cierta altura y/o los materiales de construcción de tierra o enrocamiento no están disponibles.

La sección transversal típica de una presa de gravedad de C.R. y una cortina de tierra o enrocamiento se comparan en la figura 1 para estructuras soportando en cimentaciones competentes. El volumen contra la altura para estas secciones transversales es presentado en la figura 2, para ilustrar la significancia de la altura promedio de una presa contra su volumen total. Mediante el examen de la figura 2, se puede observar que ha mayor altura hay un incremento casi exponencial en las necesidades de volumen de una presa de materiales contra una presa de gravedad de CCR.

A una altura dada, la presa de gravedad C.R. contiene un volumen mucho menor de material de construcción. Esto, junto con la velocidad de construcción del método de C.R. re-



MATERIALES GRADUADOS



ENROCAMIENTO

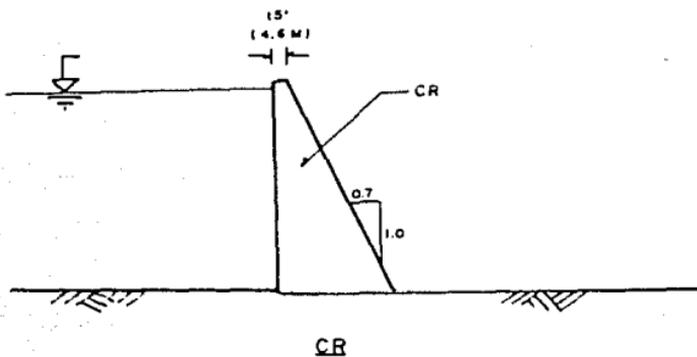
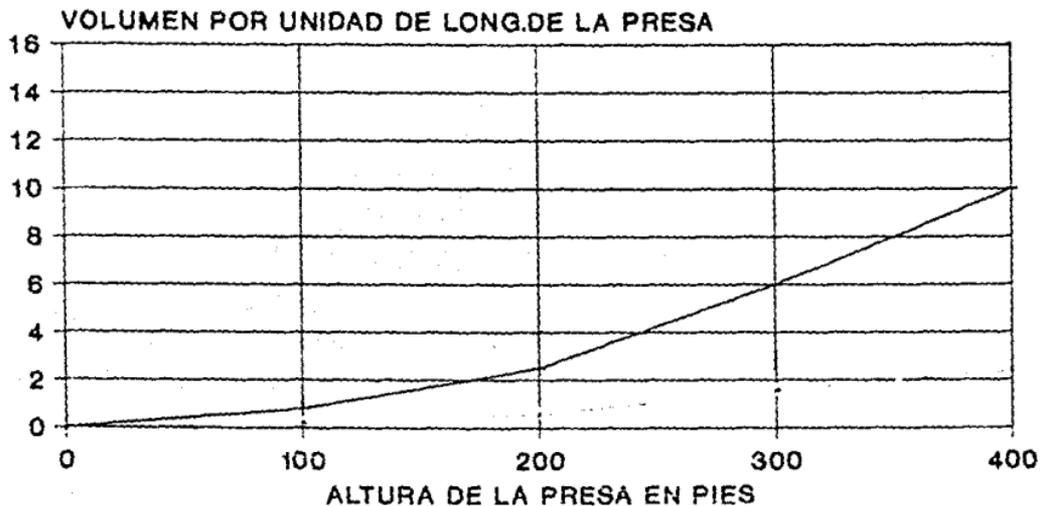


FIGURA 1. SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS DE PRESAS

RELACION VOL./ALT. P/SECC.TRANSV.TIPICAS PRESAS



PRESA DE MAT.GRADUAD

—+— PRESA DE ENROCAM.

PRESA DE GRAVEDAD

FIGURA 2

sulta en un menor tiempo de construcción que el requerido para las presas de materiales. De esta manera, la construcción de C.R. tiene considerables atractivos en áreas donde la temporada de construcción es muy corta y en general, tiene una ventaja económica en factor, tiempo, costo.

Además, la alternativa de la localización/eliminación y construcción de la estructura accesorio provista por el C.R. ofrece ventajas adicionales. Específicamente, los requerimientos estructurales del vertedor, dissipador de energía y estructura de toma pueden tener un efecto adverso en la economía de la construcción general de la cortina de la presa. Con una presa de gravedad de C.R. en agua del flujo puede ser vertida directamente sobre la cortina por medio de un vertedor de sobreflujo, eliminando así la necesidad de un canal de vertedor convencional separado. Semejante estructura constituye típicamente un concepto importante en el paquete de construcción.¹

Las mayores ventajas económicas se pueden observar también en las secciones de sobreflujo y mediante la utilización de un canal de vertedor escalado o con un tanque de amortiguamiento.

(1) Ibid., pp. 107-108.

miento tipo Esquif como disipador de energía. El vertedor escalonado desarrollado por el Bureau of reclamation de los EE.UU. para su presa en Upper stillwater, consisten de escalones de aproximadamente 0.3 m. (1 ft) de huella y 0.3 m. (2 ft) de altura. El canal de vertedor produce una disipación de energía de aproximadamente el 70% mientras el agua corre bajando los escalones. Por lo tanto solo un pequeño vaso de amortiguación, también construido de C.R. se requirio en la salida de dicho vertedor de escalonado sobre flujo. Un vaso de amortiguación tipo Esquif es una estructura muy grande que está antes del nivel de la cola de agua del flujo y disipa la energía mediante el impulso o la dispersión del flujo del vertedor hacia el aire. Tal disipador de energía puede construirse económicamente mediante la sobrecolocación del pié de una presa de gravedad de C.R. Donde el vertedor escalonado no puede ser utilizado, este sistema puede ser más costeable eliminando la necesidad de otro disipador mayor y más caro.

Al comparar los costos entre estructuras de presas de gravedad y presas construidas convencionalmente con concreto-masivo indican que el uso del C.R. en conjunción con técnicas convencionales de colocación de suelos resulte en un menores-costos a la terminación por unidad de concreto. Esto se ilustra en la figura 3 donde se muestran las relaciones básicas -

de costos de proyectos de presas de gravedad de concreto masivo construidos en forma convencional (excluyendo presas de arco) y los recientemente asignados proyectos de presas de gravedad de C.R. Como sólo cantidades gruesas del material son consideradas, esto hace que el impacto económico del C.R. se vuelva menos significativo.

Para colocaciones de aproximadamente 1.5 millones de M³ o menos, una ventaja mínima por metro cúbico de alrededor de 1:2 es observada en presas de C.R. contra las construidas con concreto convencional masivo.¹

(1) Ibid., pp. 108-110.

COMPARACION DE COSTOS/CR Y CONCRE.MASIVO DOLARES 1984

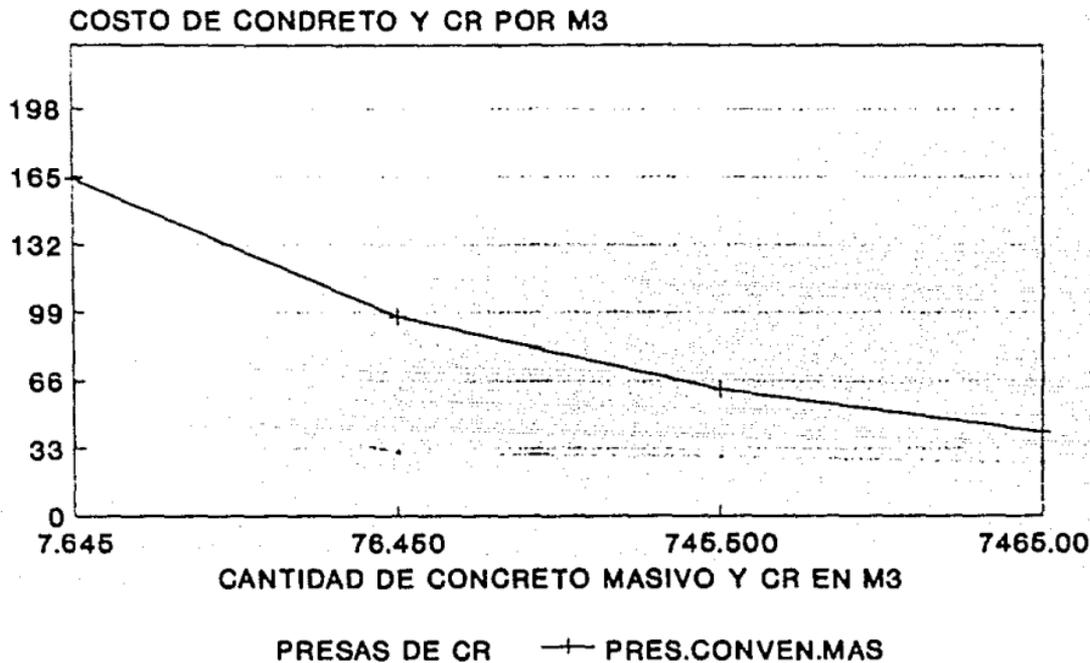


FIGURA 3

I.3. ELEMENTOS DE UNA CORTINA DE CONCRETO RODILLADO.

Las siguientes especificaciones son aplicables a una presa con cortina de sección. Gravedad construída con los materiales que se muestran a continuación:

1.- Terreno natural.

2.- Roca basal.

3.- Superficie de desplante.

4.- Capa intermedia:

Concreto convencional, tamaño máximo de agregado 38.1 mm (1 1/2") y $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

5.- Membrana impermeable:

Concreto convencional, tamaño máximo de agregado 38.1 mm (1 1/2") y $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

6.- Parte superior de la sección gravedad:

Concreto convencional, tamaño máximo de agregado 38.1 mm (1 1/2") y $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

7.- Muros de encauce:

Concreto convencional, tamaño máximo de agregado 38.1 mm (1 1/2") y $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$.

8.- Revestimiento de concreto convencional reforzado:

Concreto convencional, tamaño máximo de agregado

38.1 mm (1 1/2") y $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$.

9.- Concreto compactado con rodillo (CCR):

Concreto revenimiento 0 tamaño máximo de agregado

76.2 mm (3") y $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$.

10.- Concreto de Viga:

Concreto de revenimiento 0, tamaño máximo de agregado

38.1 mm (1 1/2") y $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$.

11.- Formas prefabricadas de concreto:

Concreto convencional, tamaño máximo de agregado

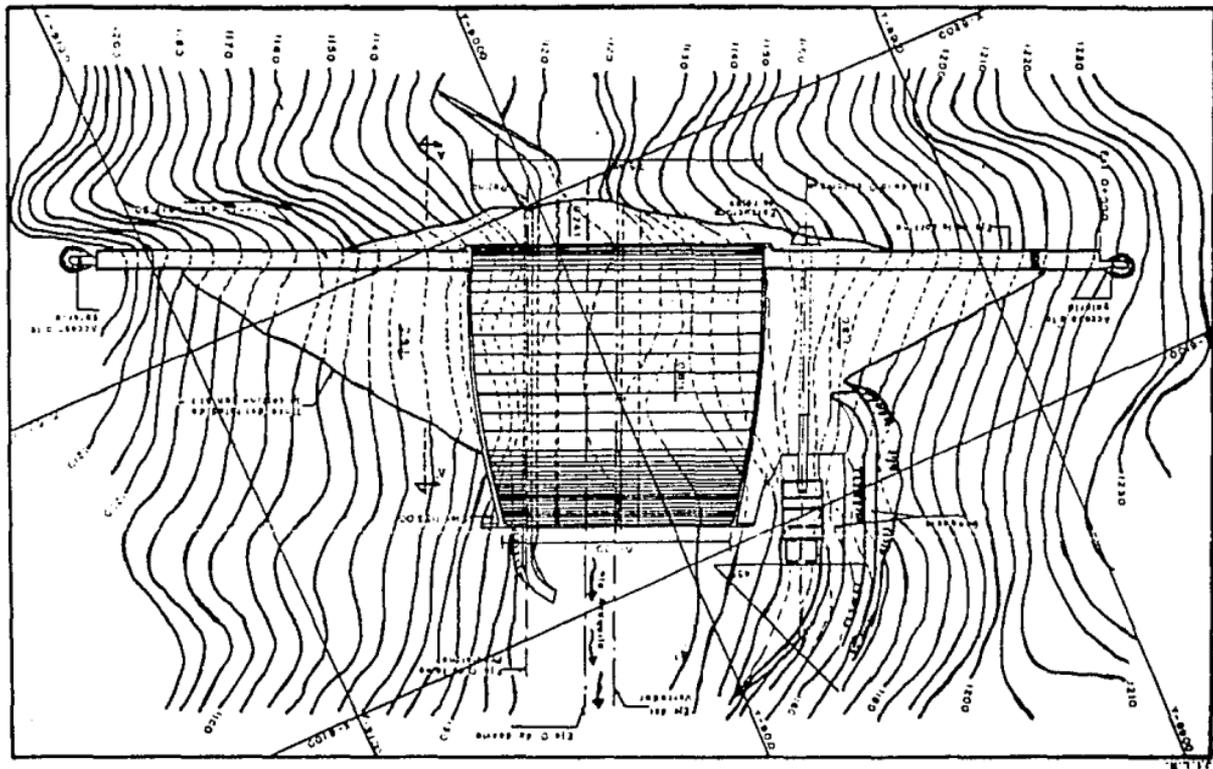
38.1 mm (1 1/2") y $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

12.- Caras Verticales de la capa intermedia:

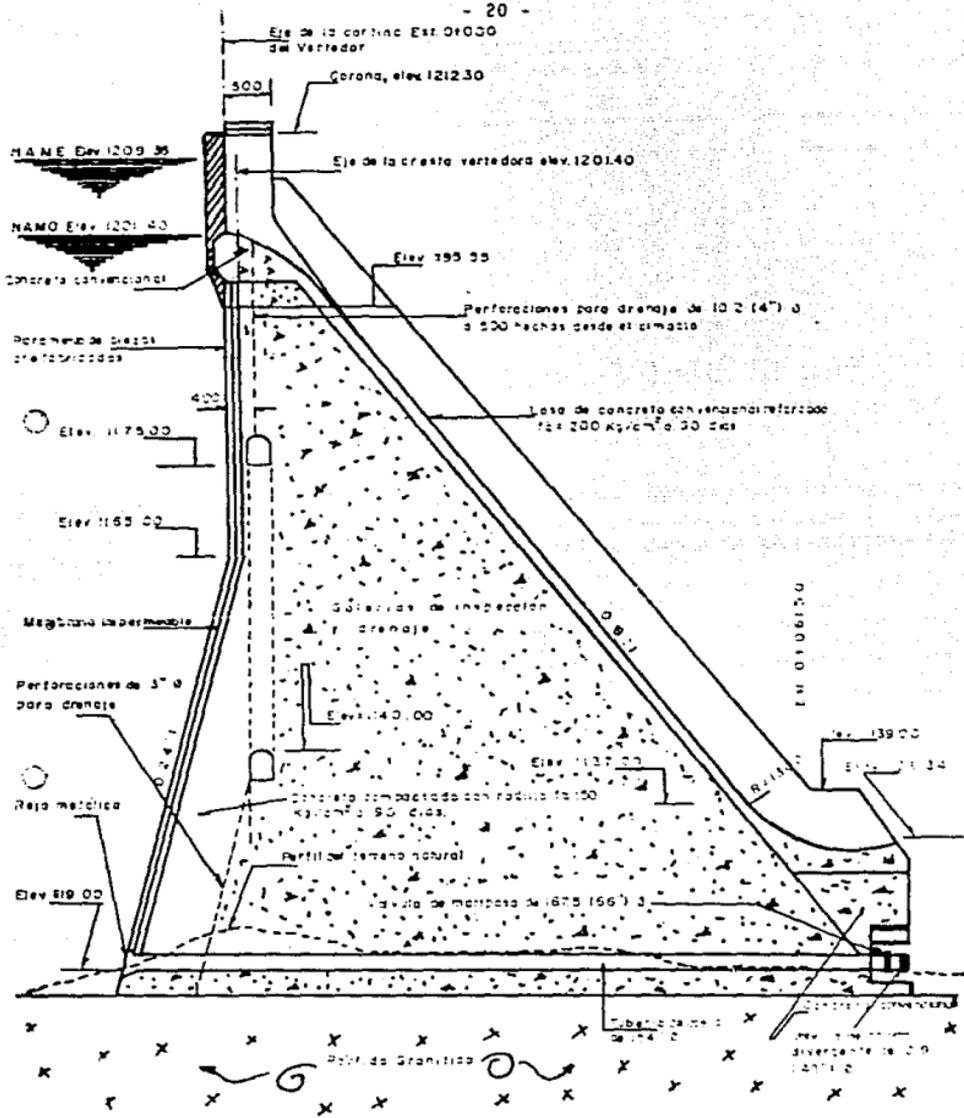
Concreto convencional, tamaño máximo de agregado

38.1 mm (1 1/2") y $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

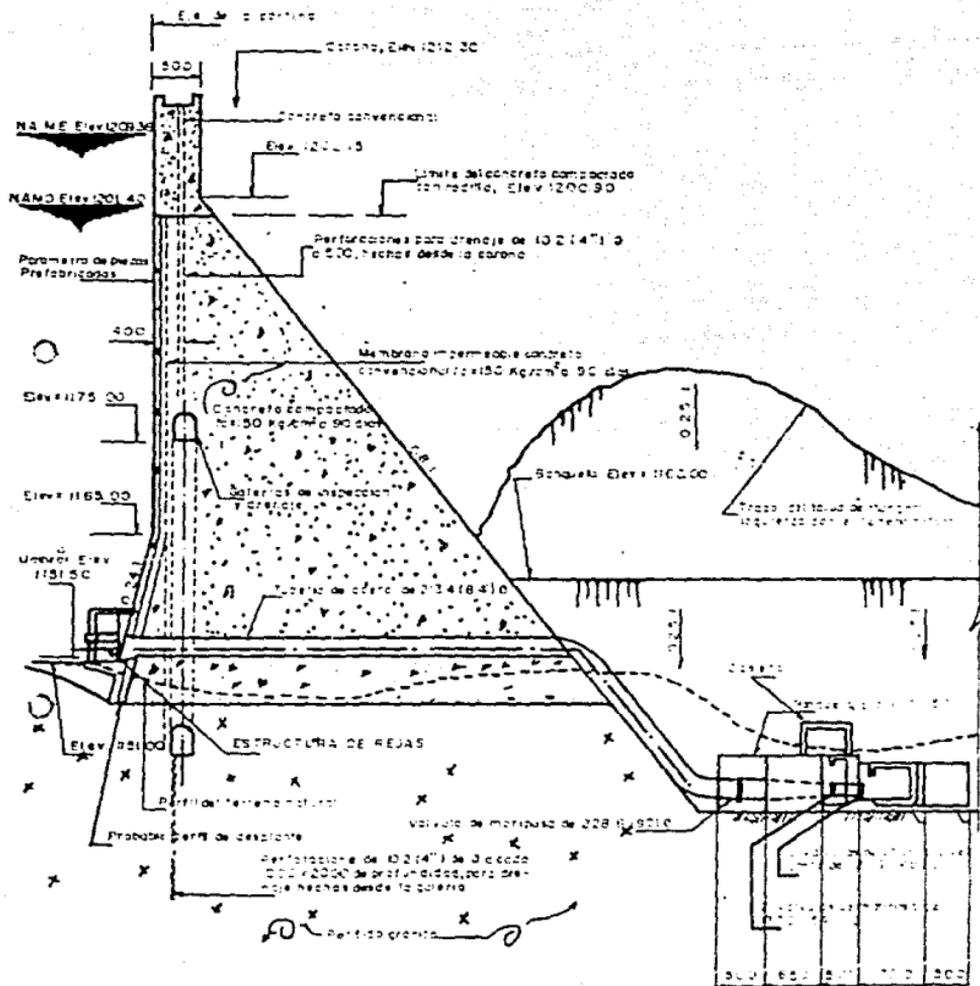
13.- Anclas de 19.1 mm (3/4") \emptyset colocados en el concreto compactado con rodillo (CCR).



VISTA EN PLANTA



SECCION VERTEDOR Y O DE TOMA PROVISIONAL



CORTE POR EL EJE DE LA OBRA DE TOMA
 SUPERFICIES EN HECTAREAS

1.4. ESTUDIOS PRELIMINARES.

En todos los tipos de presas, el propósito puede ser variado tanto como para irrigación, control de avenidas, uso doméstico e industrial, energía hidroeléctrica, retención de azolves, como ataguía, para desviación o alguna combinación de estas.

Para diseñar una estructura y proporcionar un almacenamiento en cualquiera de todos éstos propósitos parámetros físicos, tales como altura estructural, perfil del cañón, propiedades de los materiales y condiciones de la cimentación - deberán considerarse. La complejidad de carga incluyendo la sismicidad, pueden requerir de métodos sofisticados de análisis. Por su puesto, una consideración principal es el tiempo para hacer el diseño y los fondos para la recopilación de datos y procesos de investigación.

Los estudios preliminares se realizan tanto en el campo como en el gabinete y básicamente comprenden:

- a) Visita de inspección.
- b) Estudios socio-económicos.
- c) Estudios técnicos.
- d) Anteproyecto y conclusiones.

Con éstos estudios se consigue conocer la factibilidad-económica y constructiva de un proyecto y conducen a un anteproyecto con su respectivo antepresupuesto con el cual además de que se determinará si deben efectuarse a continuación los estudios definitivos permiten hacer definiciones y comparaciones, para finalmente tomar alguna decisión.

a) Visita de Inspección.

Es efectuar un reconocimiento al lugar del proyecto consistiendo esencialmente en una inspección ocular del sitio, y la recopilación de datos que ayudan a tener una idea del proyecto que posteriormente servirá de base para la formulación de anteproyectos y estar en condiciones de visualizar el problema, para tomar de inmediato en ciertos casos algunas decisión sobre la factibilidad decisiva del aprovechamiento y ordenar la continuación o suspensión de los demás estudios. Ya que la presa Trigomil está dentro del Estado de Jalisco y se encuentra sentada sobre el Rfo Ayuquila, punto intermedio entre las presas Tacotán y El Corcovado; la Trigomil es la segunda presa que se construye actualmente en el sistema de concreto compactado con rodillo (CCR), que ofrece ventajas de durabilidad, resistencia, menor tiempo de colocación y bajo costo.

b) Estudios Socio-Económicos.

Puesto que el objetivo principal que se persigue con una presa de almacenamiento destinada de riego, es el mejorar la producción agropecuaria y consecuentemente construir al mejoramiento socio-económico de la comunidad rural ha que se destinan. Con estos estudios se conoce principalmente el alcance de esos objetivos y la forma de asegurar al máximo aprovechamiento de la inversión a que dá lugar la futura obra de riego. El objeto de la construcción es proveeder de riego al distrito de Gullo-Autlán y el Limón dominando actualmente 9,389 ha., aunque con riego deficiente que están operando en el distrito de riego Autlán-El Grullo pero tomando en cuenta que hay la factibilidad de incorporar al riego otras 8,636 ha. con tierras de buena calidad algunas de las cuales se encuentran con riego por bombeo, principalmente en el Valle de Autlán.

c) Estudios Técnicos.

Los estudios técnicos preliminares comprenden principalmente la obtención de una serie de datos que son básicos e indispensables para la formulación de una o varios anteproyectos, mediante los cuáles se determinarán las características-

generales y más notables del proyecto definitivo por índole - de los gastos recabados, dichos estudios se clasifican como - sigue:

- a) Topográficos.
- b) Geológicos.
- c) Hidrológicos.
- d) Agrológicos.
- e) Mecánica de suelos.

Varios de los datos determinados en ésta etapa son obtenidos con procedimientos poco aproximados pero suficientes para el caso; a otros empleando y resumiendo a métodos más precisos de tal manera que se pueden considerar como definitivos para el diseño del proyecto. Los estudios que se mencionan - serán tratados más ampliamente en el capítulo siguiente.

d) Anteproyecto y Conclusiones.

Al elaborar en el gabinete varios anteproyectos en base a los datos obtenidos del campo; se estará en posibilidad de discutir las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, desde los puntos de vista de funcionamiento, eficiencia, costo, programas de carácter constructivo, etc., y una vez hecho es-

to, se contará con elementos de juicio suficientes para tomar preferencia hacia una alternativa.

Basándose con todos los estudios preliminares en "las conclusiones" se deberá señalar la conveniencia o inconveniencia del aprovechamiento; las características de la obra, así como las recomendaciones que se juzguen necesarias para la buena planeación de la obra de almacenamiento. El diagnóstico es favorable para la realización del proyecto ya que esta obra tiene el sistema de concreto compactado con rodillo ofrece dos ventajas principales; ahorra tiempo y costo. Representando un nuevo concepto en la construcción de presas en nuestro país, ya que es un concreto con una característica de 0 - revenimiento es transportado, colocado y compactado utilizando el equipo de construcción de que usa normalmente para terracería.¹

(1) Ibid., pp. 69-70.

CAPITULO II

ESTUDIOS BASICOS

CAPITULO II

ESTUDIOS BASICOS

- El presente estudio tiene como objeto al determinar la factibilidad técnica para la construcción de la presa Trigomil sobre el Río Ayuquila en el Estado de Jalisco, con el fin de abastecer una superficie física de riego de 18,264 hab.
- El Río Ayuquila, nombre con el que es conocido el Río Armerfa en la primera parte de su recorrido, nacen a unos 17km. al Suroeste de Ameca, Jal., a una altitud de 2,500 m. Sus escurrimientos están controlados por la presa Tacotán, la cual se localiza a unos 10 km. al Noroeste de Unión de Tula, Jal. siendo su finalidad principal complementar la demanda del distrito de riego Autlán-El Grullo, no surtidas por la aportación del tramo Tacotán-Derivadora El Corcovado.
- El proyecto El Corcovado se encuentra aguas arriba de este último sitio y capta en su mayor parte los escurrimientos del tramo antes mencionado, permitiendo un mejor aprovechamiento de los mismos.
- Las obras hidráulicas existentes en la zona del proyecto -

dominan una extensión de 9,648 ha., bajo riego; mediante un sistema de distribución de 176 km. de canales sin revestir, cuya obra de cabecera es la presa de almacenamiento Tacotán con una capacidad de 147.47 M m³ y la derivadora El Corcovado con una red de drenaje de 105 km. de longitud. Aguas arriba de las zonas del proyecto se encuentran las presas Alcaparosa y Charco Azul con una capacidad de 7 a 14 M m³, las cuáles benefician una superficie de 750 y 400 ha. respectivamente, localizándose también en la región. Manantlán varios manantiales, los cuales disponen de obras de captación y conducción, para los fines de riego y suministro de una agua potable a los poblados cercanos.²

II.1. ESTUDIO TOPOGRAFICO.

Los Valles de Autlán y el Limón cuya superficie total es del orden de 210 km², se hallan enclavados con una región francamente montañosa, rodeados con las atribuciones de la Sierra de Perote, que a su vez forma parte de la Sierra Madre del Sur. Estas elevaciones residen por el Norte y el Poniente, el nombre de Sierra Cacoma; y por el Sur, el de Sierra Manantlán. Otros accidentes orográficos son: Al oriente de la zo

(2) SARH Estudios Básicos, México 1981, pp. 1-2.

na, los cerros denominados lobos, Ahucatitlán y el Zapote, y en la porción occidental una de las últimas estribaciones de la Sierra Cacoma (denominada Sierra de la Vainilla) que desciende hasta el propio Valle de Autlán, a su vez ambos Valles se hallan separados entre sí por el Cerro de la Presa. El relieve del área que domina la unidad de riego es sensiblemente plano, con pendientes moderadas, en tanto que en las zonas de ampliación ubicadas en ambos Valles, las pendientes son algo más pronunciadas.

A continuación se mencionarán las aguas de cuenca drenada del Rfo Ayuquila.

| | |
|---|-----------------------|
| Hasta la presa Tacotlán. | 1,167 km ² |
| Cuenca parcial tramo Tacotán-Trigomil. | 9,78 km ² |
| Cuenca parcial tramo Tacotán-Corcovado. | 1,239 km ² |
| Tacotán hasta Trigomil. | 2,145 km ² |

Para el sitio Trigomil se tiene una elevación al lecho del cauce de 1,120 m.s.n.m., y a la elevación de 1,210 m.s.n.m., se encuentran la máxima capacidad con un valor de 330 millones de m³ y una área de embalse de 1,020 ha.

Para el sitio Tacotán se tiene el lecho de cauce y la máxima capacidad a las elevaciones de 1,345.0 y 1,410.3 m.s.n.m. respectivamente, mientras que el área máxima de embalse interpretada es de 580 ha., gráfica No. 2.²

II.2. ESTUDIO HIDROLOGICO.

II.2.1. PRECIPITACION MEDIA EN LA CUENCA DEL RIO AYUQUILA.

Mediante los polígonos de Thiessen y considerando un periodo de 38 años (1943-1980), se determinaron los valores de precipitación media para la cuenca del Río Ayuquila hasta la presa Tacotán, así como también para las cuencas parciales correspondientes a los tramos Tacotán-El Corcovado y Tacotán - Trigomil. Lo anterior con el fin de generar las aportaciones al tramo Tacotán-Trigomil. Las precipitaciones medias anuales obtenidas son las siguientes:

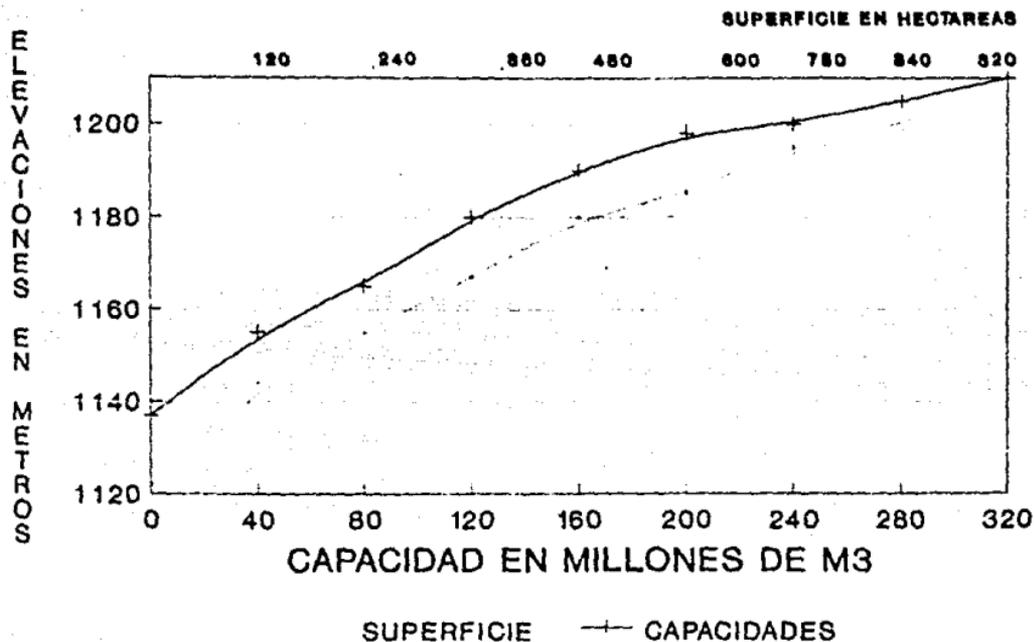
Hasta Tacotán. 870 mm.

Cuencas parciales:

Tacotán-El Corcovado. 802 mm.

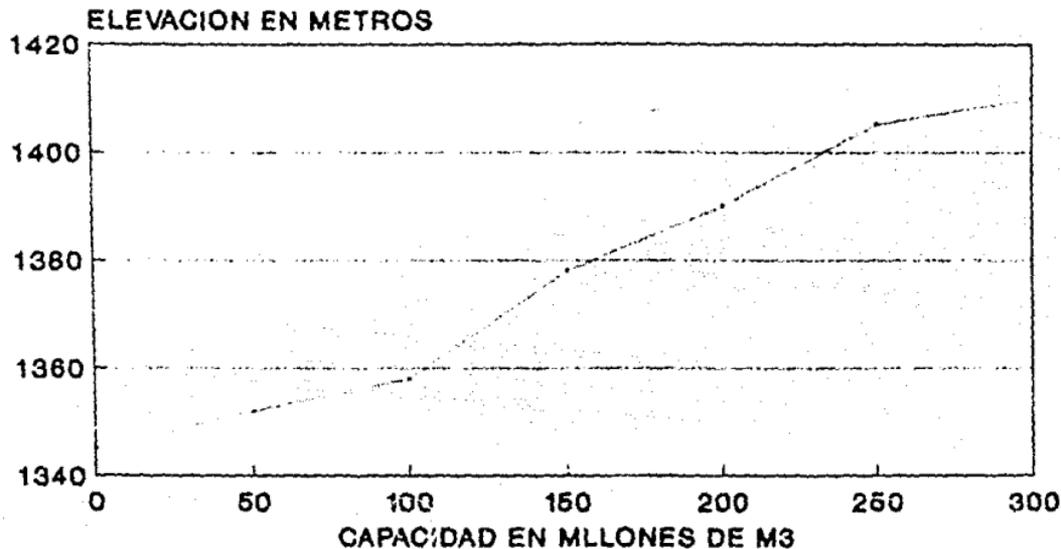
(2) Ibid., pp. 5-6.

PROYECTO AUTLAN "EL GRUYO", JALISCO
 GRAFICA DE ELEVACION-AREAS-CAPAC.
 VASO TRIGONIL



GRAFICA No 1

PROYECTO AUTLAN "EL GRULLO" JALISCO
GRAFICA DE ELEVACION-AREAS-CAPACIDADES
VASO TACOTAN



ELEV./AREAS CAPACIDS

ELEV./AREAS CAPACIDS

Tacotán-Trigomil. 850 mm.

II.2.2. TEMPERATURA MEDIA EN LA ZONA DE RIEGO.

Debido a la localización de la zona de riego, se consideró como temperatura media para la misma, el promedio aritmético de las estaciones climatológicas Autlán y el Grullo, con un periodo de 33 años (1948-1980), para el cual se obtuvo una temperatura media anual de 23.8°C. En el cuadro siguiente, se puede apreciar la variación mensual:

PROYECTO AUTLAN-EL GRULLO, JAL.

TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES EN LA ZONA DE RIEGO. PERIODO 1948 - 1980.

| MES | TEMPERATURA MEDIA EN GRADOS C. |
|-------------|--------------------------------|
| Enero | 20.1 |
| Febrero | 21.0 |
| Marzo | 22.5 |
| Abril | 24.3 |
| Mayo | 26.1 |
| Junio | 26.6 |
| Julio | 25.4 |
| Agosto | 25.4 |
| Septiembre | 25.3 |
| Octubre | 24.7 |
| Noviembre | 22.8 |
| Diciembre | 20.9 |
| Media Anual | 23.0 |

Nota: Se tomaron los promedio registrados en las estaciones Autlán y el Grullo.

II.2.3. PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA ZONA DE RIEGO.

Al igual que la temperatura media para este concepto - también se consideró el valor aritmético de las estaciones - climatológicas El Grullo y Autlán con el periodo mencionado - anteriormente como representativo para la zona de riego. Los meses más lluviosos son de Junio a Septiembre, ya que en - ellos se encuentra el 77.5% de la lluvia anual cuyo valor es - de 745.3 mm. En el cuadro siguiente se puede apreciar la va - riación de la precipitación media anual:

PROYECTO AUTLAN-EL GRULLO, JALISCO.
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA ZONA
DE RIEGO (MM). PERIODO 1948 - 1980.

| MES | PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (MM) | % |
|---------------------------------------|----------------------------------|--------|
| Enero | 21.2 | 2.844 |
| Febrero | 7.7 | 1.033 |
| Marzo | 6.9 | 0.926 |
| Abril | 7.9 | 1.060 |
| Mayo | 14.7 | 1.972 |
| Junio | 126.2 | 16.933 |
| Julio | 183.0 | 24.554 |
| Agosto | 142.0 | 19.053 |
| Septiembre | 126.7 | 17.000 |
| Octubre | 70.4 | 9.446 |
| Noviembre | 20.9 | 2.804 |
| Diciembre | 17.4 | 2.334 |
| Precipitación Media Anual en (MM). | 745.3 | 100% |

II.2.4. REGIMEN DE ESCURRIMIENTO EN EL RIO AYUQUILA HASTA LOS SITIOS TACOTAN-TRIGOMIL-CORCOVADO.

Con la finalidad de rehacer el régimen virgen de escurrimiento del Rfo Ayuquila hasta la presa Tacotán y conocer las aportaciones de los tramos Tacotán-Corcovado, Trigomil-Corcovado y Tacotán-Trigomil, se realizó el análisis hidrométrico del Rfo Ayuquila con el auxilio de los datos observados en las estaciones hidrométricas que son: Tacotán, Tacotán II, Tacotán D.A., y el Corcovado operando la primera en régimen virgen hasta el año de 1957, en que empezó almacenar la empresa Tacotán y hubo la necesidad de recolizarla aguas abajo de la misma para mejorar las extracciones. A partir de ese año, la información hidrométrica del Tacotán, en lo que a entradas de la empresa de refiere, procediendo de la siguiente forma:

REGIMEN VIRGEN HASTA EL SITIO DE LA PRESA DE TACOTAN.

Para el período de 1943 - 1956 se consideraron los datos considerados en las estaciones Tacotán y Tacotán II a partir de Enero de 1957 a 1980; se tomaron los datos de jurisdicción histórica de la presa Tacotán, obteniéndose así un período de datos de escurrimientos de 38 años (1943-1980)- para el cual se estimó un escurrimiento medio anual de 184.4-

millones m^3 .

APORTACION DEL TRAMO TACOTAN-CORCOVADO.

Se determinó la aportación del tramo Tacotán-Corcovado para lo cual se obtuvo un período común, es decir, se completaron los datos de estación El Corcovado, con base en lo de Tacotán, mediante un correlación de datos simultáneos (de Agosto 1955 - 1980 a 1943-1980). Posteriormente se estimó la aportación del tramo prestándole a los escurrimientos de el Corcovado a los de Tacotán, reportando las aportaciones del tramo Tacotán-Corcovado, el cuál tiene un valor medio anual de 158.3 millones de m^3 .

APORTACIONES DEL TRAMO TACOTAN-TRIGOMIL.

Una vez obtenidas las aportaciones del tramo Tacotán - El Corcovado, se determinarán las respectivas para el tramo Tacotán-Trigomil, ponderando las áreas-precipitaciones y pendientes dentro de la cuenca general. Para el tramo Tacotán-Trigomil se tiene un valor medio anual de 126.8 millones de m^3 .

APORTACIONES DEL TRAMO TRIGOMIL CORCOVADO.

En base a los aportes ya obtenidos de los tramos Tacotán-Corcovado y Tacotán-Trigomil, se obtuvieron los aportes por tramo Trigomil-Corcovado, esto es, se resto del tramo Tacotán-Trigomil, obteniéndose de ésta manera los aportes por tramo de Trigomil-Corcovado, que tiene un valor en promedio anual de 31.4 millones de m².²

11.2.5. REGIMEN DE DEMANDAS.

AREA BENEFICIADA:

La superficie beneficiada es de 18,264 ha., que se localizan en el distrito de riego Autlán-El Grullo, inmeditamente agua abajo de la derivadora el Corcovado en ambas márgenes del Rfo Ayuquila.

La zona del distrito Autlán-El Grullo está comprendida entre las coordenadas geográficas 19° 40' y 19° 51' de latitud Norte y 104° 07' y 104° 25' longitud Oeste y dentro de la misma se encuentra Autlán y el Grullo como poblados principales.

(2) Ibid., pp. 8 a 11.

NECESIDADES DE RIEGO.

La necesidad de agua de los cultivos durante su periodo vegetativo fueron determinados para el método de Blaney-Criddle, utilizando las temperaturas medias mensuales correspondientes a la zona de riego.

Las láminas netas de riego se calcularon restándole al uso consultivo o evapotranspiración la precipitación aprovechable. En la estimación de la lámina neta se considero como mínimo una de 5cm.

Para el plan de cultivos "A" se obtuvo una lámina neta de 0.87 m. y para el plan de cultivos "B", una de 0.95 m. para cuantificar las láminas brutas de riego como se consideró una eficiencia de conducción igual a 75% y una parcelaría de 70%, dando una eficiencia global de 53%.

La lámina bruta anual estimada para el patrón de cultivo "A" fue igual a 1.64m. y para el patrón el cultivos "B" de 1.80m.

La distribución mensual de la demanda para los patrones de cultivos antes mencionados se muestra en el cuadro No. 1.

CUADRO No. 1

PROYECTO AUTLAN-EL GRULLO, JAL.

SISTEMA TACOTAN-TRIGOMIL

Distribución de la Demanda en %

| MES | PATRON DE CULTIVOS "A" | PATRON DE CULTIVOS "B" |
|----------------|------------------------|------------------------|
| ENERO | 8.60 | 8.78 |
| FEBRERO | 10.90 | 10.06 |
| MARZO | 12.30 | 10.91 |
| ABRIL | 11.40 | 8.99 |
| MAYO | 4.80 | 6.87 |
| JUNIO | 4.30 | 6.67 |
| JULIO | 6.40 | 6.69 |
| AGOSTO | 9.40 | 9.22 |
| SEPTIEMBRE | 8.60 | 8.79 |
| OCTUBRE | 9.00 | 7.75 |
| NOVIEMBRE | 6.80 | 8.04 |
| DICIEMBRE | 7.50 | 7.23 |
| TOTAL | 100.00 | 100.00 |
| L.B. (m) | 1.64 | 1.80 |
| EFICIENCIA (%) | 53 | 53 |

donde se puede observar que tienen ambos similitud.²

II.2.6. DATOS COMPLEMENTARIOS.

CAPACIDAD MUERTA.

El valor de la capacidad muerta en la presa Tacotán se toma tal como se indica en el boletín hidrológico No. 41 de la región hidrológica correspondiente (10.2 millones de m^3), mientras que la de Trigomil se estimó en base a los registros sólidos en suspensión de la estación hidrométrica a las piedras. Ubicada sobre el Rfo San Miguel, estimándose un contenido medio por volumen de 1,075 partes por millar, por lo que la capacidad para azolves calculada para la presa Trigomil - considerando una vida útil de 50 años y un 33% por concepto de arrastre de fondo, resultó ser de 9.11 millones de m^3 que aproximada a los 10 millones m^3 , adaptándose este último valor.

VOLUMEN INICIAL EN LOS VASOS.

El vaso Tacotán no se le asignó demanda de riego ya que su función será dar auxilio al vaso Trigomil, cuando así lo -

(2) *Ibid.*, pp. 12-13.

requiera, por lo que se ha considerado un almacenamiento inicial para el mismo de 114.1 millones de m^3 , cantidad que representa el 77% en su capacidad total. Para el vaso Trigomil se le asignó una capacidad de 10 millones de m^3 , esto es debido a que en el mes de Enero los escurrimientos son casi nulos.²

FUNCIONAMIENTO DE LOS VASOS PARA RIEGO.

SISTEMA PRESA TACOTAN-PRESA TRIGOMIL.

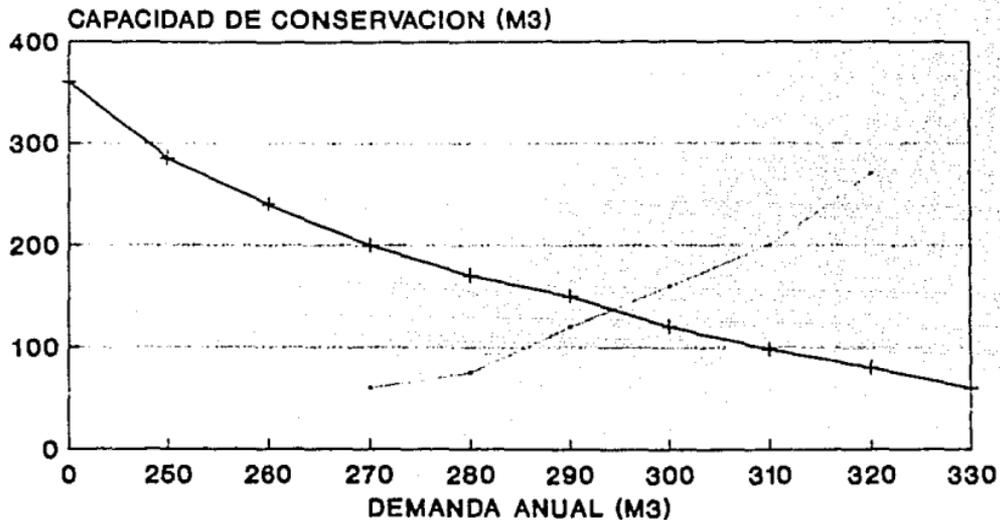
Se afectó la asimilación del funcionamiento del sistema Tacotán-Trigomil considerando que el sistema cubrirá los déficit generados en la demanda al derivar el tramo Trigomil-Corcovado.

La simulación se llevó a cabo variando la capacidad de conservación en la presa Trigomil en un rango de 50 a 350 millones de m^3 , asignándole una capacidad de 10 millones de m^3 en todos los casos analizados.

Los resultados obtenidos, fue que el máximo aprovechamiento se obtiene con una capacidad de conservación igual a -

(2) Ibid., pp. 14 a la 17.

PROYECTO AUTLAN EL GRULLO, JALISCO
 RESULT.DE LA SIMILACION DEL SIST.-TRIGOM
 APROVECHAMIOENTO %



--- APROVECHAMIENTO % + APROVECHAMIENTO %

GRAFICA No. 3

250 millones de m^3 , siendo posible con ella dominar una superficie de 19, 500 y 17,767 ha., para láminas brutas medias anuales de 1.64 y 1.80 m. respectivamente, en su representación en la gráfica No. 3.²

II.2.7. ESTUDIO DE AVENIDAS.

AVENIDAS MAXIMAS REGISTRADAS.

En la estación hidrométrica Tacotán se dispone de registros de gastos máximos de 1943 a 1956 y mediante una correlación de gastos medios diarios-gastos máximos anuales se amplió la muestra hasta el año de 1983, siendo importante destacar que el asentado en el boletín hidrométrico No. 41, para el año de 1943 ($1612 m^3/seg$), fue modificado por la subdirección de hidrología a uno de $842.9 m^3/seg$. La muestra de gastos máximos analizadas se muestran en el cuadro No. II de donde se infiere que la avenida máxima ocurrió en el año de 1944 con un valor de $1066 m^3/seg$.

HIDROGRAMA DE LA AVENIDA.

Debido a la carencia de información de avenidas en la -

(2) Ibid., pp. 14 a la 17.

CUADRO No. II

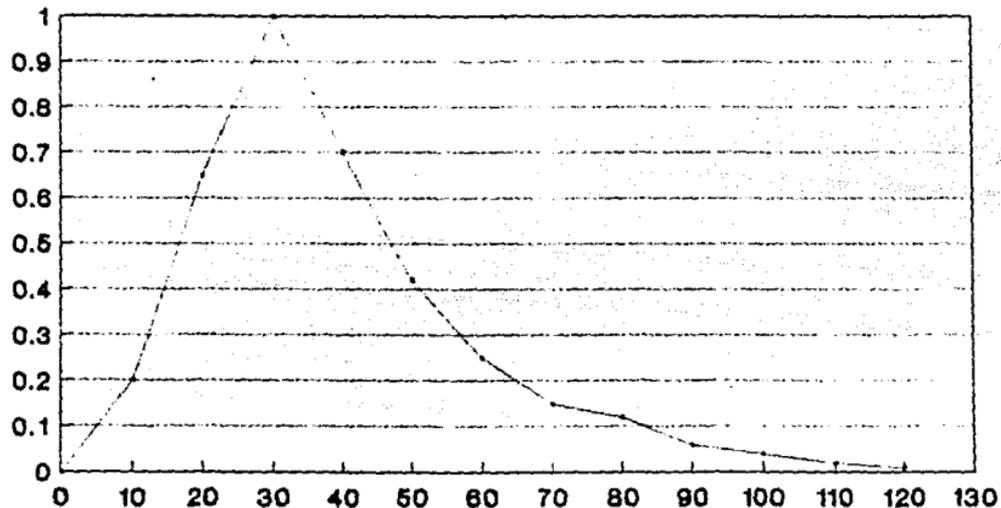
PROYECTO AUTLAN - EL GRULLO, JAL.

GASTOS MAXIMOS

| AÑO | GASTO MAXIMO m ³ /seg. | AÑO | GASTO MAXIMO m ³ /seg. |
|------|--------------------------------------|------|--------------------------------------|
| 1943 | 872.9 | 1964 | 140.5 |
| 1944 | 1066.2 | 1965 | 285.1 |
| 1945 | 388.7 | 1966 | 198.3 |
| 1946 | 132.1 | 1967 | 756.0 |
| 1947 | 164.6 | 1968 | 625.2 |
| 1948 | 161.5 | 1969 | 238.5 |
| 1949 | 161.4 | 1970 | 188.5 |
| 1950 | 172.5 | 1871 | 431.1 |
| 1951 | 113.0 | 1972 | 159.5 |
| 1952 | 271.8 | 1973 | 321.5 |
| 1953 | 52.7 | 1974 | 166.2 |
| 1954 | 87.8 | 1975 | 130.6 |
| 1955 | 150.4 | 1976 | 192.4 |
| 1956 | 70.6 | 1977 | 264.0 |
| 1957 | 187.1 | 1978 | 122.0 |
| 1958 | 278.2 | 1979 | 176.0 |
| 1959 | 178.0 | 1980 | 158.0 |
| 1960 | 347.5 | 1981 | 164.0 |
| 1961 | 176.1 | 1982 | 90.0 |
| 1962 | 260.7 | 1983 | 150.0 |
| 1963 | 207.0 | | |

La avenida máxima registrada ocurrió el 6 de septiembre de 1944 con un gasto igual a 1,066 m³/seg.

PROYECTO AUTLAN-AL GRULLO, JAL.
HIDROGRAMA DE DISEÑO DEL VASO
TACOTAN ADIMENSIONAL



— HIDROGF. DE DISEÑO

GRAFICA No. 4

cuenca parcial de la presa Tacotán se optó por deducir con base en la avenida utilizada como de proyecto y en las características de la obra de excedencia.

Después de transitar la avenida mencionada en varias - ocasiones y con diferentes formas de hidrograma, se llegó a la conclusión de que ésta tiene forma semejante a la mostrada en la gráfica No. 4, con la cual se mantienen las condiciones actuales de NAME y el gasto máximo de descarga, siendo éste - de $2000 \text{ m}^3/\text{seg.}^2$

II.2.8. ESTIMACION DE LAS AVENIDAS MAXIMAS.

MÉTODOS PROBABILÍSTICOS.

En base del tipo estimado hasta la presa Tacotán mediante métodos probabilísticos y utilizando el criterio de lowry - se estimó el correspondiente a la cuenca parcial del tramo - Tacotán-Trigomil cuya área es igual a 978 km^2 . Los resultados obtenidos son los siguientes:

(2) Ibid., pp. 20-22.

| PERIODO DE RETORNO (AÑOS) | GASTO MAXIMO (m ³ /seg). |
|------------------------------|--|
| 100 | 1095 |
| 1000 | 1570 |
| 10,000 | 3132 |

Con el poco poder regulador de la presa Tacotán, el gas to máximo para la presa Trigomil también fue estimado, considerando el área de cuenca total hasta la presa Trigomil (2,145 km²), y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

| PERIODO DE RETORNO (AÑOS) | GASTO MAXIMO (m ³ /seg) |
|------------------------------|---------------------------------------|
| 100 | 1361 |
| 1000 | 1951 |
| 10,000 | 2660 |

RACIONAL DE GREGORY-ARNOLD.

Los principales factores considerados para la aplicación del método racional fueron:

Area de Cuenca. 2,145 km²

| | |
|--------------------------------|----------------------|
| Longitud del cauce. | 98.8 km ² |
| Pendiente al millar. | 4.43 |
| Curva de tormenta. | 0.50 |
| Curva de infiltración. | 0.50 |
| Precipitación media en 24 hrs. | 2.50 mm |
| Tiempo de retorno. | 10,000 años |
| Infiltración horaria. | 2.5 mm/hr. |

Obteniéndose los siguientes resultados:

| | |
|--------------------------------|----------------------------|
| Gasto máximo probable. | 6,444 m ³ /seg. |
| Tiempo de concentración. | 12.7 hrs. |
| Coefficiente de escurrimiento. | 0.76 |

De los resultados antes expuestos se concluye que la presa Tacotán, cuenta con capacidad para superalmacenamiento-adeecuado, si se presentará la avenida máxima probable con período de retorno igual a 10,000 años, y el gasto de diseño del vertedor (2,000 m³/seg), es similar al máximo que se alcanzaría, por lo cual, no es recomendable emplearse el primer criterio mencionado al inicio de este capítulo.

Respecto al criterio mencionado en segundo término, si sumamos a la descarga máxima de la presa Tacotán la correspon

diente al tramo Tacotán-Trigomil para un período de retorno - de 100 años ($1,095 \text{ m}^3/\text{seg}$), de la avenida para la presa Trigomil tendrá un valor de $3,095 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Ahora bien, el gasto estimado hasta el sitio Trigomil - sin considerar la regulación en la presa Tacotán, corresponde al promedio a $4,394 \text{ m}^3/\text{seg}$. Para un período de retorno igual a 10,000 años.

De acuerdo a los resultados mencionados anteriormente - se considerará que los obtenidos en considerar la presa Tacotán, es el más recomendable para el diseño de la obra de la presa-Trigomil, aproximando ese gasto a $5,000 \text{ m}^3/\text{seg}$, dando con ello mayor peso al resultado obtenido. Con el método racional de Gregory/Arnold.²

II.3. ESTUDIO GEOLOGICO.

El valle del Grullo-Autlán, pertenece a la subprovincia de la zona montañosa del suroeste del país, la cual forma parte de la provincia denominada Sierra Madre del Sur.

(2) Ibid., pp. 23-24.

En dicho valle afloran suelos y depósitos aluviales y - de talud, formaciones éstas que pertenecen a la época recientes procedente del final terciario, se observan a los alrededores del valle sedimentos volcánicos que dieron lugar a la formación de tobas como las persistentes en el poblado de Unión de Tula. Igualmente se notan emisiones de corrientes basálticas, tales como las que aparecen al norte de la misma localidad.

Al Oriente del valle se depositaron, durante el mismo - período tobas riolíticas.

El volcanismo "aún no extinto en la región" originó en ese entonces los andesíticos, las brechas de elementos andesíticos y las tobas andesíticas que se distinguen por su color rojizo y que puede observarse en el sitio donde se construyó la presa de almacenamiento a Tacotán.

Durante el mismo período ocurrieron las intrusiones - de granitos y porfidos graníticos con fenocristales de feldespatos y cuarzo que afloran en el cauce del Rfo Ayuquila, así como los pequeños diques dioríticos de coloración gris verdosa, con mineralización de pirita y calcopirita que aisladamente - han intrusado las rocas. La formación más importante del terciario, es la conocida con el nombre de tuxcacueso. Fue -

cortada por el Río de éste nombre hacia el Noreste de la población el Grullo y consiste en una secuencia de conglomeradas areniscas y lutitas de coloración rojiza, sus conglomerados están constituidos por clastos de calizas y rocas ígneas dispuestas según un matriz arena-arcillosa cálcarea.

II.4. ESTUDIO AGROLOGICO.

La superficie que cubre el estudio agrológico es de 22,960 ha., identificándose 6 series de suelo denominados; por Corcovado, Mentidero, Rodeo, Autlán, Grullo y Ayuquila. La clasificación de suelo según su aptitud agrícola bajo riego, mostró suelos de primera a sexta clase, siendo los factores demeritantes la textura superficial, permeabilidad, relieve, salinidad, drenaje superficial, manto freático elevado y tendencia a encharcamientos. La insuficiencia del sistema de distribución de agua, incide que una gran parte de los suelos, solo se explotan bajo la modalidad de temporal, teniendo como consecuencia bajos rendimientos y restricciones para efectuar segundos cultivos, por otra parte las condiciones de bajo drenaje son inadecuadas motivando que algunas zonas en nivel de aguas freáticas sea elevada y con lleve altas concentraciones de sales y sodio; además se adolece de una nivelación de suelos. Con base a lo anterior se determinaron 20,730 hectáreas; ne--

tas a partir de su aptitud agrícola para riego, los suelos de primera cubren una superficie de 3,642 ha., (17.6%): Los de segunda 9,506 ha., (45.9%): De tercera 7,161 ha., (25.6%) y - 421 ha. de cuarta (2.0%).³

II.5. ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS.

a) ANTECEDENTES.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ha programado la ejecución de un tratamiento de inyectado para mejorar las condiciones de impermeabilidad y capacidad de carga bajo la cortina, de la presa "Trigomil" ubicada sobre el Rfo Ayuquila.

b) OBJETIVOS.

Disminuir las filtraciones que pudieran aparecer a través de la cimentación de la presa a lo largo del eje de la cortina, así como mejorar las características de residencia del macizo rocoso de desplante bajo la sección de gravedad de la cortina.

(3) SARH, Dirección General de Estudios, México 1985. p.5-10.

c) TRABAJOS REQUERIDOS.

Para lograr lo anterior dentro de límites aceptables, se requiere la ejecución de un tratamiento de inyectado consistente en un tapete de consolidación.

La realización de estos trabajos se efectuarán una vez concluidos las excavaciones de limpia, que consistirán en la remoción del suelo vegetal y del material alterado, iniciando la perforación de los pozos para inyectado en el perfil de desplante que será definido en campo luego que se haga la nivelación topográfica.

II.5.1. CORTINA.

Se requiere la ejecución de un tapete de consolidación con mezclas agua-cemento-bentonita en la zona de la sección de gravedad de la cortina, desde la estación 0+000 hasta la estación 0+260 a partir de la superficie de desplante de la roca de cimentación. Las perforaciones estarán localizadas en forma de cuadrícula de 10m. por lado para inyectarse en primera etapa; en segunda etapa se perforarán barrenos localizados en el centro de la cuadrícula primaria, en aquellas zonas donde los consumos de cemento sean mayores de 50 kg/m.

De la Est. 0+000 a la Est. 0+100 la profundidad de los barrenos será de 15.0 m inclinados 20° hacia la margen izquierda, de la Est. 0+100 a la Est. 0+180 la profundidad será de 10.0 m y los barrenos serán verticales y de la Est. 0+180 de la Est. 0+260 los barrenos tendrán una profundidad de 10.0m., con inclinación de 20° hacia la margen derecha. En las estaciones donde los barrenos cambian de dirección se deberán ejecutar las dos perforaciones es decir tanto el inclinado 20° como el vertical.

Adicionalmente, para impermeabilizar la zona de intenso fracturamiento y alta permeabilidad existente en el empotramiento de la margen derecha se realizarán en la Est. 0+260 sobre el eje de la cortina, cuatro barrenos de 30.0 m de profundidad, en forma de abánico, el primero vertical y los otros tres a 15° , 30° y $45'$ respecto al primero, todos ellos en un plano vertical.

El inyectado de los barrenos se efectuará con el procedimiento de progresiones ascendentes de 5.0m de longitud cada una y en caso de que no se pueda utilizar este procedimiento se cambiará al de progresiones descendentes de la misma longitud.

TAPETE DE CONSOLIDACION EN CORTINA

| ESTACION | INCLINACION RESPECTO A LA VERTICAL (GRADOS) | DIRECCION |
|---------------|---|-----------|
| 0+000 a 0+100 | 20° | M.I. |
| 0+100 a 0+180 | Vertical | ---- |
| 0+180 a 0+260 | 20° | M.D. |

II.5.2. CONSIDERACIONES GENERALES RELATIVAS A LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS.

Estas especificaciones son aplicables a los conceptos siguientes: Perforación y lavado para pozos de inyectado; perforación para pozos de tapete de consolidación, instalación de empaques y conexiones para inyectado; suministro, mezclado e inyección de las lechadas o morteros; y cualquier otra operación relacionada con la perforación y el inyectado.

El tipo de mezcla para este tratamiento, así como el procedimiento de inyección, son función de las características del macizo rocoso (separación de fracturas o fisuras, aberturas y tipo de relleno, permeabilidad, orientación, etc.).

Las presiones de inyección serán las adecuadas para no producir el fracturamiento del macizo rocoso y para garantizar el sellado de las fisuras, grietas, fracturas o cualquier otro tipo de discontinuidades geológicas.

Con el fin de encontrar la mezcla más apropiada para el tratamiento de cada pozo en particular, en la tabla No. 2 se presentan las mezclas con los proporcionamientos recomendables, en peso, para el tratamiento de inyección así como el criterio para cambios de mezclas que está en función del consumo de sacos de cemento.³

TABLA No. 2

| MEZCLA | REL A/C | BENTONITA | NUMERO DE SACOS DE CEMENTO PARA CAMBIO DE MEZCLA. |
|--------|---------|-----------|---|
| 1 | 3/1 | 0.01 | 5 |
| 2 | 2/1 | 0.045 | 10 |
| 3 | 1/1 | 0.02 | 20 |
| 4 | 0.8/1 | 0.01 | 20 |
| 5 | 0.7/1 | 0.005 | CONTINUAR HASTA CERCA DEL RECHAZO DEL POZO. |

(3) Ibid., pp. 14 a la 18.

MATERIALES PARA ELABORACION DE MEZCLAS.

Agua:

Se podrá utilizar del rfo, siempre y cuando sea fresca y limpia.

Cemento:

Para la inyección se utilizará, preferentemente cemento-tipo I el cual deberá cumplir las especificaciones de la S.A.R.H. para cemento portland de este tipo; deberá ser suministrado en sacos de papel y se deberá almacenar en una bodega debidamente protegida, con cantidad suficiente, para que los trabajos de inyectado no se suspendan.

Bentonita:

Se utilizará del tipo sódica, Perfobent o Lodbent en polvo, la cual deberá hidratarse en Rel. A/B=10 con 24 hrs. de anticipación.

EQUIPO DE PERFORACION.

La máquina de perforación que se utilizará, debe tener en la barra de ataque un movimiento combinado de percusión y

rotación, siendo preferible se use agua como fluido para resagar.

El diámetro de perforación será de 3 1/2" (8.26cm.) como máximo, sin obtención de corazones, que estará condicionado a que en las paredes de la perforación se puedan fijar los empques de inyección.

EQUIPO DE INYECCION.

El equipo que se utilice para la elaboración de las mezclas de inyección deberá producir productos homogéneos que satisfagan, sin presentar variaciones significativas y estará compuesta en general por un digestor de bentonita a 1200 rpm., un turbo mezclador de 1,200 rpm., como mínimo, agitadores de baja velocidad (60 rpm), bomba de doble pistón y tipo Moyno, para lechadas; todo ello con capacidad suficiente para asegurar una inyección continua.

II.5.3. PROGRAMA Y PROCEDIMIENTO

PROCEDIMIENTO DE PERFORACION E INYECCION.

El procedimiento que deberá seguirse para el tratamiento de tapete se describe en los incisos siguientes:

- a) Perforar en el diámetro especificado con máquina de rotación-percusión la profundidad total del barreno.
- b) Efectuar un lavado cuidadoso del pozo con agua limpia para remover las esquirlas de roca producto de la perforación. No deberá emplearse demasiada presión en la bomba para que no se produzcan evasiones de los materiales sueltos.
- c) Colocar el empaque en la parte superior de la progresión más profunda y proceder al inyectado siguiendo el criterio definido en la tabla No. 2 para cambio de mezcla.
- d) Colocar el empaque de inyección en el extremo superior de la siguiente progresión y efectuar su inyección.
- e) Proseguir la inyección en forma ascendente de manera análoga a la descrita, hasta la primera progresión (la más superficial).

Deberá sellarse cada progresión en todos los casos con una lechada fluída (REL A/C=3/1) a la presión máxima que se especificará posteriormente, por lo que cuando se esté inyec-

tando una mezcla más densa y se observe que la presión casi alcance dicho valor, se deberá proceder al cambio de la misma para obtener la condición de sellado. Para ello puede tomarse como guía que la inyección se continúe hasta que la toma sea menor de 50 lt., en 20 minutos.

Finalmente, cuando se haya concluido la inyección del barreno se rellenará el mismo con una lechada espesa (REL A/C = 0.7/1), hasta la superficie.

En caso de que por las condiciones de la roca no sea posible utilizar el procedimiento de "progresiones ascendentes" deberá emplearse el de "progresiones descendentes" de 5m., siguiendo los lineamientos que a continuación se exponen:

- a) Perforar en el diámetro especificado la primera progresión y proceder a su lavado.
- b) Colocar el empaque de inyección en la parte superior de la progresión y proceder a su inyectado, siguiendo los lineamientos definidos para el caso de progresiones ascendentes.
- c) Una vez estabilizada la mezcla inyectada se lavará el -

tramo correspondiente, a fin de evitar reperforaciones excesivas.

- d) Reperforar la mezcla no eliminada con el lavado de la primera progresión continuando la perforación hasta la profundidad correspondiente a la segunda progresión. Efectuar el lavado cuidadoso de ésta última.
- e) Colocar el empaque de inyección en la parte superior de la 2a. progresión y proceder al inyectado de la misma.
- f) Continuar con el procedimiento anterior hasta concluir la inyección de la progresión más profunda.

Deberá sellarse cada progresión con una lechada fluida (REL A/C = 3/1) siguiendo las normas antes referidas para el cambio de mezclas finalmente, se procederá a rellenar el barrero con una lechada espesa (REL A/C = 0.7/1) hasta la superficie.

PRESIONES DE INYECCION.

Las presiones de inyección que se aplicarán en el tratamiento están en función de la profundidad, de la calidad del-

macizo rocoso y de las características físicas de las mezclas.

A continuación se anotan las presiones máximas de inyección que deberán aplicarse durante el tratamiento.

Las presiones de inyección en barrenos de primera etapa para sus diferentes progresiones se presentan en la tabla siguiente; en etapas posteriores, podrán incrementarse en un 50% con respecto a las anteriores.

TABLA No. 3

PRESION DE INYECCION PARA TEPETE DE CONSOLIDACION

| PROGRESION | PROFUNDIDAD | PRESION MANOMETRICA (KG/CM ²) TAPETE DE CONSOLIDACION. | |
|------------|-------------|---|----------|
| | | ETAPA I | ETAPA II |
| 1 | 0 - 5 | 2.0 | 3.0 |
| 2 | 5 - 10 | 4.0 | 6.0 |
| 3 | 10 - 15 | 6.0 | 9.0 |

Las presiones manométricas en la boca de los barrenos será la presión de inyección que deberá controlarse, la cual no deberá ser sobrepasada durante el curso de los trabajos.

Los manómetros que registren dicha presión estarán correctamente calibrados y para las verificaciones de los mismos deberá tenerse en la obra las curvas de calibración correspondiente.

TABLA No. 4

PRESIONES DE INYECCION EN BARRENOS PROFUNDOS PARA FORMAR EL ABANICO EN LA ESTACION 0+260.

| PROGRESION | PROFUNDIDAD (m) | PRESION MANOMETRICA (KG/CM ²) |
|------------|--------------------|--|
| 1 | 0 - 5 | 2 |
| 2 | 5 - 10 | 4 |
| 3 | 10 - 15 | 6 |
| 4 | 15 - 20 | 8 |
| 5 | 20 - 25 | 10 |
| 6 | 25 - 30 | 12 |

CONTROL.

Sera necesario llevar un control detallado de todos los registros en campo de la perforación: pérdidas de agua, velocidad de avance, materiales cruzados y profundidad de las mis

mas. Para el inyectado se controlarán consumos de lechadas, cambios de mezcla y presión de inyección; verificando sistemáticamente la fludez, sedimentación y densidad. También deberá efectuarse en laboratorio periódicamente, ensayos de resistencia de las mezclas para compararlos con los valores del diseño consignados en la tabla No. 5, se deberá presentar los resultados del inyectado en forma gráfica indicando el consumo promedio en kg/m, para compararlos con el criterio propuesto por D.U. Decre.

Para dar por terminados los diferentes trabajos de inyección se ejecutarán pruebas de permeabilidad, tipo Lugeón, cuya localización será definida en el campo, para calificar los resultados obtenidos con el inyectado. Estos barrenos se perforarán en broca de diamante NW, con barril muestreador recuperando núcleos mediante los cuales se pueda obtener el índice de calidad del macizo rocoso tratado y el porcentaje aproximado de impregnación de las lechadas.

Las muestras se colocarán en cajas de madera en secuencia correcta, identificando los tramos perforados.³

(3) Ibid., pp. 14 a la 18.

PRESA "TRIGOMIL". JAL.

RESULTADOS DE ENSAYES DE LABORATORIO

| PROPORCION BASE EN PESO | | | FLUIDEZ MARSH RELAC/C (Seg) | DENSIDAD APARENTE BALANZA DE LODOS KG/M ³ | TIEM- PO DE ESTABI- LIDAD. | SOLI- DOS. % | AGUA LIBRE (%) | P=30 kg/cm ² Vol. 1.Seg. cm ³ | P=5.0 ₂ kg/cm ² Vol. 1.Seg. cm ³ | P=9.0 kg/cm ² Vol. 1.Seg. cm ³ | RESISTENCIA A LA COM- PRESA SIMPLE ESPECI- MENES CUBICO DE 5 cm. DE LADO 1 kg/cm ² Vol. 7 14 28 cm ³ d'as. d'as. d'as. | | | | | |
|-------------------------|-----------------|-----|-----------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------|----------------------|---|---|--|---|----|-----|----|-----|-----|
| CEMEN- TO. | VENTO- NITA. | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.0 | 0.05 | 3.0 | 31 | 1217 | 2:30 | 64 | 36 | 110 | 197 | 87 | 208 | 59 | 208 | 5 | 7 | 9 |
| 1.0 | 0.045 | 2.0 | 35 | 1292 | 3:30 | 82 | 18 | 120 | 166 | 72 | 178 | 59 | 188 | 12 | 14 | 16 |
| 1.0 | 0.02 | 1.0 | 56 | 1528 | 2:30 | 93 | 7 | 70 | 116 | 48 | 128 | 36 | 131 | 36 | 44 | 53 |
| 1.0 | 0.01 | 0.8 | 57 | 1621 | 2:00 | 93 | 7 | 65 | 119 | 44 | 119 | 31 | 119 | 85 | 103 | 110 |
| 1.0 | 0.005 | 0.7 | 40 | 1674 | 1:30 | 94 | 6 | 48 | 106 | 32 | 113 | 25 | 120 | 90 | 110 | 122 |

TABLA No. 5

MEZCLAS PARA INYECTADO PRESA "TRIGOMIL", JAL.

CAPITULO III

CRITERIO DE DISEÑO

CAPITULO III

CRITERIO DE DISEÑO

Al ser analizadas las condiciones de una boquilla para presa y la disponibilidad de materiales con el fin de elegir un tipo de cortina, se consideran todos aquellos aspectos topográficos hidrológicos y geotécnicos que determinará las características y el diseño de toda la obra.

En ciertas circunstancias el sitio permite construir tanto una cortina de gravedad como una de materiales gradados. En ese caso, el costo de construcción es el factor decisivo para la elección final. Sin embargo, algunos factores como el tamaño y la localización del vertedor podrían indicar que la solución más adecuada sería la de construir una cortina de concreto si el incremento en el costo final fuera aceptable.

Si se analiza la evolución reciente de la tecnología para la construcción de cortinas de concreto, se observa que aun cuando los métodos de diseño, han mejorado con el paso del tiempo, los procedimientos de construcción permanecen igual que en los años treinta. La inestabilidad dimensional

del concreto masivo, provocada inicialmente por el proceso exotérmico de la hidratación del cemento impone severas limitaciones en el tamaño de los monolitos y en la velocidad de colado. La necesidad de proporcionar juntas de contracción, cimbras en las caras transversales de los monolitos y, algunas veces, sistemas de enfriamiento ya sea en la masa de concreto o en los materiales que la constituyen, causa demoras en la construcción, además de otros inconvenientes.

Por otro lado, los avances en el diseño, logrados gracias al desarrollo de métodos de análisis más confiables, y a los adelantos tecnológicos que han hecho posible fabricar un equipo de construcción más potente, han tenido como consecuencia la construcción de cortinas de materiales graduados, cuyas alturas son cada vez mayores.

En teoría, el óptimo procedimiento de construcción se obtendrá al mínimo costo, al lograr conjuntar las ventajas que ofrece la construcción de ambos tipos de cortina, de concreto y materiales graduados. En la actualidad el uso del concreto rodillado reúne tales ventajas.

Los concretos invariablemente deberán ser dosificados en peso para cada bachada, la proporción en que deberán inter

venir cada uno de los elementos constitutivos de los concretos, podrá ser modificada por la Secretaría, de acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio y lo obtenido en el Bordo de Prueba.

Las proporciones de las mezclas de la grava-arena y las relaciones aprobadas agua-cemento se determinarán sobre la base de obtener concretos que tengan granulometría, manejabilidad, durabilidad adecuada y los pesos volumétricos de proyecto.

Se tomaron en campo muestras de las mezclas de concreto usadas en la cortina, para determinar si el control de materiales proporcionamiento, granulometría y contenida de agua es el correcto.

Se obtendrán calas para comprobar la compactación y determinar si el peso volumétrico es el requerido de acuerdo a lo especificado en el manual de Mecánica de Suelos de la Secretaría.

El contratista deberá dar al personal de la Secretaría todas las facilidades para efectuar el control de calidad de acuerdo a los manuales de concreto y de Mecánica de Suelos, -

desde la explotación de los bancos de agregados hasta la terminación de las estructuras de concreto.²

III.1. DISEÑO DE CALIDAD.

Un factor importante para el contratista de una estructura es el cumplimiento de los requisitos establecidos en las especificaciones del proyecto ya que las presas de CCR, se pueden clasificar en tres categorías. La primera corresponde al concepto de diseño y construcción Japonés, denominado en inglés como "Rolled Concrete Dams- (RCD)" que significa presas de concreto Rolado. Las presas RCD, son similares a las presas construídas con concreto masivo convencional excepto que en su interior se utiliza, CCR. Las dos categorías restantes corresponden a las presas construídas básicamente de CCR, con mezclas de bajo contenido de material cementante denominadas "mezclas secas" (lean dry mixes), y con mezclas con alto contenido de material cementante denominadas "mezclas húmedas" (high f/y ash-wet mixes). Las "mezclas secas" se consideran como aquellas con un contenido de humedad ligeramente menor al "óptimo" para su compactación con rodillos vibratorios.

El contenido óptimo es aquel en el cual casi todo el es

(1) Ibid., pp. 117 - 118.

pacio de vacios del material compactado, se llena con agua, - pero sin que se desarrolle presión de poro en la mezcla cuando es compactada.

Las "mezclas húmedas" no tienen revenimiento pero muestran visiblemente tanto la humedad en su superficie libre como la pasta cementante, la cual fluye cuando es agitado. Estas dos categorías describen los extremos en la consistencia de las mezclas de CCR.

El CCR y el concreto de liga serán elaborados mediante revoladora de producción continua o discontinua debiendo tener una producción tal que garantice la continuidad en la colocación del mismo durante veinte horas diarias y seis días a la semana, para evitar la formación de juntas frías.

La selección y control de la granulometría de los agregados son factores importantes que influyen en la calidad y propiedades del CCR. Aunque los requerimientos de calidad de los agregados utilizados en el concreto no se ven directamente influidos por los requerimientos de resistencia del concreto, la variabilidad del agregado si afecta significativamente los requerimientos de cemento y agua de la mezcla que a su vez altera la resistencia y la fluidez. La granulometría -

ideal para cubrir los requerimientos mínimos de la pasta será la que produzca la máxima densidad variable en seco, con la mínima área de la superficie pero además, tomando en cuenta - estudios efectuados por la dirección de ingeniería experimental.

Dependiente de la dirección general de irrigación y drenaje de esta Secretaría, a la granulometría estudiada debe estar complementada con un porcentaje de finos no plásticos que pueden ser cenizas Volantes o Limos, la inclusión de este o - estos agregados es requerida para desalojar la mayor cantidad de vacíos que ayudará a contrarrestar la permeabilidad del - concreto.

Para cualquier granulometría o tamaño máximo de agregado, el volumen mínimo de agregado que produzca una consistencia sin revenimiento, puede ser establecido proporcionando - la parte de mortero necesario para obtener la resistencia requerida aproximada y ajustando las proporciones de agregados - gruesos y mortero hasta lograr un revenimiento cero.⁴

(4) Revista IMCyC. El concreto Compactado con Rodillo y el Rolacreto en las Presas. México 1986, Vol. 24, No. 183 p. 14.

III.2. PRUEBAS DE LABORATORIO Y SU CONTROL DE CALIDAD.

Antes de comenzar a construir es necesario definir el comportamiento del material durante su colocación, así como sus características después del endurecimiento. Esta información es recopilada primero a través de pruebas de laboratorio que permiten conocer los valores aproximados de los parámetros de diseño y las características de la mezcla. Posteriormente son verificados mediante un bordo de prueba que se realiza para sacar conclusiones y recomendaciones. En el uso del C.C.R. y colocación.

Se toman tres muestras durante un turno de colocación de CCR cada muestra se evalúa para:

- 1.- Contenido de cemento.
- 2.- Contenido de humedad.
- 3.- Peso unitario del mortero sin aire incluido.
- 4.- Peso unitario de la mezcla total.
- 5.- Contenido de agregado grueso.

Para cada prueba se calcula un índice de variabilidad para compararla durante cada turno del cemento fresco en el lugar, si la variabilidad resulta mayor que la permitida por-

las especificaciones (Tabla No. 1), deben realizarse modificaciones en el tiempo y en el proceso de mezclado.

TABLA No. 1
VALORES DEL INDICE DE VARIABILIDAD
(MAXIMO PERMITIDO)

| ENSAYE | MUESTREO EN LA MEZCLADORA | MUESTREO EN EL LUGAR |
|--|------------------------------|-------------------------|
| Contenido de Cemento. | 82.5 | 70 |
| Contenido de Húmedad. | 91.5 | 75 |
| Peso unitario del mortero sin aire incluído. | 98.5 | 85 |
| Contenido de agregado grueso. | 90.5 | 80 |

INDICE DE VARIABILIDAD = (menor valor / mayor valor) x 100

También se pueden determinar los coeficientes de variación para cada prueba. Preferiblemente se utilizan los últimos 30 resultados de ensayos individuales. Cada prueba influye en la resistencia y en su variabilidad en la estructura.

La Tabla No. 2 muestra la variabilidad de cada prueba - en las mezclas frescas de varios proyectos de CCR. También - muestra los coeficientes de variación para todos los cilindros de 15 x 30 en cada edad de ensaye. Se observa que existe una relación muy importante y razonablemente consistente entre - la variabilidad de las pruebas en las mezclas frescas y la variabilidad de los cilindros de resistencia para la mezcla. El coeficiente promedio de variación de los cilindros de resis- tencia es aproximadamente 2.7 veces el coeficiente promedio - de variación de las propiedades de la mezcla fresca. Apli- cando este valor a la variabilidad de los resultados de ensa- yes en la mezcla fresca, puede predecirse un factor de sobre- diseño apropiado para la resistencia de cilindros última que- pueda obtenerse.

El factor 2.7 podría basarse en la relación de la varia- bilidad de la mezcla fresca o la variabilidad de núcleos en - lugar de cilindros; sin embargo, a la fecha no se tienen da- tos suficientes para hacer dicha evaluación, puede no ser co- rrecto utilizar la relación con cilindros, pero esto es con- sistente en las recomendaciones del ACI y del ASTM, las cua- les suponen que la variabilidad de los núcleos es similar a - la de los cilindros.

TABLA No. 2

COEFICIENTE DE VARIACION PARA PROYECTOS DE CONCRETO
MASIVO USANDO C.C.R.

| CEMENTO+CENIZA V.(KG/M ³) | WILLOW CREEK 47+19 | COPPER FIELD. 80+30 | GALES- VILLE. 53+51 | MONKS- VILLE. 62+00 | UPPER STILL- WATER. 80+173 | MIDDLE FORK. 66+00 |
|--|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Ensayes en mezcla fresca; | | | | | | |
| 1.- Peso unitario del mortero sin aire incluido. | 2 | - | 2 | 1 | - | - |
| 2.- Peso unitario de la mezcla completa. | 1 | - | 1 | 1 | - | - |
| 3.- Agregado grueso. | 8 | - | 8 | 14 | - | - |
| 4.- Contenido de cemento. | 21 | - | 16 | 14 | - | - |
| 5.- Contenido de humedad. | <u>23</u> | - | <u>13</u> | <u>12</u> | - | - |
| Coefficiente promedio de Variación. | 11.0 | - | 8.0 | 8.2 | - | - |
| C I L I N D R O S | | | | | | |
| 3 días. | 26 | - | - | 22 | - | - |
| 7 " | 29 | - | 28 | 28 | 19 | 23 |
| 14 " | 25 | - | 28 | 21 | - | 27 |
| 28 " | 28 | 30 | 24 | 24 | 21 | 33 |
| 56 " | - | - | 20 | 21 | - | - |
| 90 " | 29 | 25 | 20 | 21 | 19 | 16 |
| | | | | (120 días) | | |
| 180 " | 27 | - | - | 26 | - | - |
| 365 " | <u>33</u> | - | <u>13</u> | - | - | - |
| Coefficiente promedio de Variación. | 28 | 28 | 22 | 23 | 20 | 25 |
| R E L A C I O N E S | | | | | | |
| Coef.(cilindros)/coef.(mezcla/fresa). | 2.55 | - | 2.75 | 2.80 | - | - |

Control de la densidad del CCR., la obtención de densidades bajas son el resultado de deficiencias en aspectos tales como: el contenido de humedad, el equipo de compactación, los retrasos en la compactación, la sobrecompactación, la graduación y segregación de los agregados y los ensayos de laboratorio no representativos.

La fuerza dinámica es aparentemente el factor más crítico en la compactación del CCR, por lo cual se depende de la utilización de rodillos vibratorios. Para proporcionar compactación adecuada a capas de CCR de 15 a 45 cm., se han utilizado con éxito equipos con las siguientes características:

- | | | | |
|-----------------------------------|-------|--------|----------------------------------|
| - Ancho del rodillo. | 1.68 | - | 244m. |
| - Diámetro del rodillo. | 1.22 | - | 1.68m. |
| - Peso estático. | 9,500 | kg. | mínimo. |
| - Fuerza dinámica. | 5.7 | - | 9.8 kg/mm del ancho del rodillo. |
| - Velocidad. | 2.4 | km/h | máximo. |
| - Potencia de la masa excéntrica. | 93 | kw | mínima. |
| - Frecuencia. | 1,800 | v/min. | mínimo. |
| - Amplitud. | 0.6 | - | 2.0 mm. |

La compactación debe realizarse tan pronto como sea posible. El personal usualmente desconoce que si el CCR no se compacta inmediatamente la humedad disponible para su compactación, disminuye debido a la hidratación del cemento y a la evaporación. A diferencia de terracerías, el CCR no puede ser recompactado o rehumedecido. Como regla general se especifica que el CCR debe compactarse dentro de los 30 minutos después de mezclado y dentro de los 10 minutos después de colocado.

En CCR la sobrecompactación puede llevar a menores densidades porque modifica a la microestructura del concreto cuando apenas se empieza a tener una colocación inicial y todavía tiene muy poca resistencia.

Los agregados de mayor tamaño requieren de equipo más grande y de mayor energía de compactación. La compactación y el contenido de vacíos están directamente relacionados con la graduación de los agregados. Normalmente el CCR con contenidos de vacíos de 0.5 a 1.5 por ciento puede compactarse utilizando graduaciones de agregados que aseguren una cantidad suficiente de partículas finas para llenar los espacios dejados por los agregados gruesos. (Por ejemplo del 5 al 10 por ciento de material menor de la malla No. 200). Los agregados

mayores de 38 mm presentan una gran tendencia a segregarse.

Curado del CCR. La superficie del CCR debe mantenerse húmeda o se debe evitar que se pierda humedad. Esto se puede realizar en forma permanente por medio de camiones o sistemas rociadores de agua. La capa final de CCR debe curarse generalmente por más de 14 días.⁵

III.3. MATERIAL PARA EL DISEÑO DEL CONCRETO RODILLADO.

DEFINICION.

El concreto compactado con rodillos es un concreto seco sin revenimiento que se compacta por vibración externa utilizando rodillos vibratorios, difiere del concreto convencional principalmente por la consistencia requerida. Para una consolidación efectiva, el CCR tiene que estar suficientemente seco para soportar el peso del equipo de compactación pero suficientemente húmedo para permitir una adecuada distribución de la pasta durante el proceso de mezclado y compactación. Los requerimientos de consistencia tienen un efecto directo en los requerimientos de proporcionamiento de la mezcla.

(5) SARH. Control de Calidad, México 1985.
pp. 10 a la 12.

La consistencia seca del CCR, particularmente de aquel que contiene agregados mayores de 38 mm (1 1/2 pulgadas), crea problemas al unir concreto fresco con endurecido. Sin embargo, investigaciones de laboratorio y de campo han mostrado que el problema se resuelve reduciendo la segregación del CCR durante el transporte y la colocación, y con el uso de capas de mezclas especiales de alta elasticidad al empezar la colocación del concreto.

CONSISTENCIA.

El concreto susceptible de ser compactado con rodillos vibratorios difiere significativamente en apariencias cuando no está densificado, del concreto normal con revenimiento. Hay poca evidencia de la existencia de pasta de cemento hasta que se compacta. Todas las mezclas granulares de este tipo se pueden compactar a la máxima densidad posible si se vibran de manera suficiente; sin embargo, el esfuerzo de vibración requerido es mucho mayor que el requerido por el concreto convencional. El tiempo de compactación puede utilizarse como medida de la consistencia del concreto y de la eficiencia del equipo de compactación. Obviamente, las mezclas más trabajables y menos rígidas se consolidan por completo en períodos de vibración más cortos. La densidad máximo que se puede ob-

tener con cierta mezcla varia con el contenido de vacios del agregado y el contenido de mortero. Estudios de laboratorio sobre la compactación de las mezclas se muestran en las figuras II.1 y II.2. En estas pruebas se utiliza una mesa vibratoria para compactar el concreto en un recipiente estándar.

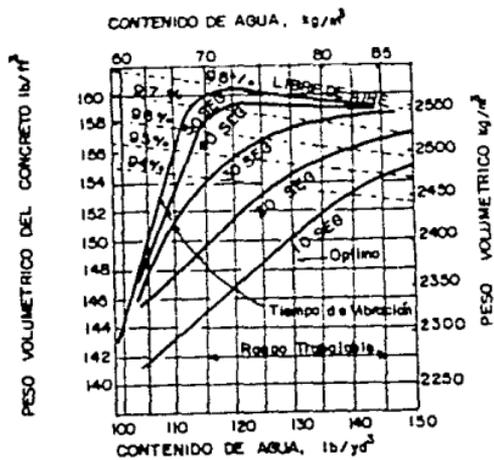
La figura II.1, muestra los efectos de la variación del contenido de agua y del esfuerzo de vibración en la compactación en mezclas de concreto de cenizas volantes (sin cemento-portland) con 0.41 m^3 de agregados de tamaño máximo de 38mm. (1 1/2 pulgs), bajo vibración prolongada (40 segundos o más), las densidades de éstas mezclas aumentan con el incremento del contenido de agua hasta 68 kg/m^3 y entonces decrecen. Las densidades se aproximan al 98% de la densidad libre de aire con solo 30 seg. de vibración con contenidos de agua de 86 kg/m^3 .

Los incrementos posteriores de agua reducen significativamente los requerimientos de vibración para una compactación completa, pero también aumentan la posibilidad de que la mezcla no soporte el peso del rodillo vibratorio. Se puede ver en la figura que el contenido óptimo de agua para la mezcla sería de aproximadamente el contenido intermedio entre los valores mencionados, es decir, de alrededor de 77 kg/m^3 .

La figura 11.2, muestra a la misma mezcla básica con un 100% de cemento portland como material cementante. La figura indica un rango de trabajabilidad de 101 a 118 kg/m³ o un contenido óptimo de agua de 110 kg/m³. Los requerimientos de contenido óptimo de agua para mezclas de cemento portland y cenizas volantes pueden variar dependiendo de la relación ceniza-volante-cemento. Se pueden establecer de manera similar contenidos óptimos de agua para otros tipos de puzolanas y cementos.

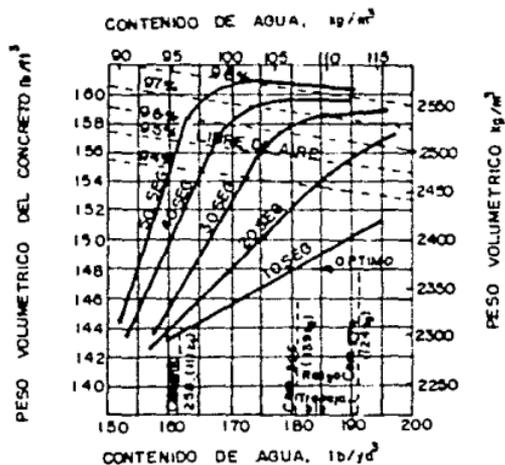
En las mezclas utilizadas en las pruebas anteriores se mantuvieron constantes los volúmenes del agregado grueso para conocer el efecto de aumentar los volúmenes de pasta sobre el esfuerzo de compactación. En la Tabla 11.1, se dan los contenidos óptimos de agua para mezclas con agregados artificiales y sin puzolanas. El requerimiento de agua es diferente para mezclas en masa y para mezclas en capas. Las mezclas en masa se recomiendan cuando puede hacerse continua la colocación, - es decir, sin juntas frías. Las mezclas de capa se requieren para unir el concreto fresco con el endurecido cuando existen juntas frías.⁶

(6) PEDRO LUIS BENÍTEZ M. Compactación de Concreto Rodillado. "Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. México 1990, pp. 54 a la 57.



| INGREDIENTES | PESO LBS. (kg) | VOLUMEN Ft ³ (m ³) |
|-------------------|-------------------|--|
| 1 1/2" (38mm) TMA | 2566 (1159) | 14.5 (0.41) |
| ARENA | 1360 (616) | 7.9 (0.22) |
| CENIZA VOLANTE | 336 (132) | 2.34 (0.066) |

NOTA: los agregados son fabricados



| INGREDIENTES | PESO LBS. (kg) | VOLUMEN Ft ³ (m ³) |
|-------------------|-------------------|--|
| 1 1/2" (38mm) TMA | 2566 (1159) | 14.5 (0.41) |
| ARENA | 1293 (587) | 7.51 (0.21) |

FIGURAS. 11.1 y 11.2

TABLA 11.1

| TIPO DE MEZCLA | TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO | | | | | |
|----------------|---|-------|-------|------|-------|-------|
| | PULS (MM) | | | | | |
| | 1/2 | 3/4 | 1 1/2 | 3 | 4 1/2 | 6 |
| | (9.5) | (19) | (38) | (76) | (114) | (152) |
| | CONTENIDO DE AGUA lb/yd ³ (kg/m ³) | | | | | |
| INTERIOR | 195 | 180 | 165 | 145 | 135 | 130 |
| | (116) | (107) | (98) | (86) | (80) | (77) |
| DE CAPA | 215 | 200 | 185 | - | - | - |
| | (128) | (119) | (110) | - | - | - |

AGREGADOS.

La selección de los agregados y el control de su graduación son factores que afectan directamente la calidad y las propiedades del CCR. Aunque los requerimientos de calidad de los agregados utilizados en el concreto no están directamente influenciados por los requerimientos de resistencia, la variabilidad de los agregados afecta significativamente los requerimientos de agua y cemento de la mezcla, los que a su vez afectan la resistencia y el rendimiento.

Las sustancias deletéreas (definidas como aquellas que juntas o separadas hacen imposible la obtención de las propiedades requeridas por el concreto cuando se emplean proporciones normales de los ingredientes), como pueden ser las partículas que pasan por la malla No. 200 y algunos materiales deleznable, afectan el contenido de agua y la resistencia en mezclas convencionales; sin embargo, pueden no afectar las mezclas requeridas para el CCR, al utilizar un porcentaje mayor de finos que pasen a través de la malla No. 200, se puede disminuir la cantidad de pasta necesaria para cierto esfuerzo de compactación. Sin embargo, se tienen que establecer los límites para el contenido de materiales deletéreos mediante pruebas de laboratorio.

Los rodillos vibratorios pesados son capaces de compactar enrocamientos en capas con espesores de hasta 0.6 m. por lo tanto, no hay limitantes para el tamaño máximo del agregado en lo que a equipo de compactación se refiere. Cuando se utilizan agregados artificiales no hay un ahorro suficiente al utilizar tamaños mayores de 76 mm. (3 pulg.) que justifique los costos adicionales que implica el evitar la segregación. Cuando se utilizan materiales de banco no resulta particularmente económico cribar los agregados grandes.

Cuando las capas colocadas tienen un espesor de más de tres veces el tamaño máximo del agregado (TMA), éste último tiene poca influencia en la compactabilidad al utilizar los equipos vibratorios pesados disponibles actualmente. Sin embargo, el TMA sí afecta la compactabilidad con equipo vibratorio menor utilizado en la compactación de materiales adyacentes a las estructuras. Los compactadores pequeños presentan problemas al compactar mezclas con una TMA de 76 mm (3 pulgs.) pero pueden compactar mezclas con TMA de 38 mm (1½ pulg.) en capas de hasta 30 cm. (12 pulg.) de espesor.

Hay una mayor tendencia a la segregación cuando se utilizan agregados mayores de 38 mm. (1½ pulg.). Esto se tiene que tomar en cuenta al seleccionar el equipo de transporte y

de tendido o al designar los procedimientos de colocación - que dispersen los agregados segregados homogéneamente en el - concreto sin compactar. Las zonas de segregación no corregidas son difíciles de consolidar completamente dado que no - existe suficiente mortero cubriendo el concreto para rellenar las cavidades formadas por la segregación.

Cuando el costo del material es un factor importante en la selección del TMA, el costo que signifique controlar la segregación tendrá que tomarse en cuenta, o deberán de considerarse las consecuencias que acarrea la segregación sobre la - resistencia y la permeabilidad.

En el CCR las diferencias en el requerimiento de cemento para agregados de 38 a 76 mm. (1 1/2 a 3 pulg.) son menores - que para un concreto normal, además se puede disminuir el contenido de cemento hasta en un 15% cuando se utiliza el tamaño mayor.

Esto da como resultado una reducción del 15% en el ca-
lor de hidratación. Aunque es deseable el uso de agregados - uniformemente graduados, la graduación no es tan importante - para la compactación adecuada del CCR como lo puede ser para el concreto convencional, y esto se debe a la diferencia del-

equipo utilizado para densificar los dos tipos de concreto. Sin embargo, la graduación de los agregados afecta la compactación relativa del concreto y puede tener influencia en el número mínimo de pasadas del compactador vibratorio requeridas para la consolidación completa de una capa de CCR de espesor dado. La graduación también afecta los requerimientos de agua y cemento necesarios para llenar los espacios vacíos en el agregado y para cubrir las partículas al formar un volumen de concreto sólido. La graduación del agregado fino tiene una gran influencia sobre los requerimientos de pasta de cemento. Cuando no se utilizan puzolanas, un aumento del 5% en el porcentaje de material que pasa la malla No. 100 puede ser beneficio para reducir el volumen de pasta necesario. En la Fig. 1, se muestra la granulometría de los agregados para CCR y en la Fig. 2, la granulometría de los agregados para concreto de liga.

El proporcionamiento del agregado grueso para un requerimiento mínimo de mortero depende del porcentaje de vacíos, del área superficial y de la forma de la partícula.

Cuando las graduaciones se controlan mediante cribado y la consecuente división de los agregados en fracciones de tamaño separados, se puede controlar el contenido de vacíos de

GRANULOMETRIA DE AGREGADOS PARA C.C.R.

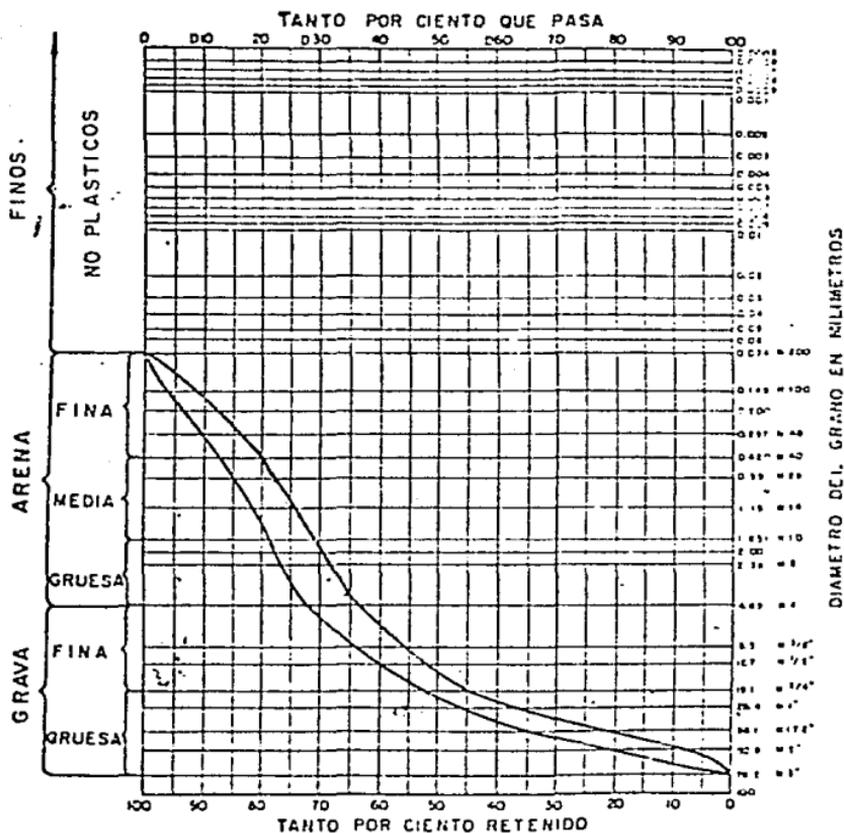


FIG. 1

tro de ciertos límites. El área superficial total de los agregados combinados disminuye al aumentar la proporción de los agregados grandes por volumen unitario. La forma de la partícula de los agregados artificiales se controla aprovechando la estratificación de la roca y utilizando el tipo adecuado de trituradora. La compactabilidad aumenta cuando las partículas tienen formas redondeadas y cúbicas y disminuye con formas aplanadas.

En el CCR es conveniente contar con grandes porcentajes de tamaños pequeños de agregado para reducir la segregación. Desde un punto de vista económico, esto resulta en el uso de todos los tamaños y reduce el desperdicio de las fracciones pequeñas de agregado. El volumen absoluto de agregado grueso por volumen unitario de concreto se debe encontrar dentro de los límites mostrados en la Tabla II.2.

TABLA No. II.2

| | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TMA Pulgs. | 6 | 4½ | 3 | 1½ | ¾ | ⅜ |
| TMA mm. | 152 | 114 | 76 | 38 | 19 | 9.5 |
| Volúmen absoluto del volúmen unitario. | 63-64 | 61-63 | 57-61 | 52-56 | 46-52 | 42-48 |

Para cualquier graduación o TMA, el volúmen mínimo de agregado que produce una consistencia de revenimiento nulo puede establecerse proporcionando la fracción de mortero que produzca aproximadamente la resistencia requerida y ajustando las proporciones del agregado grueso y del mortero hasta obtener un revenimiento nulo. Las proporciones del agregado fino, cemento y agua deben mantenerse fijas durante estos ajustes.⁶

El proporcionamiento del agregado fino para un requerimiento mínimo de pasta de cemento esta determinado por el contenido de vacíos. Los contenidos mínimos de cemento, puzolana, aire y agua requeridos para obtener un volumen sólido deben de ocupar todos los vacíos del agregado fino y cubrir a todas las partículas. El volumen mínimo de pasta puede determinarse mediante curvas de peso volumétrico máximo de manera similar a la determinación de la humedad óptima en suelos. El procedimiento es como sigue: usando la relación agua-cemento o agua-material cementante de la mezcla, se añade el agregado fino en incrementos iguales y se mide el peso volumétrico de especímenes obtenidos por vibración prolongada; se grafica el peso volumétrico contra el volumen de pasta calculado y de esta manera se puede determinar el volumen de pasta de -

(6) *Ibid.*, p. 63.

cemento que produzca el máximo peso volumétrico. Este volumen de pasta como relación del volumen total de mortero debe incrementarse en un 5 a 10% al proporcionar mezclas masivas. En mezclas especiales diseñadas para juntas de construcción o juntas frías se tiene que incrementar esta relación de volumen mínimo de pasta en un 20 a 25%.

En áreas donde no hay puzolanas disponibles puede resultar económico y benéfico mezclar arenas e introducir finos minerales para reducir los vacíos del agregado fino. El proporcionamiento de arenas mezcladas o la optimización de la cantidad de finos minerales puede determinarse por su efecto en los requerimientos de volumen mínimo de pasta.

CEMENTO Y PUNZOLANAS.

Un concreto susceptible de ser compactado con rodillos puede hacerse con cualquiera de los tipos básicos de cemento y puzolanas. La selección del tipo de cemento se basa en requerimientos estructurales y no en el método de colocación o compactación del concreto. Aunque se pueden utilizar las especificaciones estándar para la selección de cierto tipo de puzolana basado en pruebas previas. La disponibilidad de la puzolana determinada como satisfactoria también es un factor-

para determinar si va a utilizarse algún tipo de puzolana en la mezcla. La diferencia principal en la selección y proporcionamiento de cemento y puzolana para el CCR comparado con el concreto convencional consistente en el uso de mayores volúmenes de puzolana en la trabajabilidad.

Una de las principales finalidades de adicionar puzolanas o finos es la ocupación de espacios que de otra manera estarían ocupados por agua o cemento. Ocupar dichos espacios con agua resultaría con la reducción de la resistencia del concreto. Organizaciones como la TVA han demostrado que las puzolanas no solo ocupan espacio, sino que también contribuyen al desarrollo de la resistencia.

Cuando hay deficiencia de finos, la puzolana no tiene que ser muy reactiva para ser efectiva. Por ello, muchas cenizas volantes cuya reactividad, debido a una insuficiente finura de las partículas, no se ajuste a las especificaciones, pueden ser adecuadas para la mayoría de las aplicaciones en CCR. No todas las puzolanas son igualmente efectivas; tanto la forma de la partícula como su reactividad tienen influencia en el contenido mínimo de cemento necesario para producir una resistencia dada. Sin embargo, el uso de una puzolana disponible que produzca una resistencia menor puede presentar

ventajas económicas significativas cuando hay una diferencia muy grande entre el costo de esta y el de otra más efectiva.

La resistencia del concreto depende esencialmente de las proporciones de cemento, puzolana y agua. El tipo de cemento tiene un efecto importante en la hidratación y en la rapidez de desarrollo de la resistencia y, por ende determina la resistencia a edades tempranas. A edades mayores de los 28 días, la diferencia en la resistencia debida a los distintos tipos de cemento disminuye, e incluso los cementos que desarrollan la resistencia más lentamente llegan a producir las más altas.

ADITIVOS.

Las ventajas de utilizar aditivos que aumenten la trabajabilidad y retarden el fraguado para mantener las capas compactadas de CCR en un estado tal que se eviten las juntas frías, están bien establecidas, tanto los aditivos inclusores de aire como los reductores de agua y los retardantes, han sido utilizados rutinariamente en muchas aplicaciones del CCR. Las pruebas de laboratorio indican que estos aditivos son efectivos para reducir el tiempo de vibración requerido para la completa compactación del CCR. Sin embargo, la efectivi-

dad de los aditivos inclusores de aire para mejorar la durabilidad del CCR durante la congelación y el deshielo, así como la cantidad adecuada de aditivo, aún necesitan mayor investigación.

PROPIEDADES.

Las propiedades importantes del concreto convencional - también lo son para el CCR, las más importantes son: resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, resistencia a la tensión, relación de poisson, resistencia al corte, cambio de volumen (por temperatura, por secado y autógeno), coeficiente de expansión térmica, calor específico, conductividad térmica, difusividad, permeabilidad y durabilidad. Las diferencias - entre las propiedades del CCR y las del concreto convencional se deben principalmente a las diferentes proporciones de las mezclas.

Generalmente hay 40% menos agua y 30% menos pasta en el CCR. La mayoría de las pruebas conciernen con la resistencia y las propiedades elásticas; sin embargo, los efectos de la - variación en las proporciones de agua, pasta de cemento y - agregados son bien conocidos y, por lo tanto se puede hacer - ciertas estimaciones de las propiedades en pruebas en las cua - les no hay datos disponibles.

RESISTENCIA A LA COMPRESION.

La resistencia a la compresión del concreto bien compactado se ve afectado principalmente por la relación agua-cemento de la mezcla, o por la relación agua-material cementante - en mezclas en las cuales se utilice algún tipo de puzolana. - En la Tabla II.3, se proporcionan datos sobre mezclas típicas y sus resistencias respectivas, obtenidos en muestras extraídas de estructuras o de rellenos de prueba. Como no hay necesidad de resistencias altas a edades tempranas en las colocaciones masivas de CCR, las resistencias están tomadas a edades de 6 meses a 1 año, a menos que la estructura vaya a ser puesta en servicio antes de tiempo. Aunque la edad a la que vaya a ser requerida la resistencia puede ser de 7 días o menos en el caso de losas y pavimentos, no hay razón para restringir el contenido de cemento en estructuras de este tipo - ya que el calor de hidratación se disipa rápidamente.

PROPIEDADES ELASTICAS.

Los principales factores que afectan las propiedades - elásticas del concreto son la edad, el tipo de agregado y la relación agua-cemento o la calidad de la pasta. El módulo de elasticidad del concreto aumenta con la edad y con el incre--

| Datos de la mezcla. | | | | | | Datos de la resistencia de los núcleos sin confinar. | | | | | |
|---------------------|---|----------------|------|------------------------|--------------------------|--|------------------------------|-----|--------------------------------|-----|---------------------------------|
| TMA cm | Pesos por m ³ de concreto, kg. | | | | | Edad/ Días. | Resistencia a la compresión. | | Resistencia al corte | | |
| | Cemento | Puzo- lana. | Agua | Agre- gado fino. | Agre- gado grueso. | | kg/ cm ² | MPa | Masa kg/ cm ² | MPa | Junta kg/ cm ² |
| 7.6 | 55.8 | 77 | 77 | 605 | 1649 | 138 | 232 | 23 | 45 | 4 | 16 |
| 11.4 | 13.9 | 0 | 80 | 618 | 1774 | 72 | 262 | 26 | 49 | 5 | 9 |
| 7.6 | 13.9 | 0 | 86 | 683 | 1691 | 66 | 231 | 23 | 57 | 6 | - |
| 7.6 | 13.9 | 0 | 83 | 676 | 1602 | 120 | 231 | 23 | 63 | 6 | 28 |
| 7.6 | 41.5 | 78 | 83 | 676 | 1602 | 120 | 162 | 16 | 39 | 4 | 14.5 |
| 3.8 | 75.3 | 164 | 89 | 745 | 1426 | 90 | 268 | 26 | - | - | 27 |
| 3.8 | 44.5 | 178 | 84 | 727 | 1438 | 90 | 181 | 18 | 18.6 | 2 | 20.4 |
| 3.8 | 116 | 139 | 103 | 657 | 1428 | 90 | 420 | 41 | - | - | - |

TABLA 11.3

mento del contenido de cemento. Ciertos tipos de agregado como la cuarzita y las argilitas le imparten características "quebradizas" al concreto, lo que implica valores altos del módulo de elasticidad. Un CCR bien proporcionado y compactado tendrá un módulo de elasticidad similar al de un concreto convencional dosificado con el mismo tipo de agregado.

Al aumentar las proporciones de los agregados en el CCR, se presenta un incremento en su peso volumétrico y se puede incrementar el módulo de elasticidad, con un TMA dado y considerando que la mezcla tiene pasta suficiente. Si el volumen de pasta es insuficiente, el peso volumétrico disminuye al aumentar el contenido de vacíos. Bajo estas condiciones el módulo de elasticidad, no sólo se ve afectado por la disminución del peso volumétrico, sino también por la discontinuidad del contenido de pasta en la masa del concreto.

DEFORMACION.

El concreto no confinado puede cambiar libremente de volumen sin la presencia de esfuerzos cuando el concreto está confinado, el esfuerzo resultante induce una deformación para compensar el cambio de volumen. Si la deformación inducida provoca tensión y si excede la capacidad de deformación del concreto se producirá agrietamiento. La deformación en el concreto puede presentarse por reducciones de volumen inducidos por el secado, por contracción autógena o por el enfriamiento del concreto. Los factores que afectan la capacidad de deformación son el tipo de agregado, la forma del agregado y el contenido de cemento. Generalmente los agregados duros y frágiles, como pueden ser la argilita y la cuarzita, produ-

cen una baja capacidad de deformación. La trituración o adición de material triturado aumentará la capacidad de deformación. El incremento en el contenido de cemento mejora la capacidad de deformación al incrementar la resistencia a la tensión; sin embargo, al aumentar el contenido de cemento aumenta el calor generado, por lo que generalmente no vale la pena éste aumento.

La capacidad de deformación del CCR no debe diferir mucho de la de un concreto convencional con el mismo contenido de material cementante. Sin embargo, en la mayoría de las mezclas de CCR ésta capacidad será menor debido al bajo contenido de cemento y/o mayor cantidad de puzolana en sustitución de cemento. Esta menor capacidad de deformación se compensa con una menor deformación inducida por temperatura, debido a que la mezcla es más pobre y el CCR se coloca en capas delgadas.

CAMBIO DE VOLUMEN.

El potencial de cambio de volumen debido a la pérdida de humedad o contracción por secado es significativamente bajo en el CCR debido a que el contenido de agua de mezclado es mucho menor que en el concreto convencional. La superficie -

también esta sujeta a secado, pero hay menos pasta superficial que en los concretos convencionales y además hay mayor confinamiento de ésta debido al mayor volumen de agregados. El principal efecto que causa el secado de la superficie puede ser el microagrietamiento de la pasta que rodea a las partículas de los agregados. La contracción por secado también está afectada por la relación agua-cemento. Si la pasta no es suficientemente densa o si la compactación no es suficiente para provenir o restringir la migración de la humedad, las grietas superficiales se pueden profundizar.

El cambio autógeno de volumen de una mezcla de concreto está afectado por la cantidad y tipo de cemento y puzolana que contiene los estudios que ha llevado a cabo el cuerpo de ingenieros del ejército de los E.U., indican que este cambio aumenta con el incremento del contenido de material cementante y su finura. Generalmente las puzolanas naturales producen cambios por cenizas volantes o por el cemento portland.

PERMEABILIDAD.

La permeabilidad del concreto depende principalmente de los vacíos existentes debido al aire atrapado y por lo tanto se puede controlar casi en su totalidad con el proporciona-

miento adecuado de la mezcla y su grado de compactación. Cuando hay suficiente pasta para minimizar el contenido de vacíos y el equipo de compactación es capaz de compactar completamente la masa de concreto, el CCR debe ser relativamente impermeable. El agrietamiento y las juntas frías son los factores principales que propician el paso del agua a través de cualquier tipo de concreto. Esto hace necesario que exista un exceso de pasta en las mezclas de CCR que cubren las juntas frías para que éstas queden fuertemente unidas y selladas, y así evitar filtraciones.

RESISTENCIA AL CORTE.

Las pruebas de resistencia al corte sin confinar llevadas a cabo en especímenes de CCR no revelan diferencias significativas con relación a los resultados obtenidos en el concreto convencional. Los datos de la resistencia al corte en las juntas de construcción se muestran en la Tabla II.3. El tratamiento de las juntas siempre ha sido un punto de importancia en la colocación del concreto convencional y en el caso del CCR también se tiene que prestar atención especial a este problema.

DURABILIDAD.

La durabilidad del concreto es elevada por su resistencia al intemperismo, al ataque químico y a la erosión o desgaste.

La resistencia del concreto al intemperismo (o congelamiento-descongelamiento) depende de la resistencia de los agregados al congelamiento y de la resistencia y contenido de aire incluido del concreto. La efectividad de los agentes in-clusores de aire, depende del contenido de agua de la mezcla. Mientras, el contenido de agua de las mezclas de CCR es aparentemente demasiado bajo para la inclusión afectiva de aire, la dosificación normal de los agentes ocasiona una ligera reducción en la cantidad de agua requerida para una compactación completa.

III.4. EQUIPO Y MANO DE OBRA PARA LA CONSTRUCCION DEL CONCRETO RODILLADO.

El suministro de los agregados de los almacenamientos - será por medio de una banda transportadora de 48" y túnel de recuperación a las tolvas de la planta de concreto. La caída de la glorieta por tubería de 16"Ø con un repartidor inferior para la tolva de la planta, la planta de concreto es una Ross 220, para fabricación de concreto convencional con una capacidad teórica, de producción de 220 m³/hr.

La característica principal de esta planta, es que tiene dos revolventoras que hacen que la producción de concreto - sea prácticamente continua a diferencia de una sola que hace la producción intermitente. La conducción de la mezcla de la planta a la cortina, se hará por tubería de 40"Ø con una tolva receptora al inicio y un amortiguador anti-segregación al extremo.

En el nivel de colocación de la cortina se recibe la mezcla de la tubería en una tolva que vacia por compuerta neumática a dos camiones volteo o dumcrets, que transportan la mezcla a lo largo y ancho de la cortina (Recorrido máximo 200 mts.) vaciando a volteo en el sitio de colocación. El extendido se hará con un tractor D-5 y la compactación se hace con un compactador vibratorio CA-25 o similar.

El concreto de liga y de la capa intermedia se fabricará con la planta Ross y se colocará con el mismo sistema antes descrito; el riego de humedecimiento y curado continua, se hará con sistema Bomba-tanque elevado, conducción por tubería y manguera con rociador fino en el extremo. La preparación de juntas frías se hará con soplete de aire-agua, de acuerdo con lo anteriormente señalado o sea una vez elaborado el CCR.

La fuerza dinámica es aparentemente el factor más crítico en la compactación del CCR, por lo cual se depende de la utilización de rodillos vibratorios. Para proporcionar compactación adecuada a capas de CCR de 15 a 45 cms., se han utilizado con éxito equipos con las siguientes características:

- Ancho del rodillo. 1.68 - 2.44 m.
- Diámetro del rodillo. 1.22 - 1.68 m.
- Peso estático. 9,500 kg- mínimo.
- Fuerza dinámica. 5.7 - 9.8 kg/mm del ancho del rodillo.
- Velocidad. 2.4 km/h máximo.
- Potencia de la masa excéntrica. 93 kw mínima.
- Frecuencia. 1,800 v/min. mínimo.
- Amplitud. 0.6 - 2.0 mm.

Estos datos son generales y no necesariamente se tienen que respetar todos los límites ya que, por ejemplo, en compactador de 10 ton. con una frecuencia menor de 1,800 vibr/min. puede compactarse satisfactoriamente al CCR, por regla general, los compactos deben ser autopropulsados de uno a dos rodillos lisos vibratorios. A los últimos se les conoce como "tandem" y entre otras ventajas tienen la de proporcionar un mayor rendimiento.

A continuación se mencionan las marcas más importantes de compactadores, así como los modelos aplicados al CCR, incluyendo sus datos técnicos.

a) DYNAPAC:

Modelo CC43: Rodillo vibratorio tandem.

| | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Peso estático (por tambor). | 1.08 ton. |
| Anchura de compactación. | 1670 mm. |
| Amplitud nominal. | 04/0.8 mm. |
| Fuerza centrífuga (en cada tambor). | 5000 kP/10,000 kP. |
| Frecuencia. | Hasta 2,500 vibr/min. |

Este compactador tiene tracción y vibración en ambos cilindros, así como doble amplitud. Este modelo se utilizará durante la construcción de la Presa Trigomil.

Modelo CA 25: Rodillo vibratorio de tambor individual.

| | |
|--------------------------|---------------------|
| Peso estático. | 9.7 tons. |
| Anchura de compactación. | 2,132 mm. |
| Amplitud nominal. | 0.8/1.6 mm. |
| Fuerza centrífuga. | 8,200 kP/16,600 kP. |

Existen dos versiones: CA 25 std. y CA 25D (con motor de tracción en el cilindro). Además cuenta con doble amplitud.

b) BOMAG:

Modelo BW210: Rodillo vibratorio de tambor individual.

| | |
|----------------------|-------------------------|
| Peso estático. | 7,938 ks. |
| Diámetro del tambor. | 1,499 mm. |
| Ancho del tambor. | 2,134 mm. |
| Amplitud (doble). | 2.7 mm. |
| Frecuencia. | 1,400 a 1,850 vibr/min. |

Este modelo se ha utilizado principalmente en Japón.

Modelo BW 210D: Rodillo vibratorio de tambor motriz.

| | |
|----------------------|-------------------------|
| Peso estático. | 8,664 kg. |
| Diámetro del tambor. | 1,499 mm. |
| Ancho del tambor. | 2,134 mm. |
| Amplitud (doble) | 2.6 mm. |
| Frecuencia. | 1,450 a 1,850 vibr/min. |

c) TAMPO:

Modelo RS-188A: Rodillo vibratorio tandem.

| | |
|-----------------------------|-----------|
| Peso estático (por tambor). | 7,250 kg. |
|-----------------------------|-----------|

| | |
|--------------------------|-----------------|
| Diámetro de cada tambor. | 1,534 mm. |
| Ancho del tambor. | 2,134 mm. |
| Amplitud. | 0.74 mm. |
| Frecuencia. | 2,200 vibr/min. |

d) RAYGO:

Modelo 400-A: Compactador vibratorio de un rodillo liso.

| | |
|----------------|-------------------------|
| Peso estático. | 9,072 kg. |
| Frecuencia. | 1,100 a 1,500 vibr/min. |

Este compactador tiene la desventaja de tener una frecuencia de vibración muy baja.

Modelo 600-A; Compactador vibratorio de un rodillo liso.

| | |
|----------------|-------------------------|
| Peso estático. | 12,929 kg. |
| Frecuencia. | 1,100 a 1,500 vibr/min. |

Al igual que el anterior, este compactador también tiene una frecuencia muy baja.

e) INGERSOLL-RAND:

Modelo SP-60: Compactador vibratorio de un rodillo liso.

| | |
|----------------------|-----------------|
| Peso estático. | 9,752 kg. |
| Frecuencia. | 1,400 vibr/min. |
| Diámetro del tambor. | 1,520 mm. |
| Ancho del tambor. | 2,540 mm. |

Este compactado también tiene la desventaja de contar con una frecuencia de vibración muy baja.⁶

La compactación debe realizarse tan pronto como sea posible. El personal usualmente desconoce que si el CCR no se compacta inmediatamente, la humedad disponible para su compactación disminuye debido a la hidratación del cemento y a la evaporación.

(6) Ibid., pp. 175 a la 179.

CAPITULO IV

ASPECTOS PARTICULARES DE LA CORTINA

CAPITULO IV

ASPECTOS PARTICULARES DE LA CORTINA

La cortina tiene una sección de tipo gravedad, cuya altura máxima partiendo del desplante es de 100 mts., tiene un volumen de 415,000 m³ y conforma las obras de desvío, de toma y el vertedor, este último se construirá en su mayor parte con CCR zonas como el desplante, la corona y las estructuras se realizarán con concreto masivo.

Las galerías necesarias para inspección y drenaje, se formarán relleno con los agregados usados en la elaboración del CCR, posteriormente se removerán y las galerías, ya formadas, se revestirán con concreto convencional.

En el Talud de aguas arriba se colocarán piezas prefabricadas de concreto que constituyen una cimbra permanente autosoportada para el concreto de la cortina.

Entre estas piezas y el CCR se colocará una zona de concreto convencional para formar una pantalla impermeable.

En el talud de aguas abajo se dejará que el concreto ro

dillado adopte su pendiente natural de reposo estimada en -
0.8:1.

IV.1. LOCALIZACION.

Dentro del Estado de Jalisco, se encuentra localizada -
la cuenca del río Ayuquila, actualmente sobre esta corriente-
se tienen construídas y se encuentran en operación las presas
"Tacotán" y de Almacenamiento con una capacidad de 140'000,000
m³ y aproximadamente a 30 kms. aguas abajo de esta obra, se -
encuentra la presa derivadora "El Corcovado" que es donde se
inicia la zona de Riego de Autlán-El Grullo y el Limón, domi-
nando actualmente 9,389 has., aunque con riego deficiente y -
que están operando en el Distrito de Riego Autlán-El Grullo,
pero tomando en cuenta que hay la factibilidad de incorporar-
al riego otras 8,636 has., con tierras de buena calidad algu-
nas de las cuales se encuentran con riego por bombeo, princi-
palmente en el valle de Autlán, pero hay el inconveniente que
los mantos freáticos se abaten día tras día encontrándose el-
agua cada vez más profunda y por lo tanto siendo mas cara su
obtención; por tal motivo bajo estas condiciones desde hace -
algún tiempo, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidrául-
licos inicio los estudios de factibilidad hidrológicos, con -
el objeto de ver la posibilidad de construir una nueva presa-

cuyo almacenamiento fuera el suficiente para garantizar las demandas y poder regar la superficie antes citada con riego por gravedad, después de haber efectuado minuciosamente estudios se llegó a la conclusión que sí era factible la construcción de una nueva presa de almacenamiento la cual, debería estar aguas abajo de la presa "Tacotán" y de la confluencia del arroyo San Antonio, fue así como se localizó la boquilla denominada "Trigomil".

La zona del Distrito Autlán-El Grullo está comprendida entre las coordenadas geográficas $19^{\circ} 40'$ y $19^{\circ} 51'$ de latitud norte y $104^{\circ} 07'$ y $104^{\circ} 25'$ longitud oeste y dentro de la misma se encuentran Autlán y El Grullo como poblados principales.⁷

IV.2. DESCRIPCION DE LA CORTINA Y SU ESTRUCTURA.

La presa Trigomil, Jal., consta de una cortina de concreto compactado con rodillo (CCR) con una altura desde el lecho del río de aproximadamente 100 mts., una longitud de 250-m., ancho de corona 5.00 mts., taludes aguas arriba vertical hasta la elevación 1,165 y de esta elev. hasta su desplante -

(7) SARH. Apuntes de la Presa Trigomil
México, 1989. p. 1.

de 0.24:1, el talud de aguas abajo vertical hasta la elevación 1,202.15 y de esta elevación hasta su desplante de una avenida de 10,000 años de periodo de retorno con un gasto de 3,540 m³/seg. Resultando una carga sobre la cresta vertedora de 7.96 mts. quedando alojado el vertedor dentro de la sección de cortina. La región donde se construye la presa Trigo mil, está considerada como zona sísmica, por tal motivo se consideró un factor por sismo de 0.17 para que de esta manera quede la obra dentro del factor de seguridad, la longitud de la cresta vertedora es de 75 mts., para descargar 3,655 m³/seg.

Además se tiene una obra de toma alojada en la margen derecha, cuyo objetivo principal es proporcionar el gasto de riego comprometido a la zona de riego Autlán-El Grullo parcialmente en operación de 15 m³/seg, además se cuenta con una obra de desvío consistente en 3 conductos, 2 de 4.75 mts. y uno de 4.50 mts. por 8 mts. de altura para manejar el río en épocas de lluvias y durante las operaciones de colocación de tubería y válvulas en la toma provisional.

Para dar el gasto de riego requerido se proyecta una obra de toma en la margen izquierda en la elevación 1,151 la cual consta de una estructura de rejillas en su acceso, tuberías de presión de 2.13 mts. (84"Ø) y en la casa de máquinas una -

válvula de mariposa de 228.6 (90"Ø) y en la vifurcación de -
válvulas de mariposa de 137.2 (54"Ø) y dos válvulas de chorro
divergente de 121.9 (43"Ø) para extraer un gasto de 30 m³/seg.

En la ladera o empotramiento de la cortina se excavaron
6 galerías, 3 en cada margen en las elevaciones 1,140; 1,180-
y 1,212.30 las 4 más bajas de 50 mts. de longitud cada una -
y las de 1,212.30 elevación de corona en margen derecha, una-
de 30 mts. y en margen izquierda una de 15 mts. la sección -
transversal de estas galerías, es de tipo 'Medio punto' con -
dimensiones hasta línea 8" de 3.20 mts. de altura y 3.10 mts.
de ancho, con pendientes de 0.001 del fondo de la galería ha-
cia la cortina, el objeto de estas galerías de exploración -
geotécnica es la ladera, deberá efectuarse una serie de ensa-
yes geomecánicos que permitirá determinar las propiedades de
esfuerzo deformación de la roca para estas pruebas se requie-
re contar con excavaciones de detalle denominadas "Nichos" -
y preparación de superficies "Lisas", además se efectuarán -
perforaciones de sondeos geomecánicos que permitirán por me-
dio de un dispositivo de ensaye determinar propiedades, es-
fuerzo, deformación de la roca utilizando gato Goodman.

Las galerías de margen izquierdo, con derecha quedarán-
comunicadas con una galería que atravesará la cortina y ten--

drá su acceso por agua abajo, además estas galerías servirán para extraer los pequeños gastos de filtración que se tengan.

Estas galerías serán rellenas con los agregados usados en la elaboración del CCR, posteriormente se removerán y las galerías ya formadas se revestirán con concreto convencional.

La parte central de la cortina será vertedora, diseñada para un gasto de $3,655 \text{ m}^3/\text{seg}$. SE constituirá por un cimacio, un canal de descarga sobre el tálud de aguas abajo, muros de encauce y cubeta deflectora, esta y la zona de la cresta vertedora serán de concreto masivo, mientras que la losa del canal de salida y los muros de encauce serán de concreto convencional reforzado, anclados en el CCR de la cortina.⁷

IV.3. UBICACION DE BANCOS DE PRESTAMO.

El relieve topográfico de la zona donde está enclavada la obra, presenta características muy generales aun cuando en todas las obras de este tipo se encuentran muchas similitudes, pero en el caso de trigomil el área de la cortina es una bo-

(7) Ibid., pp. 3-4.

quilla estrecha del río con taludes en forma de "V" perfecta.

El banco de extracción de roca para obtener los agregados para los concretos de la cortina se encuentran ubicados a un lado de la misma exactamente arriba y en la dirección del eje de la cortina, siguiendo la ladera izquierda a una distancia aproximada de 400 mts.

El desnivel existente entre el lecho del río y la corona de la cortina son 100 mts., y el desnivel entre la corona y el banco de roca son 180 mts., aproximadamente. Todas las características anteriores hicieron pensar en una planeación de la obra que hiciese económicas las instalaciones y con acarreos de materiales mínimos para la fabricación de CCR, y utilizar lo menos posible acarreo en camiones, por lo que se consideró mover los agregados y el concreto a base de bandas y tuberías de transportación.⁷

A continuación se muestran los planos donde se ubican los bancos de préstamo.

(7) Ibid., p. 5

IV.4. FABRICACION, TRANSPORTE Y COLOCACION DE CCR Y CONCRETO DE LIGA.

MEZCLADO.

El CCR se forma por grava, arena, limo, cenizas volantes, puzolana, cemento y agua con tamaño máximo de agregado de 76.2 mm. (3"), cuyo revenimiento será cero y compactado mediante vibración externa utilizando rodillo liso vibratorio.

El concreto de liga, es la mezcla formada por grava, arena, limo, cenizas volantes, cemento y agua, con tamaño máximo de agregado de 38.1 mm (1-½"), cuyo revenimiento será cero y compactado mediante vibración externa, utilizando rodillo liso vibratorio.

El suministro de los agregados de los almacenamientos será por medio de una banda transportadora de 48" y túnel de recuperación a las tolvas de la planta de concreto, la caída de la glorieta será por tubería de 16"Ø con un repartidor inferior para la tolva de la planta, la planta de concreto es una Ross 220 para fabricación de concreto convencional con una capacidad teórica de producción de 220 m³/hr. La característica principal de esta planta es que tiene 2 revolventoras-

que hacen que la producción de concreto sea prácticamente -
continua, a diferencia de una sola que hace la producción in-
termitente. La conducción de la mezcla de la planta a la cor-
tina se hará por tubería de 40"Ø con una tolva receptora al -
inicio y un amortiguador anti-segregación al extremo.

El CCR y el concreto de liga serán elaborados mediante-
revolvedora de producción continua o discontinua, debiendo -
tener una producción tal que garantice la continuidad en la -
colocación del mismo durante veinte horas diarias y seis días
a la semana para evitar la formación de juntas frías.

El concreto de liga y de la capa intermedia se fabrica-
rá con la planta Ross y se colocará con el mismo sistema an-
tes descrito; el riego de humedecimiento y curado continuo, -
se hará con sistema Bomba-Tanque elevado, conducción por tube-
ría y manguera con rodillo fino en el extremo. La prepara- -
ción de juntas frías se hará con soplete de aire-agua de -
acuerdo con lo anteriormente señalado o sea una vez elaborado
el CCR, se procede inmediatamente a transportarlo con camio--
nes de acarreo no agitadores, se colocarán indicadores o seña-
lamientos, utilizando medios apropiados para el control e -
identificación de los dos tipos de concreto en cuanto sean -
mezclados y descargados en los transportes a los sitios de co

locación, cada tipo o clase de concreto será identificado visiblemente colocando marcas de color en los transportes al salir de la planta mezcladora a fin de que el concreto pueda ser bien identificado en el sitio de colocación.

Se instalarán equipos de intercomunicación rápida, entre la planta dosificadora y el sitio que se vaya a colocar el concreto que estarán a disposición de los inspectores de ambos sitios.

COLOCACION.

Previo a la colocación del CCR se deberá descubrir 1/3 de tamaño máximo de agregado en la superficie de la CCR intermedia de concreto convencional así como las caras de los concretos adyacentes.

Una vez transcurridos 7 días de colocada la capa intermedia de concreto convencional en el desplante se humedecerá la superficie y se colocará el concreto de liga con un espesor de 8 cm. e inmediatamente el CCR con un espesor de 22 cm. y se procederá a compactar.

Para las capas subsecuentes el CCR, se colocará con un-

espesor de 30 cm. de material suelto. La colocación se efectuará depositando material, formando montones distribuidos a lo largo de la zona de trabajo, con el espaciamiento adecuado para dar el espesor de capa y podrán ser extendidos con motoconformadoras empujadores frontales, siempre y cuando las llantas sean de hule y que su operación no dañe la superficie del CCR.

En el caso de suspensión de los trabajos por mas de 6 horas, para reanudarlas se deberá colocar una capa de concreto de liga de 8 cm. de espesor e inmediatamente el CCR con espesor de 22 cm. y se procedera a compactar debiendo continuarse conforme a lo descrito en el párrafo anterior.

La colocación del CCR y concreto de liga en el cuerpo de la cortina deberá realizarse en franjas, traslapadas entre sí 40 cm. en forma continua y en el menor tiempo posible para evitar la pérdida de humedad o que se formen juntas frías.

Si el contenido de agua o cemento en el CCR y concreto de liga, fuese inferior a lo especificado, deberá removerse todo el material que se encuentra en estas condiciones; quedando prohibido adicionar agua, cemento o cualquier otro agregado al CCR y concreto de liga, una vez que haya salida de la mezcladora.

Deberán tomarse medidas especiales para evitar que los neumáticos del equipo que circule sobre la superficie del CCR o concreto de liga tenga adheridas partículas de suelo o partículas de concreto, que puedan contaminar dicha superficie - en caso de que esto ocurra deberá limpiarse la superficie del contacto y restaurarse con concreto de liga, si se requieren estas operaciones serán por cuenta del contratista.

En caso de lluvia, deberá suspenderse la colocación del material todo el material que no hubiese estado compactado - satisfactoriamente antes de suspender los trabajos a causa de la lluvias deberá ser retirado de inmediato, evitando que sobre la superficie compactada queden adheridas partículas inde seables, lo anterior será por cuenta del contratista.

Deberán evitarse los virajes bruscos de vehículos que - circulen sobre las capas del CCR que esta fresca, en caso de ocurrir esto deberá repararse conforme lo indicado anteriormente.

Intervalo de tiempo entre mezclado y colocación. Los - concretos se colocarán dentro de los 30 minutos siguientes al mezclado.

Temperatura de colocación. No se permitirá la colocación del CCR y concreto de liga cuando la temperatura ambiente sea mayor de cuarenta grados centígrados o menor de cuatro grados centígrados. En la colocación del CCR y concretos de liga durante los meses de verano, se emplearán medios efectivos, tales como regado del agregado, enfriamiento del agua de mezclado y otros medios apropiados para abatir la temperatura del concreto.

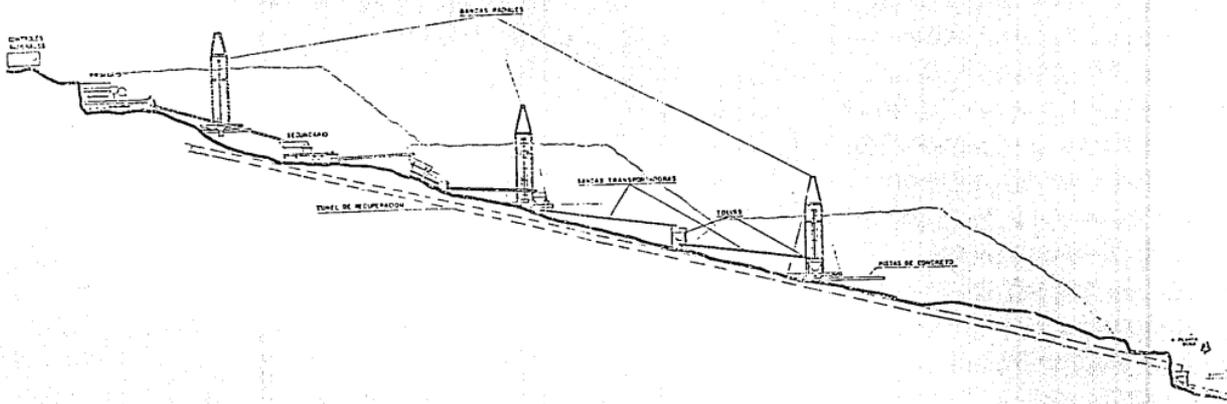
Compactación del CCR y concreto de liga. Una vez extendido el CCR, se compactará con rodillo liso vibratorio con las características apropiadas, desplazándose a una velocidad de 3.25 km/hr y dando 4 pasadas puede compactar más de 260 m³ por hora de CCR en capas de 25 cm.

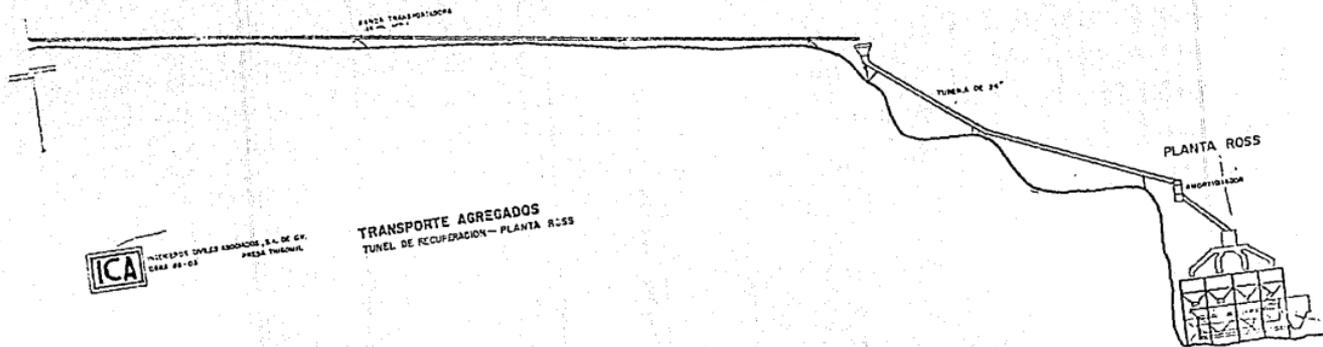


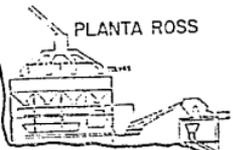
INSTITUTO COSTARRICENSE DE AGRARIO, S.A. DE C.V.
PRESA TRUJILLO

INSTALACIONES DE PRODUCCION Y TRANSPORTE DE AGREGADOS TRITURADOS

1:5000





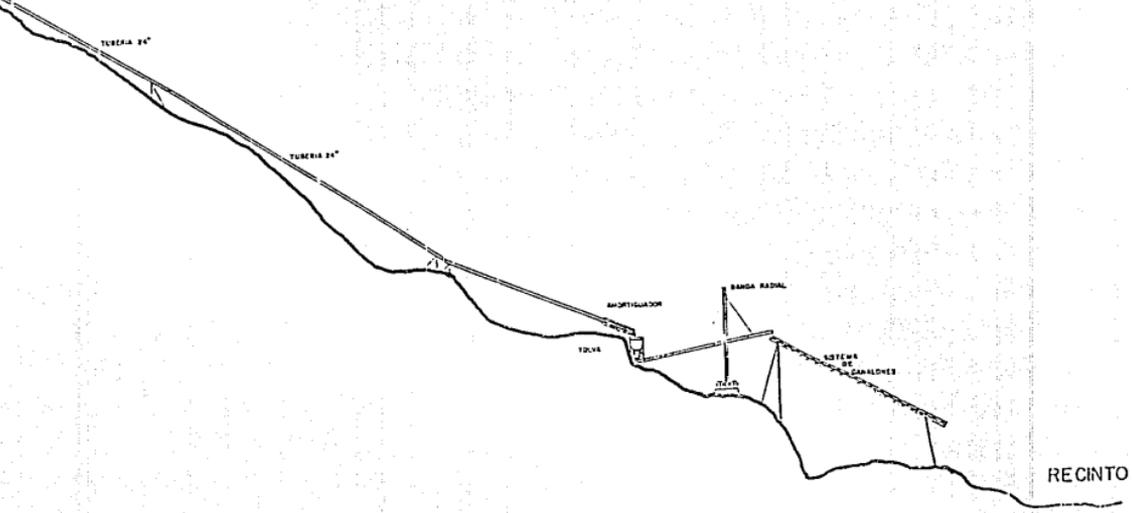


PLANTA ROSS



INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS A.C. DE SV.
COSA 88-02 PISA-14-2004

SUMINISTRO DEL C.C.R.
PLANTA ROSS-RECINTO



TORREJA 24"

TORREJA 24"

TUBO

EMPUJADOR

BARRA RADIAL

TRIE

SISTEMA DE CARRILLOS

RECINTO

IV.5. DATOS DE PROYECTO.

Para la construcción de la obra de toma y demás conductos que se encuentren alojados en el cuerpo de la cortina se dejarán en estos huecos mediante la colocación de grava-arena con la misma granulometría que los utilizados en la mezcla del CCR, en las zonas que corresponden los conductos, desde la plantilla hasta la parte superior, conservando el mismo nivel en el resto de la cortina para que el equipo compacte de igual manera la mezcla que contenga cementante y la que no lo contenga.

Una vez que se alcance la elevación correspondiente a la parte superior del conducto, se colocará acero de refuerzo si es necesario en la parte superior del relleno de grava, ahogado con el CCR. Continuando con la colocación normal de este en forma corrida, una vez transcurrido el tiempo necesario para que el CCR se autosoporte, se procederá a la remoción de las gravas y arenas para continuar con la terminación de las estructuras con concreto convencional.

Las formas de prefabricado de concreto del talud de aguas arriba, se manufacturaban conforme a los planos de proyecto y deben cumplir con lo especificado en A.24 y A.26 de estas generalidades. Además la cara que estará en contacto con la membrana con 1/3 del tamaño máximo de agregado expuesto.

La colocación de estas formas se realizará presentándolas en su lugar de colocación y posteriormente colocando el anclaje conforme avance el CCR, según se muestra en los planos de proyecto.

La relativa a este concepto debe ajustarse a lo descrito en las especificaciones generales en los puntos 10-6 a 01.0 A, 10-6.03.3 y 11-10.01A, 11-10.04.4 adicionalmente, para las estructuras expuestas a la visita del público, se aplicará el acabado señalado según estipulación 10-6.01.5, para calidad A.3 y para la superficie del cimacio, muros de encauce y corona de la cortina según punto 10-6.01.6 para acabado U₂.

El CCR y el concreto de liga deberá mantenerse continuo mente húmedo, por lo menos 28 días.

En la superficie del CCR o el concreto de liga, sobre la que se colocará otra capa de concreto, no se permitirá la utilización de material alguno de curado, que no sea agua, arena húmeda u otro material que pueda ser removido totalmente para no interferir en la adherencia entre capas. No es necesario curar la superficie compactada de concreto, durante la construcción si la capa subsecuente es colocada antes de que se presente el secado superficial.

Para el caso del Talud aguas abajo de la sección no vertedora deberá curarse con agua durante un minuto de 28 días.

El concreto se protegerá contra lluvia fuerte durante 12 (doce) horas y contra el agua corriente 14 (catorce) días-después del colado.

En ningún tiempo se permitirá fuego a calor excesivo - en contacto directo con el concreto, el curado y protección - del concreto además de los indicados aquí, deberá cumplir con lo estipulado en las especificaciones generales, en sus puntos 10-7.01.17 a 10-7.01.20; 11-11.01.4 y 11-11.01.5.

En las superficies que estarán expuestas permanentemente el curado de concreto deberá ser de membrana, con un producto aprobado, por la Secretaría con un mínimo de 2 meses, - antes de su utilización en las estructuras o partes de ellos - y en las superficies contra las cuales se colocarán terraplenes o rellenos en todas las superficies aparentes de concreto.

El curado con membrana se aplicará a las superficies - moldeadas inmediatamente después que sean retiradas las formas y antes de que se realicen las operaciones de resane u - otros tratamientos de superficie, excepto la limpia de arena-suelta mortero y otros desechos de la superficie.

No se permitirá curado de membranas en las superficies - que han de entrar en liga con nuevos concretos convencionales o compactados con rodillo.

Las formas prefabricadas se curarán cuando menos por -

28 (veintiocho) días con agua y arena húmeda u otro material - que pueda ser removido totalmente no debiéndose emplear curado acelerado ni de membrana.

Las superficies de concreto que hayan estado expuestas a lluvias intensas dentro de las 3 (tres) horas siguientes - de que se haya aplicado el curado de membrana, se volverán - a rociar de la manera descrita en las especificaciones generales.

La aplicación del mortero para sujetar las piezas empotradas se hará hasta que dichas piezas hayan sido armadas alineados, niveladas y aseguradas previamente a la instalación - de las partes embebidas o ancladas se limpiará la zona de anclaje con chorro de arena y se humedecerá cualquier desplazamiento o vacío detectado una vez que haya fraguado el mortero.

El acero de refuerzo deberá tenerse cuidado en marcar y almacenar los diferentes grados estructurales y tipos de manera que pueda identificarse fácilmente, el recubrimiento mínimo de refuerzo principal estara acorde con las dimensiones - mostradas en los planos.

El recubrimiento de estribos, barras espaciadoras y re-

fuerzos secundarios similares será cuando menos en un diámetro de tales barras.

TOLERANCIA DE CONSTRUCCION PARA LA COLOCACION DE
ACERO DE REFUERZO

| | Recubrimiento | Tolerancia |
|-----------------------------|---------------|------------|
| Variación de recubrimiento. | 50 mm. | 6 mm. |
| Variación de recubrimiento. | 75 mm. | 13 mm. |
| Variación de espaciamento. | | 25 mm. |

Los extremos traslapados de las barras pueden colocarse en contacto y amarrarse con alambre o pueden separarse lo suficiente para permitir que el concreto envuelva bien la superficie completa de cada barra.

Para las varillas cuyo diámetro sea igual o mayor de 2.54 cm. (1"), el empalme deberá ser soldado de acuerdo a las especificaciones indicadas y el costo que resulte de esta operación incluyendo materiales y utilización de equipo, deberá quedar incluido en el precio unitario de colocación de acero de refuerzo.

La soldadora de barra será hecha con proceso de calor y se ejecutará en lugares que señalen los planos.

A continuación se enlistan los principales datos del proyecto.

| | | |
|---|-------------|----------------------|
| Capacidad total. | 324'000,000 | m ³ |
| Capacidad de conservación. | 250'000,000 | m ³ |
| Capacidad de superalmacenamiento | 74'000,000 | m ³ |
| Capacidad para azolves | 25'000,000 | m ³ |
| Elevación de la corona. | 1,212.30 | m |
| Elevación del N.A.M.E. | 1,208.36 | m |
| Elevación de la cresta vertedora. | 1,201.40 | m |
| Elevación del nivel mínimo de operación. | 1,164.20 | m |
| Elevación del umbral de la zona definitiva. | 1,157.50 | m |
| Longitud de la cresta vertedora. | 75.00 | m |
| Gasto máximo de entrada. | 4,600.00 | m ³ /seg. |
| Gasto de diseño del vertedor. | 3,655.00 | m ³ /seg. |
| Gasto de diseño de la O. de toma definitiva. | 30.00 | m ³ /seg. |
| Gasto de diseño de la O. de toma provisional. | 15.00 | m ³ /seg. |
| Area de la cuenca trigomil. | 997.90 | km ² |
| trigomil - Tacotán. | 2,164.90 | km ² |

| ELEVACION | SUPERFICIE (Has) | CAPACIDAD (Millones de m ³) |
|-----------|---------------------|--|
| 1120 | 0.33 | 0.01 |
| 1125 | 4.05 | 0.12 |
| 1130 | 21.08 | 0.75 |
| 1135 | 44.20 | 2.38 |
| 1140 | 71.58 | 5.27 |
| 1145 | 108.90 | 9.78 |
| 1150 | 149.03 | 16.23 |
| 1155 | 195.65 | 24.85 |
| 1160 | 248.05 | 35.94 |
| 1165 | 302.73 | 49.71 |
| 1170 | 359.48 | 66.27 |
| 1175 | 418.78 | 85.72 |
| 1180 | 480.53 | 108.20 |
| 1185 | 556.93 | 134.14 |
| 1190 | 640.58 | 164.07 |
| 1195 | 732.95 | 198.41 |
| 1200 | 838.50 | 237.70 |
| 1205 | 928.95 | 251.88 |
| 1210 | 1019.43 | 330.59 |

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

V.1. CONCLUSIONES

Esta tesis tiene como finalidad presentar una descripción general del concreto compactado con rodillo (CCR), en la presa Trigomil que está en proceso de construcción actualmente, y con los resultados obtenidos a la fecha se puede establecer las ventajas del empleo del concreto rodillado. En términos generales, destaca la economía derivada del consumo mucho menor de cemento para la elaboración de mezclas, así como la rapidez y la facilidad de su colocación en comparación con las estructuras erigidas con concreto normal.

El diseño de mezclas para el concreto compactado con rodillos se encuentra en una etapa de incipiente desarrollo en nuestro país, por ello es necesario ensayar en el laboratorio y en el campo.

Sin embargo, no se puede establecer una regla general para determinar el equipo a utilizar, el número de pasadas, el espesor de las capas, etc., pues existen un sinnúmero de variables que difícilmente pueden ser iguales en dos proyectos distintos. Por ello, la selección de un equipo en parti-

cular depende principalmente de los resultados que arroje al ser utilizado en un bordo de prueba en el sitio, bajo las mismas condiciones que prevalecerán durante la construcción de la obra.

Diversas combinaciones entre los parámetros significativos que condicionan el comportamiento de las mezclas tanto al elaborarse como cuando han endurecido. Esta no es una limitación a la nueva tecnología sino un reto a la capacidad del ingeniero que diseñará y construirá estas estructuras.

Finalmente se puede concluir que la construcción de presas y pavimentos con CCR resulta una alternativa sumamente económica que debe ser considerada muy seriamente al proyectar este tipo de obras, especialmente en éstos tiempos de crisis económica, ya que con un costo menor se pueden construir más kilómetros de carreteras y un mayor número de presas, las cuales son obras de infraestructura que influyen directamente en el desarrollo del país. Un ejemplo significativo de la economía que representa construir con CCR es el caso de la presa Monksville, en Nueva Jersey, la cual tuvo un costo total de 17 millones de dólares (en 1986), 5 millones menos que la siguiente alternativa más económica, y además, su construcción tomó la mitad de tiempo, se puede decir, que el CCR, a -

pesar de ser una tecnología relativamente nueva, ha demostrado contar con características que lo hacen muy superior al concreto convencional utilizado en la construcción de presas y carreteras.

V.2. RECOMENDACIONES

Será necesario continuar con los estudios acerca de la preparación de la superficie para desplante; la adherencia en tre capas; la colocación en empotamientos; en tiro, tendido y compactación del concreto, la formación del elemento impermeable cuando sea requerido por el proyecto; el procedimiento de colocación de formas prefabricadas cuando se requieran parámetros verticales o con pendiente muy grande; y sobre el equipo idóneo para la construcción.

Paralelamente el desarrollo de la tecnología de diseño y construcción, deberán prepararse los procedimientos expedidos para el control de calidad del concreto compactado con rodillos, pues es necesario vigilar que la obra se construya conforme a lo proyectado.

Se recomienda que la colocación sea continua del CCR que se logra mediante transportadores de banda. Generalmente es necesario contar con una tolva al final de la banda transportadora principal para retención temporal a fin de evitar que haya interrupciones por esperas de los vehículos de acarreo. Se propone que la tolva tenga un tamaño mínimo del doble de la capacidad de los dos vehículos de acarreo más gran-

des que se vayan a emplear. El material no se debe retener en la tolva de almacenamiento durante más de 5 a 10 minutos. El tiempo de exposición en la banda transportadora debe ser mínimo, con 5 minutos como límite deseable y 10 minutos como límite práctico. El transportador se debe tapar para proteger la mezcla y evitar que se seque o se moje con la lluvia, especialmente en los tramos largos y de preferencia en todo el sistema. Al igual que en los sistemas de transporte del concreto convencional, se debe prestar especial atención a los anchos, velocidades, protección, mantenimiento, ángulos, sistemas de respaldo, retacciones, etc. de las bandas.

El extendido se facilita si el CCR se coloca en hileras o camellones. Los camiones o motoescrepas que transporten el CCR pueden operar sobre la superficie recién compactada sin afectar el concreto. Sin embargo, se tiene que evitar que este equipo circule sobre lodo y polvo, ya que las llantas sucias contaminan la superficie del CCR y se afecta la calidad de éste, además de que se pueden presentar problemas en las juntas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- AUTOR: SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
TITULO: CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
EDITADO: KENNETH D. HANSEN
PAIS: MEXICO, D.F. 1985
TOMOS: I

- 2.- AUTOR: PEDRO LUIS BENITEZ MALVIDO
TITULO: COMPACTACION DE CONCRETO RODILLADO
TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PAIS: MEXICO, D.F. 1990

- 3.- AUTOR: REVISTA IMCYC
TITULO: EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO Y EL
ROLACRETO EN LAS PRESAS
PAIS: MEXICO, D.F. 1986
EDICION: VOLUMEN 24, Núm. 183.

- 4.- AUTOR: SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
TITULO: ESTUDIOS BASICOS
EDICION: PRIMERA
PAIS: MEXICO, D.F. 1985

- 5.- AUTOR: SARH
TITULO: DIRECCION GENERAL DE ESTUDIOS
PAIS: MEXICO, 1985
- 6.- AUTOR: SARH
TITULO: CONTROL DE CALIDAD
PAIS: MEXICO, 1985
- 7.- AUTOR: SARH
TITULO: APUNTES DE LA PRESA TRIGOMIL
PAIS: MEXICO, 1989