

24/170

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



ANTEPROYECTO DE UNA CORTINA DE CONCRETO TIPO GRAVEDAD

*Jorge Antonio Martínez del
Campo Rangel*

1986



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

Pág.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1

CAPITULO II

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SELECCION DEL TIPO DE CORTINA

6

2.1 *Tipos de cortinas*

7

2.1.1 Cortinas de concreto tipo gravedad

7

2.1.2 Cortinas de concreto tipo contrafuerte

8

2.1.3 Cortinas tipo arco

8

2.1.4 Cortinas de mampostería

9

2.1.5 Cortinas de madera

9

2.1.6 Cortinas de tierra

10

2.1.7 Cortinas de enrocamiento

10

2.1.8 Cortinas de materiales graduados

12

2.2 *Factores de selección*

12

2.2.1 Topografía

13

2.2.2 Condiciones geológicas en la cimentación

14

2.2.3 Materiales de construcción

15

2.2.4 Obra de excedencias

16

2.2.5 Obra de desvío

17

2.2.6 Obra de toma

17

2.2.7 Sismos

17

CAPITULO III

CRITERIO DE DISEÑO PARA UNA CORTINA DE CONCRETO TIPO GRAVEDAD

19

	Pág.	
3.1	Fuerzas que actúan en la cortina	19
3.1.1	Empuje hidrostático	20
3.1.2	Empuje hidrodinámico	21
3.1.3	Subpresión	24
3.1.4	Empuje de azolves	25
3.2	Requisitos de estabilidad y resistencia	29
3.2.1	Volteo y esfuerzos internos	31
3.2.2	Deslizamiento y fricción cortante	33
3.3	Secuela de cálculo para el diseño de una cortina con ambos paramentos rectos e inclinados	33
3.3.1	Obtención de la altura total de la cortina	33
3.3.1.1	Volumen de azolves	34
3.3.1.2	Capacidad de aprovechamiento	34
3.3.1.3	Superalmacenamiento	34
3.3.2	Proposición de la geometría	35
3.3.2.1	Ancho de la corona	35
3.3.2.2	Altura de cada una de las zonas de la sección	36
3.3.2.3	Taludes de aguas arriba y aguas abajo	36
3.3.3	Revisión de la geometría	37
3.3.3.1	Combinaciones de carga	37
3.3.3.2	Revisión de la parte superior	37
3.3.3.3	Revisión de la zona intermedia	38
3.3.3.4	Revisión de la parte inferior	38
3.4	Ejemplo	38
3.4.1	Proposición de la geometría	40
3.4.1.1	Ancho de la corona	40
3.4.1.2	Alturas de h_1 y h_2	40
3.4.1.3	Inclinación de los paramentos	40
3.4.2	Revisión de la geometría	41
3.4.2.1	Sección 1	42
3.4.2.2	Sección 2	48

CAPITULO V

CARACTERISTICAS DEL CONCRETO MASIVO PARA CORTINAS	53
4.1 <i>Elementos constitutivos del concreto</i>	54
4.1.1 El cemento	54
4.1.1.1 Cementos Portland	54
4.1.1.2 Cementantes combinados	57
4.1.2 Los agregados	58
4.1.2.1 Clasificación	58
4.1.2.2 Propiedades de los agregados	59
4.1.2.2.a Forma y textura	59
4.1.2.2.b Resistencia	59
4.1.2.2.c Densidad	60
4.1.2.2.d Absorción y contenido de humedad	60
4.1.2.2.e Consistencia	61
4.1.2.3 Análisis granulométrico	61
4.1.3 Los aditivos	62
4.1.3.1 Incluidores de aire	62
4.1.3.2 Reductores de agua	62
4.1.3.3 Retardantes	62
4.1.3.4 Acelerantes	63
4.1.4 Las puzolanas	63
4.1.4.1 Ceniza volante	63
4.2 <i>Concreto masivo convencional</i>	64
4.2.1 Esfuerzos máximos	65
4.2.2 Peso específico	65
4.2.3 Durabilidad	67
4.2.4 Permeabilidad	67
4.2.5 Trabajabilidad	67

	Pág.
4.2.6 Cambios de volumen	67
4.2.7 Módulo de elasticidad	68
4.3 Concreto compactado por medio de rodillos (CCR)	68
4.3.1 Materiales constitutivos	69
4.3.1.1 Cemento	69
4.3.1.2 Agregados	69
4.3.1.3 Puzolanas	70
4.3.2 Propiedades	70
4.3.2.1 Resistencia a la compresión	70
4.3.2.2 Peso específico	71
4.3.2.3 Durabilidad	71
4.3.2.4 Permeabilidad	71
4.3.2.5 Cambio de volumen	71

CAPITULO V

ALGUNOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA CORTINAS DE CONCRETO	72
5.1 Preparación del sitio	73
5.1.1 Caminos de acceso	73
5.1.2 Obra de desvío	74
5.1.3 Limpieza de las laderas	74
5.1.4 Inyección de las laderas	74
5.1.5 Construcción de las galerías de inspección	75
5.2 Producción del material para la cortina	75
5.2.1 Producción de los agregados	75
5.2.1.1 Explotación de depósitos aluviales	76
5.2.1.2 Explotación de bancos de roca	76
5.2.1.3 Tratamiento de los agregados	76
5.2.2 Transporte de los materiales a la planta	77
5.2.2.1 Transporte del cemento y puzolanas	77
5.2.2.2 Transporte del agua	78

	Pág.
5.2.2.3 Transporte de los agregados	78
5.2.3 Fabricación del concreto	78
5.2.3.1 Dosificación	78
5.2.3.2 Mezclado	79
5.3 Manejo <i>del concreto convencional</i>	79
5.3.1 Transporte de la mezcladora al sitio de colocación	80
5.3.2 Colocación del concreto	80
5.3.2.1 Tratamiento de las juntas	81
5.3.2.2 Cimbrado	81
5.3.2.3 Colado del concreto	81
5.3.3 Compactación del concreto	82
5.4 Manejo <i>del concreto rodillado</i>	83
5.4.1 Transporte	83
5.4.1.1 Transporte intermitente	83
5.4.1.2 Transporte continuo	83
5.4.1.3 Combinación de ambos	84
5.4.2 Colocación del concreto	84
5.4.2.1 Tratamiento de las juntas	84
5.4.2.2 Colado	85
5.4.2.3 Compactación	85
5.4.2.4 Curado	86

CAPITULO VI

CONCLUSIONES	87
--------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	90
----------------------------	----

AGRADECIMIENTO	94
----------------	----

CAPITULO I

INTRODUCCION

El origen de las presas se remonta muchos milenios atrás en la historia del hombre; su primer uso seguramente tuvo -- que ver con la necesidad de almacenar agua en los periodos -- de abundancia, para posteriormente beberla en las temporadas de escasez, originadas por las condiciones cambiantes en el volumen del líquido transportado por los ríos. Más adelan-- te, en el transcurso del tiempo, los usos fueron ampliándose para satisfacer otras necesidades domésticas de los morado-- res de aquellas poblaciones, así como para el riego con fi-- nes agrícolas, a medida que estas últimas actividades fueron cobrando mayor importancia en la vida comunitaria. En la -- actualidad el empleo de las presas se ha extendido a muchas-- otras funciones, incluyendo unas tan distintas entre sí como la generación de energía eléctrica, la protección y la re--- creación.

Una presa se define como el conjunto de obras necesarias para almacenar o derivar el agua de las corrientes superfi--

ciales en forma segura, y utilizarla para el o los fines deseados. Son varios los elementos que forman parte de una presa, siendo ~~la cortina el principal~~ de todos, ya que es la estructura que detiene el paso del agua provocando la formación del embalse. Las cortinas pueden tener diversas formas y estar constituidas por diferentes materiales.

Se piensa que las primeras cortinas construidas fueron de tierra, sin embargo, no se tiene la certeza ya que no hay evidencia de ellas. La presa más antigua que se conoce fue construida en Egipto hace aproximadamente 6,000 años; ésta se hizo a base de mampostería seca, o sea, piedras unidas sin cementante y tuvo el propósito de abastecer de agua a los trabajadores de las pirámides.

Durante muchos años las cortinas se siguieron fabricando con el mismo procedimiento, siendo sólo posible, por lo tanto, construirlas de baja altura y con una gran anchura en su base, aún los romanos pudieron solamente reducir a tres la relación de ancho de la base a altura. Para realizar estructuras más altas y esbeltas fue necesario utilizar un mortero de arcilla, a modo de cementante, en las uniones de las piedras, que fue un paso muy importante en el desarrollo de la ingeniería de presas; posteriormente se sustituyó la mampostería por el concreto ciclópeo, considerado como el antecedente más directo de la actual cortina de concreto tipo gravedad.

Hoy en día, con el avance de la técnica en los procesos constructivos y con el gran desarrollo de la tecnología del concreto, se ha conseguido construir cortinas mucho más altas y esbeltas, tal es el caso de la Gran Dixence en Suiza, la más alta del mundo, que se eleva más de 280 m sobre el --

desplante; o cortinas con enormes volúmenes como la Gran Coulee en Estados Unidos, la cual está formada por 8 millones - de metros cúbicos de concreto.

~~En México, debido al acelerado desarrollo industrial del país en la época de 1955 a 1965, se construyeron grandes presas con el fin de generar energía eléctrica, y algunas otras para riego. Varias de ellas se hicieron con cortinas de concreto, ya que en ese tiempo resultaban, frecuentemente, más económicas que las de tierra o de enrocamiento. Las más importantes que se pueden mencionar son: El Novillo, sobre el Río Yaqui en Sonora, con 134 m de altura; Santa Rosa en el estado de Jalisco; La Soledad en Puebla, sobre el Río Apulco y La Amistad en el Río Bravo (referencia 1). Las tres primeras son de arco y la última es de enrocamiento con la sección central, de 290 m de longitud, de gravedad vertedora.~~

Sin embargo, en los años setentas, además de que se construyeron pocas presas, sus cortinas ya no se hicieron de concreto, debido sobre todo a la aparición en el mercado internacional de maquinaria pesada para mover grandes volúmenes - de tierra en poco tiempo, con lo que los materiales sueltos - resultaron más económicos, y las de concreto no pudieron entonces competir con ellas.

En nuestro país se han construido 382 grandes presas (referencia 2), de las cuales 234 son de tierra y enrocamiento, 9 de arco, 6 de contrafuertes y 133 de gravedad. De estas - últimas la quinta parte son de concreto y solo 7 tienen arriba de 50 m de altura. En México se tiene un problema adicional para las grandes cortinas de concreto, debido a que la - mayor parte del territorio es zona sísmica y las de materiales sueltos pueden soportar mejor las sacúdiditas del terreno.

Existen otros países en donde se elaboran más cortinas de concreto que de otro material; tal es el caso de España que tiene alrededor de 120 presas de concreto, de las cuales 50 son del tipo de gravedad, y más de 30 rebasan los 100 m de altura (referencias 3 y 4).

Al principio de la década pasada se empezó a desarrollar, principalmente en Estados Unidos y Japón, un nuevo tipo de concreto masivo, llamado concreto rodillado, el cual es manejado con equipo convencional de movimiento de tierras, esto lo hace ser mucho menos costoso que el concreto que se ha usado tradicionalmente. Lo anterior ha provocado que las cortinas de concreto se construyan nuevamente, ya que pueden resultar incluso más baratas que las de menor costo de materiales sueltos, como son las de roca compactada o las de tierra. En Estados Unidos se han construido varias cortinas usando esta tecnología, por ejemplo la Monksville en el estado de Nueva Jersey, en la que se vió en los estudios comparativos, que el costo de la cortina de concreto rodillado era 15% más bajo que la siguiente más económica, que fue la de tierra, y 45% más económica que la de concreto tradicional (referencia 5).

El uso de esta nueva tecnología se ha ido extendiendo a diferentes países del mundo, entre ellos Pakistán, Francia, Brasil, Argentina (referencia 6), llegando hasta México, donde se tienen actualmente dos cortinas proyectadas para construirse con este tipo de concreto. Una de ellas, la de Trigomil, situada en el estado de Jalisco, será, cuando se termine de construir, la más alta del mundo elaborada con concreto rodillado, ya que se alzará 100 m sobre el desplante. Las técnicas que se habrán de usar en esa cortina son sobre todo estadounidenses, pero con ciertas diferencias, ---

principalmente en el procedimiento constructivo, debido a -- las condiciones especiales del lugar.

~~Este nuevo concepto puede hacer que las cortinas de concreto cobren vida otra vez, por lo que en el presente trabajo se busca expresar las características más sobresalientes de las cortinas de concreto tipo gravedad, así como los elementos de diseño que se deben hacer intervenir en un anteproyecto y la forma de elegir finalmente la cortina más adecuada.~~

Para ello se presenta en el II Capítulo las distintas -- cortinas, y se explican brevemente los factores que influyen en su selección. En el III Capítulo se describen los elementos que afectan a la estabilidad, considerando que sólo actúan fuerzas normales al eje de la cortina; se presenta además un ejemplo del dimensionamiento de una cortina. Las características fundamentales del concreto masivo, tanto del convencional como del concreto rodillado, se tratan en el Capítulo IV. En el V Capítulo se describen algunos de los procedimientos constructivos que más se han usado para cortinas de concreto, y la diferencia radical con las nuevas estructuras de concreto rodillado. Finalmente, se hacen comentarios generales y se ofrecen las conclusiones del presente trabajo.

CAPITULO II

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SELECCION DEL TIPO DE CORTINA

Como se mencionó en el capítulo anterior existen diferentes tipos de cortinas, con diversas formas y hechas a base de distintos materiales. Para seleccionar la más adecuada al sitio donde se pretende construir una presa se deben tomar en cuenta una serie de factores físicos, de modo tal, -- que la cortina por la cual se opte finalmente sea la que --- ofrezca mayor seguridad y resulte más económica. La seguridad de la presa es lo más importante, ya que si llegara a -- fallar podría producir, dependiendo de su magnitud, un grandesastre en la zona.

Es por consiguiente necesario conocer primero la diversidad de cortinas que hay y sus características sobresalientes cuestiones que se abordan a continuación, para luego referir se a los factores de selección.

2.1 Tipos de cortinas

Básicamente se les puede clasificar de tres formas, atendiendo a sus diferentes características, ésto es, por su altura, por su proyecto hidráulico o por los materiales que las constituyen (referencia 7). En el presente trabajo se adoptará la de los materiales que las constituyen y el tipo de construcción; la cortina de concreto tipo gravedad, que es el tema de este trabajo, está comprendida en esta clasificación, la cual es como sigue:

- Cortinas de concreto
 - Tipo gravedad
 - Tipo contrafuertes
 - Tipo arco
- Cortinas de mampostería - Tipo gravedad
- Cortinas de madera
- Cortinas de tierra
- Cortinas de enrocamiento
- Cortinas de materiales graduados

A continuación se hace una breve descripción de cada una de estas cortinas.

2.1.1 Cortinas de concreto tipo gravedad

Están constituidas de concreto no armado; su principal característica es que logran la estabilidad por su propio peso. Estas estructuras se deben desplantar sobre roca sana para evitar asentamientos desiguales que provoquen rupturas del concreto; sin embargo, cuando no son muy altas, se pueden construir sobre cimentaciones aluviales. Otra característica muy importante de estas cortinas es que pueden ser vertedoras, es decir, que la obra de excedencias podrá estar

alojada en la corona, permitiendo en este caso un gran ahorro en la construcción de la presa.

2.1.2 Cortinas de concreto tipo ~~contrafuertes~~

Estas cortinas tienen dos elementos para contener el agua; el primero es una cubierta que puede ser una losa plana o en forma de arcos múltiples, este soporta los empujes producidos por el embalse; el segundo elemento lo forman los machones o contrafuertes, los cuales reciben la carga de la cubierta y la transmiten a la cimentación.

Existe otra variante de este tipo de cortinas que es la de machones con cabeza. El diseño de esta cortina consiste en engrosar el machón en el sentido perpendicular al flujo, aguas arriba, de modo que cada machón se junte con los adyacentes del lado del vaso. Según la forma que tengan en el ensanchamiento reciben el nombre de "cabeza redonda" o de "cabeza de diamante".

Las cortinas de contrafuertes tienen ventaja sobre las de gravedad en cuanto a que requieren una menor cantidad de concreto; sin embargo, el ahorro que se tiene por esto frecuentemente se compensa con el gasto adicional en refuerzo, cimbras y mano de obra.

2.1.3 Cortinas tipo arco

Estas estructuras son de concreto, tienen convexidad hacia aguas arriba y las cargas las transmiten a la cimentación principalmente por acción de arco. Es por esta última característica que se requiere un sitio con base y laderas de roca sólida, para que sea factible desplantarla. Este ti

po se adapta bien en cañones angostos y donde la relación de longitud de cuerda de la boquilla a altura no es muy grande.

Existen diversas formas de arco, dependiendo de sus características geométricas, ésto es: posición del centro de curvatura variable o constante, radio variable o constante, ángulo variable o constante, etc. Las cortinas con doble curvatura, es decir, curvatura horizontal y vertical se denominan de arco-bóveda; las que tienen sólo curvatura en planta y su sección máxima es semejante a la de una cortina de gravedad, soportando parte del empuje por su peso, se llaman cortinas de arco-gravedad.

2.1.4 Cortinas de mampostería

Tales cortinas son del tipo gravedad, por lo que el diseño y el análisis de la estabilidad son los mismos que en las de concreto del mismo tipo, diferenciándose sólo en el material.

El costo del concreto y el de la mampostería es prácticamente igual, por la gran cantidad de mano de obra que ésta última requiere. Sin embargo -como en la mampostería es factible que se dejen huecos o que se tengan morteros de diferentes calidades, siendo baja la resistencia e impermeabilidad- se prefiere construir las de concreto, salvo en los casos en que exista otra finalidad, como por ejemplo la de crear una fuente de trabajo en la región.

2.1.5 Cortinas de madera

Hasta antes del presente siglo se habían construido gran cantidad de cortinas de madera, todas de baja altura y des--

plantadas donde las condiciones de la boquilla eran muy favorables. Actualmente ya no se fabrican por lo antieconómicas que son; esto se debe a la gran cantidad de mano de obra que necesitan y a la corta vida útil que tienen.

2.1.6 Cortinas de tierra

Este tipo se refiere a aquellas cortinas que están formadas casi totalmente de tierra común, empleándose roca sólo para proteger los paramentos contra la erosión; por tanto su estabilidad depende únicamente de lo estable que sean sus taludes, bajo las diferentes condiciones de trabajo.

Las principales ventajas de las cortinas de este tipo -- son dos: que el material que se usa no requiere mayor tratamiento y que se pueden desplantar sobre cualquier cimentación.

2.1.7 Cortinas de enrocamiento

Hay dos tipos de cortinas de enrocamiento; unas son las que adquieren su impermeabilidad mediante un corazón de arcilla, y otras las que tienen una pantalla de concreto, generalmente en el paramento mojado, para impedir el paso del agua. Las primeras no tienen graves problemas, ya que con los movimientos diferenciales del cuerpo no se ve afectado el núcleo impermeable, pero las del segundo caso presentaban serias complicaciones, por lo que se dejaron de construir hace algunos años.

Las cortinas de pantalla de concreto tenían problemas de grandes filtraciones por el fracturamiento del concreto, lo cual se debía al proceso constructivo. Este consistía básicamente

camente en colocar a volteo rocas lo más grandes posible y, sobre éstas, en el paramento de aguas arriba, se colocaban losas de concreto. En estas condiciones se producían fuertes asentamientos del cuerpo (del orden de 2%), ocasionando la ruptura de las losas, con el subsecuente paso del agua. Para eliminar las filtraciones se debían ejecutar reparaciones frecuentes, siendo necesario vaciar el vaso, lo que producía grandes pérdidas, además de que no siempre era posible efectuar el vaciado.

Actualmente se ha desarrollado una nueva técnica, principalmente en Australia, la cual ha permitido que se construyan nuevamente cortinas de enrocamiento. Tal técnica consiste en usar rocas de diámetro máximo de 0.7 m; éstas se colocan cuando mucho en capas de 1.0 m de espesor y cada capa es compactada con rodillos lisos vibratorios de aproximadamente 10 toneladas, al mismo tiempo que se "chiflonea" con agua para retirar el material molido.

Este procedimiento ha llevado a tener asentamientos de la vigésima parte de los que se tenían antes (0.1 %). Además, las losas de concreto ahora son muy delgadas, lo que las hace más flexibles, y se cuelan en forma continua reduciéndose el número de juntas; de este modo se ha conseguido que no tengan filtraciones. Lo anterior coloca a las cortinas de enrocamiento en mejor posición que a otras cortinas en las que se requiere mover mayor cantidad de material.

Se ha dicho que las cortinas de tierra, materiales graduados y las de enrocamiento no pueden ser vertedoras, porque sus taludes serían erosionados; sin embargo, una excepción son las del tipo indio, las cuales están hechas de roca con el talud de aguas abajo sumamente tendido (14:1), por lo

que al verter, el agua lleva una velocidad muy baja y no tiene la capacidad de arrastrar las rocas del paramento. Estas estructuras son de baja altura y se construyen para presas - derivadoras.

2.1.8 Cortinas de materiales graduados

Estas cortinas están constituidas por capas de diferentes materiales. En un corte transversal, se tiene: al centro de la sección el corazón impermeable; luego de éste, --- aguas arriba y aguas abajo, hay capas de materiales semi-permeables y permeables, los cuales pueden ser arena, grava o roca; la calidad y cantidad de ellos, dependerá de su disponibilidad en la región.

Para la construcción de estas cortinas se van colocando los materiales en capas horizontales, compactándose cada una. Esto es sobre todo más importante en el material del corazón, para lograr la mayor impermeabilidad posible. La estabilidad de la cortina dependerá totalmente de la estabilidad de sus taludes.

2.2 Factores de selección

Como ya se señaló, para optar por una u otra cortina es necesario evaluar diversos factores, dándole a cada uno la debida importancia; hay algunos de ellos que pueden resultar más críticos si no se evalúan correctamente, de modo tal que pudieran ocasionar serios problemas una vez que la presa se encuentre funcionando. Según estadísticas elaboradas en Estados Unidos, España y La India (referencia 8) cuando en las presas se presentan problemas serios estos se originan, en primer lugar por las condiciones geológicas; en segundo por-

tener vertederos inadecuados y, en tercer lugar, debido a ~~una deficiente construcción~~. Un ejemplo del primer caso es la cortina de la presa de Malpase, Francia, en donde se presentó una subpresión muy elevada en la base de la cortina, por la existencia de un estrato impermeable aguas abajo.

Los factores físicos que intervienen en la selección del tipo de cortina son: la topografía, la geología, los materiales de construcción, la obra de excedencias, la obra de desvío, la obra de toma y los sismos (referencia 9).

2.2.1 Topografía

La topografía dicta, en primer lugar, el tipo de cortina; por ejemplo, un cañón angosto en forma de V, sugiere una cortina en arco-bóveda; en una corriente madura con una boquilla muy ancha, se puede pensar en una cortina de gravedad o de contrafuertes; en un caso intermedio, será conveniente una solución del tipo de arco-gravedad. Las cortinas de tierra enrocamiento y materiales graduados, en general se pueden construir en cualquier forma de boquilla.

La topografía señala la localización tanto de las estructuras accesorias como la de las obras provisionales (obra de desvío, excedencias, toma, etc.), afectando también indirectamente al tipo de cortina.

Inicialmente se puede hacer un levantamiento topográfico mediante la fotografía aérea, y con esto tener una idea del tipo más conveniente; sin embargo, para el diseño, es necesario tener bien trazadas las curvas de nivel.

2.2.2 Condiciones geológicas en la cimentación

El tratamiento de la cimentación depende de las características geológicas, es decir, del espesor de los estratos que deben soportar el peso de la cortina y los empujes del embalse, de su inclinación, permeabilidad y relación con los estratos subyacentes; así como de las fallas y fisuras.

Aquello que conviene conocer de la cimentación es: resistencia (esfuerzo de ruptura), características elásticas, coeficiente de permeabilidad y profundidades de excavación.

Las diferentes cimentaciones comunmente encontradas en la construcción de presas, según el Bureau of Reclamation -- (referencia 9), son: roca sólida, grava, limo o arena fina, arcilla y materiales heterogéneos.

Roca sólida. Una formación rocosa densa y resistente, proporciona una cimentación adecuada para cualquier tipo de cortina, siempre y cuando no existan fallas activas o contactos inestables que no se puedan tratar adecuadamente.

Grava. Si está bien compactada, es buena para construir cortinas de tierra, enrocamiento, materiales graduados, o aún de concreto de poca altura.

Limo o arena fina. Aquí se pueden desplantar los mismos tipos y con las mismas condiciones del caso anterior.

Arcilla. En estas cimentaciones se pueden producir grandes asentamientos si la arcilla no está consolidada y su contenido de agua es elevado. Por ello no es conveniente construir presas de concreto tipo gravedad.

~~Materiales heterogéneos.~~ En ocasiones se encuentran cimentaciones que tienen materiales distintos, en estos casos se debe conocer la proporción que hay de cada uno, así como su disposición, siendo necesario hacer pruebas especiales según el problema que se presente.

En general todas las cimentaciones, excepto las de roca sólida, presentan problemas tales como asentamientos, tubificación, permeabilidad elevada y erosión bajo el pie de la cortina aguas abajo. Cuando la cimentación es muy permeable, las cortinas de tierra proporcionan una solución adecuada, ya que se genera una mayor longitud de filtración y por tanto un menor gasto, lo cual no sucede con las presas de concreto. Las cortinas de materiales graduados, a pesar de tener una menor longitud que las de tierra, pueden presentar una buena solución cuando el problema no es muy grave.

2.2.3 Materiales de construcción

La influencia que tiene este factor en la elección del tipo de estructura, depende del costo de explotación y transporte de los materiales. Generalmente el tipo más económico de cortina es aquel para el cual se tienen bancos con la cantidad y la calidad necesarias, a una distancia razonablemente corta. Cuando se cuenta con todo tipo de materiales muy cercanos al lugar, este factor no será decisivo.

Los materiales más utilizados son:

- i) Suelos para terraplenes y corazones impermeables
- ii) Roca para terraplenes y protección de paramentos
- iii) Agregados para concreto, tales como arena, grava, etc.

Otro elemento que influye en la economía de los materiales es el acceso al sitio, ya que serán más o menos costosos según se tengan o no que hacer caminos para llevarlos al emplazamiento.

2.2.4 Obra de excedencias

Es frecuente que el tamaño y tipo de vertedor de demasías determine la cortina, la elección del vertedor a su vez depende de la distribución del gasto en el tiempo y de la avenida máxima.

En ocasiones es necesario colocar la obra de excedencias dentro del cuerpo de la cortina; esto se debe a las condiciones topográficas. En este caso lo más indicado sería, si los demás factores lo permiten, construir una cortina de concreto tipo gravedad, ya que éstas pueden ser vertedoras sin aumentar mucho el costo y no presentan mayores dificultades técnicas. Colocar el vertedor sobre una cortina de tierra o de materiales graduados, tiene serias desventajas, siendo las dos más importantes: se presentan asentamientos desiguales a lo largo del vertedor y es necesario cumplir un mayor número de especificaciones para evitar que el concreto se agriete produciéndose filtraciones, lo que provocaría la tubificación y finalmente la falla de la estructura.

Por el contrario cuando no es necesario colocar el vertedor en la cortina, es decir, cuando las condiciones topográficas permiten construirlo en alguna ladera, se puede optar, según este factor, por cualquier tipo de cortina.

2.2.5 Obra de desvío

En general el desvío de la corriente se hace en dos etapas primero, en época de estiaje, por un túnel y segundo, al llevar más agua, ésta se conduce por el mismo cauce. En el caso de cortinas de concreto la segunda etapa consiste en dejar pasar el agua por un hueco dejado al colar, o entre los machones, en el caso de cortinas de este tipo; sin importar que al llegar al gasto máximo este vierta sobre la estructura.

A diferencia de las anteriores la segunda etapa del desvío en las cortinas de tierra, enrocamiento o materiales graduados, se debe hacer por tajo. Esto hace que la obra de desvío sea más económica en el caso de cortinas de concreto; sin embargo, como el costo del desvío es bajo en relación con el costo total, este factor no suele ser decisivo en la selección del tipo de cortina, salvo en casos especiales en que el río es permanente y muy caudaloso.

2.2.6 Obra de toma

La obra de toma es la estructura necesaria para aprovechar el agua del embalse con el fin para el cuál fue creado. Al igual que el punto anterior, este factor influye en la selección, según sea más o menos económica su construcción y por lo general no es decisivo, ya que el costo es relativamente bajo; además, en la mayoría de los casos la obra de desvío se convierte posteriormente en la obra de toma.

2.2.7 Sismos

Si el lugar donde se va a construir la presa está en una

zona sísmica, se debe tomar en cuenta para la selección del tipo, además de introducirse posteriormente en los cálculos de la estabilidad de la estructura. Los tipos de cortinas - que mejor soportan los movimientos de la corteza son: las de tierra, las de materiales graduados y las de concreto tipo gravedad.

Como se ha dicho, es el costo de la obra el que da la pauta para elegir el tipo de cortina; por ello para la decisión final es necesario hacer los anteproyectos, tanto de las cortinas como de las obras accesorias, de varios tipos diferentes, tomando en cuenta todos los factores descritos; después se obtienen los volúmenes de las cortinas, se multiplican por su precio unitario, previamente calculado, y se obtiene el costo total de cada tipo, seleccionando así el más económico de ellos.

CAPITULO III

CRITERIO DE DISEÑO PARA UNA CORTINA DE CONCRETO TIPO --- GRAVEDAD

3.1 *Fuerzas que actúan en la cortina*

Para determinar si una cortina es estable o no, es necesario conocer primero las fuerzas que ayudan, así como las que perjudican a la estabilidad.

La principal fuerza estabilizadora, y la única que se -- considera en un anteproyecto, cuando la estructura no tiene curvatura, es el peso propio. En caso de que la cortina sea ligeramente convexa hacia aguas arriba, ésto es, en las del tipo de arco de gravedad, parte de la carga se tomará por -- acción de arco, siendo otras fuerzas que ayudan a la estabilidad las reacciones de las laderas. Este último caso queda fuera del alcance del presente trabajo.

Las fuerzas más importantes que soporta la cortina y que se deben tomar en cuenta en el análisis, a fin de no fracaa-

sar son el empuje del agua, tanto hidrostático como hidrodinámico, la subpresión, el empuje de los azolves, y las fuerzas sísmicas. Existen otras fuerzas, como tensiones o torsiones, ocasionadas por ondas sísmicas en sentidos opuestos, las cuales no se toman en cuenta en un anteproyecto, pero se ~~deben considerar en el proyecto definitivo.~~

Cuando existe hielo en el vaso, éste también puede producir un empuje elevado; siendo necesario tomarlo en cuenta, ya sea en el análisis, o para evitar su acción en caso de -- que sea posible. En los países nórdicos, este elemento puede cobrar gran importancia; sin embargo, esta fuerza no se incluye en el análisis que aquí se presenta, ya que en México las temperaturas no son lo suficientemente bajas como para congelar la capa superior de los embalses, por lo cual ca recería aquí de sentido práctico.

3.1.1 Empuje hidrostático

Esta es la fuerza más importante que soporta la cortina. La presión del agua es nula en la superficie y crece linealmente al aumentar la profundidad ($P = \gamma h$), de modo tal que la carga que actúa en el paramento mojado es triangular, y la resultante pasa a la tercera parte del tirante en el vaso, esto es, $E = 1/2 \gamma H^2$.

En caso de tratarse de una sección vertedora (ver figura 3.1), la presión en la parte superior será igual a la presión hidrostática producida por el tirante de agua sobre la cresta del vertedor, pasando la resultante del empuje por el centroide del trapecio. La presión del agua sobre el paramento de aguas abajo es muy pequeña por la gran velocidad -- del flujo; es por ello que no se toma en cuenta en el di-

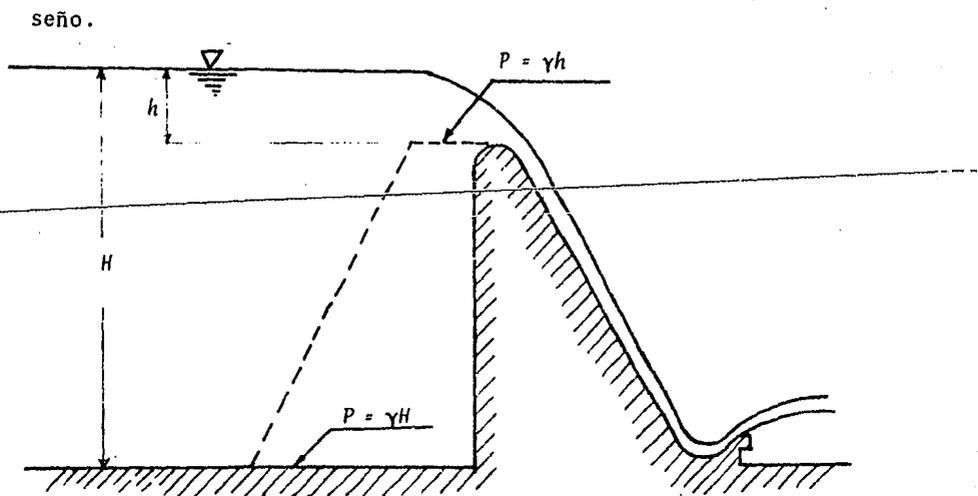


Figura 3.1. Presión hidrostática en una sección vertical

3.1.2 Empuje hidrodinámico

Este se debe al oleaje que se genera en la superficie y a la fuerza dinámica del agua introducida por efecto de un sismo.

El tamaño de las olas en el embalse depende de la longitud del "Fetch", es decir, de la distancia que existe de la cortina al punto más alejado del vaso, así como de la velocidad del viento en la región. Generalmente este fenómeno no se hace intervenir en el análisis de la estabilidad, y sólo se toma en cuenta para determinar la dimensión del bordo libre.

La solución clásica al problema de presión hidrodinámica se debe a Westergard, 1933 (referencia 15). Existen varios métodos dinámicos para el análisis de los empujes hidrodinámicos.

micos, por efecto sísmico, directamente aplicables en la actualidad (referencia 16), ellos son: procedimientos basados en estudios probabilísticos, análisis empleando el método ~~del elemento finito y con el uso de la analogía eléctrica~~ tridimensional. Cada uno de los cuales hacen diferentes hipótesis simplificadoras, algunas lo bastante realistas para dar soluciones muy apegadas a la realidad; sin embargo, para la aplicación de estos métodos es necesario conocer perfectamente las características del vaso, así como la forma y materiales que forman la cortina; es por esta razón que en un anteproyecto se utiliza el método pseudo-estático, con las fórmulas de Zanger (referencia 20).

Dicho procedimiento, según lo indica el USBR (referencia 9), consiste en aumentar la presión estática, con una distribución parabólica, dependiendo de la aceleración sísmica de diseño; dando para ello un coeficiente de distribución de presiones en función de la profundidad y la inclinación del talud aguas arriba de la cortina:

$$C = \frac{C_m}{2} \left[\frac{y}{h} \left(2 - \frac{y}{h} \right) + \sqrt{2 - \frac{y}{h}} \right]$$

siendo la presión en cualquier punto del paramento igual a:

$$P = C \alpha w h$$

en las expresiones anteriores:

- α es aceleración del sismo sobre aceleración de la gravedad
- w peso específico del agua en kg/m^3
- h profundidad total del vaso
- y distancia vertical de la superficie al punto en cuestión

C_m valor máximo de C para un talud constante dado

El valor de C_m depende del ángulo que forme el paramento mojado con la vertical; se puede obtener de la gráfica que el mismo USBR presenta para este propósito, la cual se ve en la figura 3.2.

El empuje derivado de esta distribución se obtiene integrando el área y vale:

$$E = 0.726 \alpha \gamma C_m h^2$$

El centroide del prisma de presiones se encuentra localizado a $4/10$ del tirante del vaso.

Con esto se puede calcular el aumento del momento actual debido a la presión dinámica del agua.

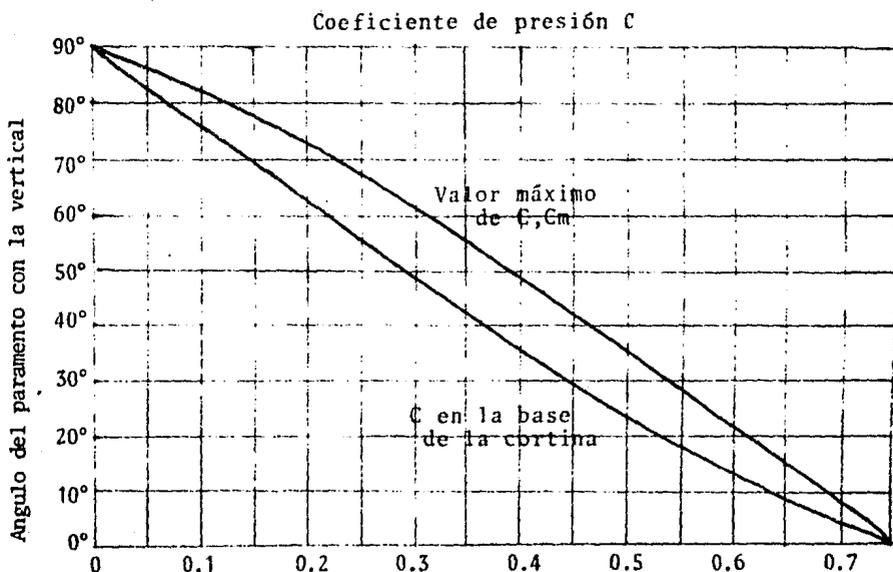


Figura 3.2. Coeficiente de presión hidrodinámica

3.1.3 Subpresión

El agua se introduce en los poros y huecos que existen en el material que constituye la cimentación, aún en los más impermeables como la roca sólida, de modo que la cortina experimenta una presión en la parte inferior del lado del paramento mojado igual a la carga hidrostática en el vaso, disminuyendo linealmente hasta llegar al paramento aguas abajo, en donde la presión es igual a la carga de agua de ese lado de la cortina. A esta presión se le denomina subpresión.

El agua también penetra en el concreto, por lo que existen fuerzas de subpresión en toda la altura de la cortina, es decir, en cada sección que se analice, se deberá incluir una fuerza ascendente igual a la resultante del prisma de subpresiones.

A fin de disminuir la subpresión tanto en la base como en todo lo alto de la cortina, se colocan galerías y pozos de drenaje. Las galerías son túneles con un diámetro aproximado de 2 metros, los cuales se hacen en el cuerpo de la cortina, a lo largo de ésta y muy cerca del paramento mojado. Los pozos de drenaje son conductos de diámetro diez veces menor; éstos son verticales, atraviesan las galerías, van en todo lo alto de la cortina y penetran algunos metros en la cimentación (ver figura 3.3a).

La fracción de la diferencia total de nivel de agua a uno y otro lado de la cortina (h) que se considera existe en la zona de los pozos de drenaje varía entre $h/3$ y $h/2$, teniendo para ese caso una distribución de subpresiones como se ve en la figura 3.3a.

Para fines de anteproyecto se puede considerar que los drenes están pegados al paramento, con lo que la distribución de presiones se convierte en un triángulo (figura 3.3b). Adoptando esta simplificación, la fuerza total de subpresión se puede calcular como sigue:

$$S = \frac{1}{2} C \gamma hT, \quad \text{donde} \quad 1/3 \leq C \leq 1/2$$

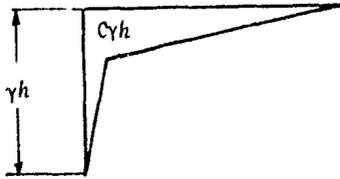
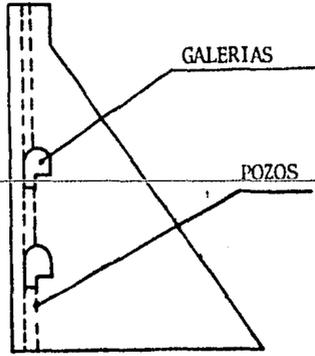
Existen otras medidas para disminuir la subpresión, como la colocación de una pantalla de concreto más impermeable en el talud de aguas arriba, o la disposición de zampeados del mismo lado de la cortina; sin embargo, se utilizan poco ya que se duda de su eficacia.

3.1.4 Empuje de azolves

Las corrientes superficiales transportan materiales de diferentes dimensiones, producto de la erosión de las cuencas; éstos pueden ser desde rocas de gran tamaño, gravas y arenas que son acarreadas por el fondo, hasta pequeñas partículas como los limos que viajan en suspensión. Al disminuir la velocidad de la corriente por reducción de la pendiente del cauce, baja también su capacidad de arrastre, quedándose en el camino primero las rocas, luego las gravas y después las arenas. Cuando el agua entra en un embalse, la velocidad disminuye todavía más, haciéndose prácticamente cero al llegar al final de la presa. Es por ésto que los únicos materiales que llegan hasta la cortina, depositándose ahí, son el limo y la arcilla.

Esos materiales se acumularán en el paramento de aguas arriba de la cortina, ejerciendo una carga mayor que la presión hidrostática. La componente horizontal del empuje del

a



DONDE: $\frac{1}{3} < c < \frac{1}{2}$

b

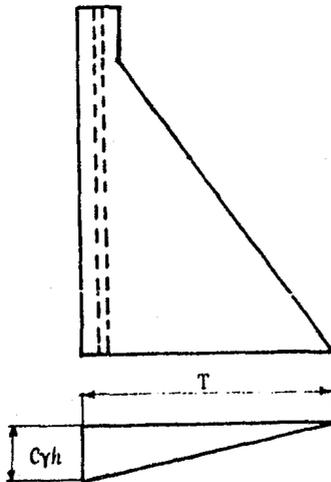


Figura 3.3. Subpresión en la base de la cortina

limo se puede calcular mediante la fórmula de Rankine:

$$V = \frac{\omega_{\Delta} h^2}{2} \left(\frac{1 - \text{sen } \phi}{1 + \text{sen } \phi} \right) - 2 C h \sqrt{\frac{1 - \text{sen } \phi}{1 + \text{sen } \phi}}$$

dónde:

ω_{Δ} peso específico del material sumergido
 h espesor del material
 ϕ ángulo de fricción interna
 C cohesión del material

Frecuentemente se desprecia la cohesión por ser baja en el limo, pero cuando se trata de arcilla, aquella puede ser muy importante. Por la dificultad de valuar tanto el ángulo de fricción interna como la cohesión, es frecuente considerar el empuje como el de un líquido, con peso específico diferente para el empuje horizontal y vertical. El USBR (referencia 9) propone 1400 kg/m^3 para el sentido horizontal y -- 2000 para el vertical.

Esta consideración se puede hacer cuando el volumen de azolves que se deposita no es muy importante, como en el caso de las presas de almacenamiento, pero en las presas derivadoras el análisis deberá ser muy detallado, ya que el volumen relativo de sedimentos que tienen es muy grande.

Existen medidas para evitar la acumulación de azolves, - como la construcción de canales de descarga o conductos especiales. Estas medidas se toman sobre todo en presas pequeñas o en presas derivadoras; en grandes presas se podría pensar en descargas de fondo, es decir, una gran tubería que pase por debajo de la cortina y mande el material sólido hacia aguas abajo; sin embargo, estas descargas se han construido en muy pocas presas por temor a que se atoren y no poderlas cerrar.

3.1.5 Fuerzas por efecto sísmico

Se mencionó ya, que los sismos le comunican una acelera-

ción al agua del vaso, produciéndose así una presión hidrodinámica. Además del empuje hidráulico, la aceleración genera fuerzas verticales y horizontales en la cortina, afectando - las dos su estabilidad, la primera disminuye el peso de la - cortina y la segunda aumenta la fuerza horizontal hacia ---- aguas abajo.

Las aceleraciones se determinan tomando en consideración la geología del emplazamiento, la cercanía de grandes fallas, los antecedentes de terremotos en la región y los registros sísmicos disponibles. Se debe además considerar un período de retorno según el tamaño e importancia de la presa.

En zonas que no están sujetas a fuertes temblores y se cuenta con poca información, es común considerar una aceleración horizontal del 10% de la gravedad y del 5% en dirección vertical.

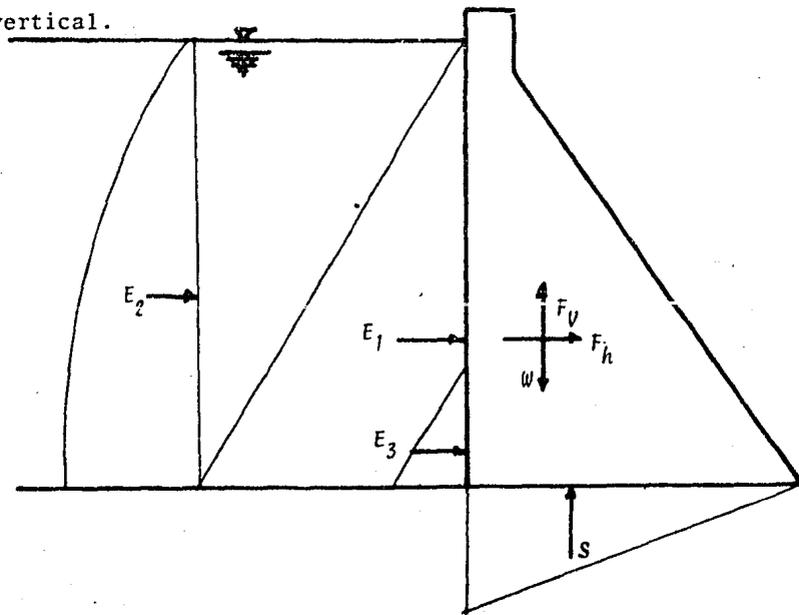


Figura 3.4. Diagrama de fuerzas que actúan sobre la cortina

3.2 Requisitos de estabilidad y resistencia

Para diseñar una cortina es necesario proponer una geometría de la sección máxima, analizarla bajo las diferentes condiciones de carga, revisando si cumple con el equilibrio y los esfuerzos son adecuados. Si satisface lo anterior se deberá buscar una sección menor, a fin de ver si la elegida es la óptima, y si por el contrario no lo cumple, deberá entonces aumentarse dicha sección. Finalmente, la forma obtenida se prolonga hacia las laderas de la boquilla, hasta hacer contacto con ellas, teniéndose así la cortina completa.

La forma más común de cortinas de concreto tipo gravedad, es aquella en la que ambos paramentos son rectos e inclinados y la parte superior es rectangular, como se ve en la figura 3.5.a. El elemento de la corona tiene el objeto de facilitar la construcción y permitir el paso sobre la cortina. El talud de aguas arriba es para que la resultante no se salga del tercio medio de la base al no tener agua el vaso, y si existe la posibilidad de sismo este talud deberá ser mayor. Cabe aclarar que la inclinación del paramento mojado, no es necesario que se inicie desde arriba, ya que el peso del elemento rectangular evita que existan tensiones en la parte superior; sin embargo, el cambio de pendiente no se deberá hacer muy abajo porque habría una concentración de esfuerzos en ese punto. Generalmente, para fines de anteproyecto, en el análisis de este tipo de secciones es suficiente dividir las en tres partes, como se aprecia en la figura 3.6.

Existen otras formas menos comunes, como aquella en que el paramento aguas abajo es parabólico y el de aguas arriba vertical, como se observa en la figura 3.5.b. Esta forma es

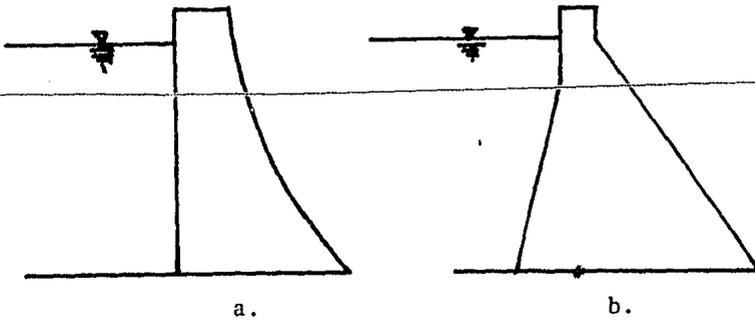


Figura 3.5 Diferentes formas de cortinas tipo gravedad

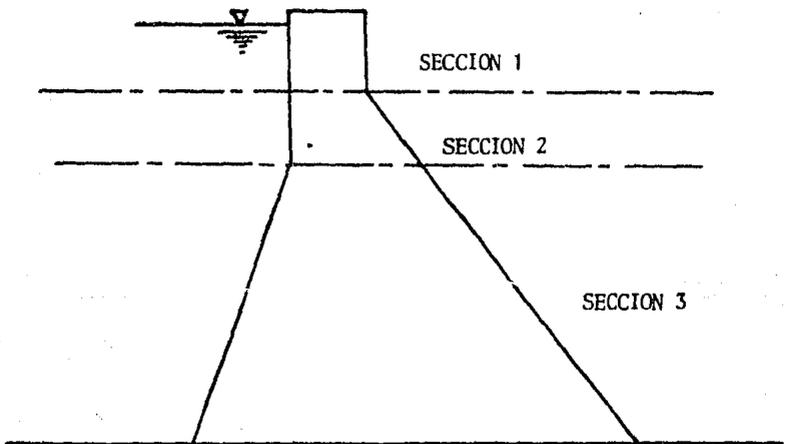


Figura 3.6 División de una sección para su análisis

la teórica ideal cuando se considera a la cortina como un -- cantiliver con carga triangular, y se consigue analizando el mayor número de secciones posibles.

En realidad, se puede proponer cualquier forma de cortina, siempre y cuando se satisfagan en toda su altura los requisitos de estabilidad y resistencia. Esto es, se deberá cumplir que la estructura no se deslice, que no se voltee y que los esfuerzos internos, tanto normales como cortantes, no sean excesivos.

3.2.1 Volteo y esfuerzos internos

El que la cortina no se voltee se garantiza, si la suma de momentos con respecto al pie, o el punto donde se cortan las líneas de la base y el paramento de aguas abajo, es negativo, es decir, es contrario al movimiento de las manecillas del reloj teniendo el paramento mojado a la izquierda. Por otro lado, los esfuerzos normales dentro del concreto siempre deberán ser de compresión; para garantizar ésto, la resultante de todas las fuerzas deberá pasar por el tercio medio de la base de la cortina. Al cumplirse lo anterior, se satisface también que el momento, con respecto al pie, sea negativo.

En conclusión, los esfuerzos normales serán positivos y la estructura no se volteará, si la línea de acción de la resultante de todas las fuerzas, cae dentro del tercio medio de la base de la cortina. La distancia del centro de la base al punto donde la resultante la corta se llama excentricidad, y se calcula como:

$$e = \frac{\Sigma M_c}{\Sigma V}$$

donde:

e excentricidad

ΣM_c suma de momentos con respecto al centro de la base

~~ΣV suma de fuerzas verticales~~

Se debe verificar, además, que los esfuerzos de compresión, sean menores al esfuerzo permisible, el cual generalmente es $1/3f'c$, y como se verá en el próximo capítulo, $f'c$ es alrededor de 300 kg/cm^2 .

Los esfuerzos normales en planos horizontales, o sea, en la base de cada zona en que se ha dividido a la sección, se calculan mediante la fórmula de la escuadrilla, esta es:

$$\sigma = \frac{\Sigma V}{A} \pm \frac{\Sigma M_o}{I_o} X$$

donde:

σ esfuerzo normal

ΣV suma de fuerzas verticales

A área transversal

ΣM_o suma de momentos con respecto al centro

X distancia del centro de la base al extremo

I_o momento de inercia del área transversal

Además se deben revisar los esfuerzos principales en los puntos extremos de la base de cada zona. Lo cuál se hace mediante la expresión

$$\delta_{max} = \sigma c s c^2 \beta$$

donde

σ esfuerzo normal

β ángulo formado entre el paramento y la horizontal

3.2.2 Deslizamiento y fricción cortante

Las características cohesivas del concreto o de la roca, que afectan mucho al factor de fricción de corte, deben determinarse por medio de pruebas especiales de laboratorio.

En las zonas superiores de la cortina, bastará con revisar que el esfuerzo cortante generado en un plano horizontal, multiplicado por un factor de seguridad, sea menor al esfuerzo cortante permisible, ésto es:

$$\frac{A C + \Sigma V \tan \phi}{\Delta h} > F.S.$$

donde

- A área de concreto en un plano horizontal
- C cohesión del concreto
- ΣV suma de fuerzas verticales
- ϕ ángulo de fricción interna del concreto
- Σh suma de fuerzas horizontales
- F.S. factor de seguridad

El factor de seguridad varía según las combinaciones de carga, siendo 3 para combinaciones ordinarias, 2 para extraordinarias y 1 para extremas.

3.3 Secuela de cálculo para el diseño de una cortina con -- ambos paramentos rectos e inclinados

3.3.1 Obtención de la altura total de la cortina

Para ello es necesario determinar el nivel correspondiente a la capacidad total, sumarle el bordo libre y restarle el nivel del lecho del río.

La capacidad total se divide en tres: volumen de azolves, capacidad de aprovechamiento y superalmacenamiento.

3.3.1.1 Volumen de azolves

Este espacio es el destinado a todo el material sólido que pueda llegar a la presa durante su vida útil, sin excederlo. Este se obtiene multiplicando la relación volumétrica entre agua y sedimentos del río por el gasto medio anual y por la vida útil. El nivel máximo de azolves se conoce como NAMIN o nivel de aguas mínimo, que es la elevación más baja de agua que puede tener la presa para su correcto funcionamiento.

3.3.1.2 Capacidad de aprovechamiento

Es el volumen necesario para satisfacer la demanda para la cual se diseña la presa. Se obtiene mediante un análisis de funcionamiento de vaso. La línea horizontal que limita este volumen se denomina nivel de aguas máximo ordinario o NAMO.

3.3.1.3 Superalmacenamiento

Es la capacidad de la presa para la regulación de las avenidas y se determina por un tránsito de avenidas. Está delimitado en su parte superior por el NAME o nivel de aguas máximo extraordinario.

Sumando los tres volúmenes se obtiene la capacidad total, y con ayuda de la curva elevaciones-capacidades se determina su elevación (ver figura 3.7). El bordo libre tiene el objeto de evitar que el agua brinque sobre la cortina, y es fun-

función de la marea y el oleaje producidos por el viento.

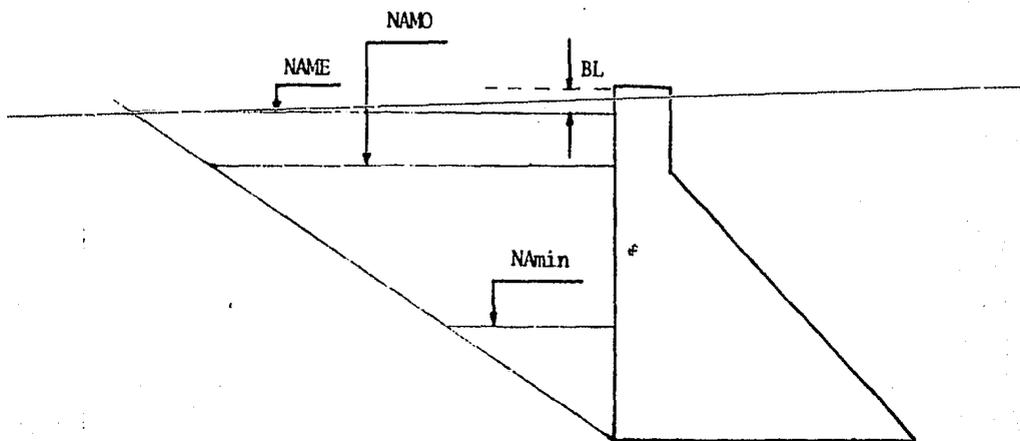


Figura 3.7. Niveles de agua en una presa

3.3.2 Proposición de la geometría

Es necesario elegir el ancho de la corona, las alturas de cada una de las partes en que se ha dividido a la sección y la inclinación de los taludes, tanto del paramento mojado como del paramento aguas abajo.

3.3.2.1 Ancho de la corona

Esta dimensión, T_0 , depende del tránsito de vehículos, o sea de la capacidad de proyecto de la carretera que pase por ahí. Cuando no hay restricción de esta naturaleza, T_0 puede tener un valor de $0.5 \sqrt{H}$ a \sqrt{H} (referencia 17), siendo H la altura total de la cortina.

3.3.2.2 Altura de cada una de las zonas de la sección

Dividiendo a la cortina como se ve en la figura 3.6, se demuestra (referencia 17) para este caso que la altura óptima, es decir, aquella para la cual la resultante de las fuerzas que obran en ese elemento pasa por el límite del tercio medio de la base, es respectivamente para h_1 y h_2 , $1.5 T_0$ y $3T_0$. La h_3 será igual a la altura total de la cortina.

3.3.2.3 Taludes de aguas arriba y aguas abajo

Se puede demostrar (referencia 20) que el talud mínimo de aguas abajo, para evitar los esfuerzos de tensión, vale:

$$K = \sqrt{\frac{\gamma_a}{\gamma_m - \gamma_a C}}$$

donde

K es el talud

γ_a peso específico del agua

γ_m peso específico del concreto

C coeficiente de reducción de la subpresión por drenes

Como este valor es considerando el muro triangular y con el paramento mojado vertical, entonces es necesario revisarlo; varía entre 0.5 y 0.9.

La inclinación del talud de aguas arriba se elige al revisar la tercera parte de la sección, dando el mínimo necesario para que la resultante quede dentro del tercio medio. Su valor oscila entre 0.05 y 0.15.

3.3.3 Revisión de la geometría

Es necesario verificar que cada una de las partes de la sección satisfaga los requisitos de estabilidad y de resistencia bajo distintas condiciones de carga.

3.3.3.1 Combinaciones de carga

Existen diferentes combinaciones que se pueden presentar, siendo las más comunes las siguientes: (referencia 20).

- a) Presa vacía
 - con sismo
 - sin sismo
- b) Condiciones normales
 - presa llena al NAMO, sin sismo
- c) Condiciones extraordinarias
 - presa llena al NAME (o al NAMO + sismo considerado con métodos pseudo-estáticos)
- d) Condiciones extremas
 - presa llena al NAMO y sismo de diseño, calculando sus efectos con métodos dinámicos de análisis

3.3.3.2 Revisión de la parte superior

Aquí es suficiente con checar que los esfuerzos no sean excesivos, ya que al tomar $h_1 = 1.5 T_0$ se obliga a que la resultante pase por el tercio medio de su base, para cargas comunes.

3.3.3.3 Revisión de la zona intermedia

Es necesario verificar los esfuerzos principales, el factor de seguridad por fricción cortante, y asegurarse que la fuerza total no se salga del tercio medio. Si algo no se cumple será necesario cambiar la inclinación del talud de aguas abajo.

3.3.3.4 Revisión de la parte inferior

En esta zona es necesario checar lo mismo que en la anterior, pero si no se satisfacen se deberá modificar entonces el valor del talud del paramento mojado.

Se deberán revisar los esfuerzos principales en los extremos de la base, en cada una de las zonas en que se ha dividido a la sección.

En algunas condiciones de carga muy poco frecuentes, como puede ser a presa vacía con sismo, se pueden permitir tensiones pequeñas. Estos esfuerzos para concretos de baja resistencia pueden ser, según se ve en la referencia 29, hasta del 10% de los permisibles a compresión.

Con la geometría definida, y conocida la forma de la boquilla es posible calcular el volumen de concreto que se requiere, lo cual es necesario para evaluar el costo total y poder determinar, comparando con los anteproyectos de otros tipos de cortinas, si esta opción es o no la más económica.

3.4 Ejemplo

Con el fin de comparar los resultados que se obtienen en

el análisis de la estabilidad de una cortina, bajo diferentes condiciones de carga, se presenta a continuación un ejemplo en el que se supone se ha determinado ya la altura de la cortina, así como los niveles siguientes:

Elevación del lecho del río	1,000 m
Elevación del NAMIN	1,010 m
Elevación del NAMO	1,089 m
Elevación del NAME	1,097 m
Elevación de la corona	1,100 m

Además, se sabe que las características del concreto son:

$$f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_c = 2.4 \text{ t/m}^3$$

$$\text{cohesión} = 30 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 45^\circ$$

Se deberá diseñar con una aceleración sísmica de 0.1 g - para el sentido horizontal y 0.05 g para el vertical.

Se analizarán las condiciones de carga que se consideran más desfavorables en un diseño real y algunas otras, estas son:

- a) Presa vacía
- b) Presa vacía con sismo horizontal hacia aguas arriba
- c) Presa llena al NAMO
- d) Presa llena al NAMO con sismo horizontal hacia --- aguas abajo
- e) Presa llena al NAMO con sismo vertical hacia aguas-arriba
- f) Presa llena al NAME

3.4.1 Proposición de la geometría

La cortina se diseñará como no vertedora, con ambos taludes rectos e inclinados, dividiéndose en tres partes para su análisis (ver fig. 3.8).

3.4.1.1 Ancho de la corona

Considerando que habrá tránsito sobre la corona una vez construida la cortina, se puede tomar un valor de $T_0 = \sqrt{H}$

$$T_0 = \sqrt{100}$$

$$T_0 = 10$$

3.4.1.2 Alturas de h_1 y h_2

Como se dijo anteriormente unos valores razonables para ellas son: $h_1 = 1.5 T_0$, $h_2 = 3 T_0$

$$h_1 = 1.5 (10)$$

$$h_1 = 15$$

$$h_2 = 3 (10)$$

$$h_2 = 30$$

3.4.1.3 Inclinación de los paramentos

- Talud de aguas abajo:

$$K = \sqrt{\frac{\gamma a}{\gamma_m - \gamma a C}}$$

Tomando $C = 0.33$, $\gamma_a = 1$ y $\gamma_m = 2.4$

$$K = \sqrt{\frac{1}{2.4 - 1 \times 0.33}}$$

$$K = 0.70$$

El talud de aguas arriba se propone de 0.08 de modo que $0.05 < K < 0.15$.

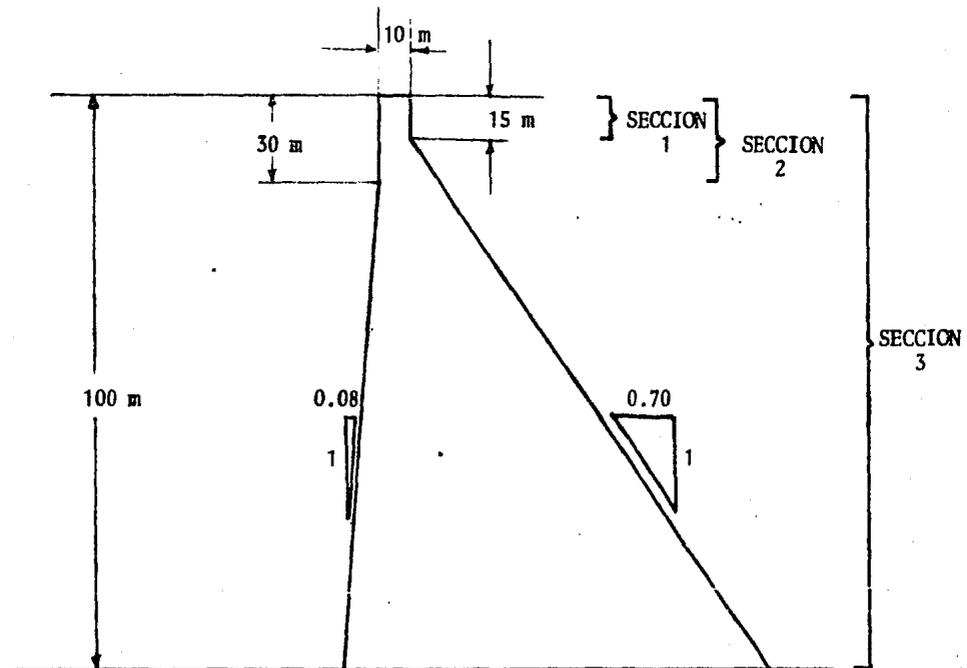


Figura 3.8. Proposición de la geometría para el ejemplo

3.4.2 Revisión de la geometría

Se desarrollará el análisis de la primera sección bajo -

tres condiciones de carga diferentes, y para las otras condiciones de carga, así como para las dos secciones restantes, se presentan sus resultados en tablas.

3.4.2.1 Sección 1 (ver fig 3.9).

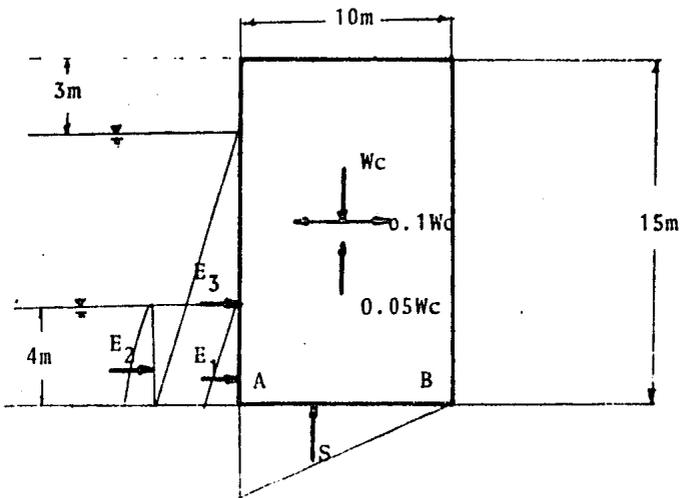


Figura 3.9. Análisis de la 1a. sección

Peso del concreto:

$$W_c = 2.4 \times 15 \times 10 \times 1.0$$

$$W_c = 360 \text{ ton}$$

a) Presa vacía

excentricidad:

$$e = \frac{\sum Mc}{\sum V}$$

$$\Sigma Mc = 0$$

$$\Sigma V = Wc = 360 \text{ ton}$$

$$e = 0$$

esfuerzos normales en A y B:

$$\sigma_{A,B} = \frac{Wc}{A}$$

$$A = 10 \times 1.0$$

$$A = 10 \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{360}{10}$$

$$\sigma = 36 \text{ kg/cm}^2$$

esfuerzos principales en A y B:

Como ambos paramentos son verticales, los ángulos - con la horizontal son de 90° , la $\text{CSC}^2 \beta = 1$ y los - esfuerzos máximos principales valen:

$$\delta_{\text{máx}}^A = \sigma_A$$

$$\delta_{\text{máx}}^B = \sigma_B$$

fricción cortante: los esfuerzos cortantes son nullos, ya que la suma de fuerzas verticales valen cero.

d) Presa llena al NAMO con sismo horizontal hacia ----

aguas abajo.

$$E_1 = \frac{\gamma h^2}{2} = \frac{1 \text{ ton/m}^3 \times (4\text{m})^2}{2}$$

$$E_1 = 8 \text{ ton}$$

$$E_2 = 0.726 \alpha \gamma C_n h^2$$

de la gráfica 3.1 para $\phi = 0^\circ \Rightarrow C_m = 0.73$

$$E_2 = 0.726 \times 0.1 \times 1 \text{ ton/m}^3 \times 0.73 \times (4\text{m})^2$$

$$E_2 = 0.85 \text{ ton}$$

$$d_1 = h/3 = 4 \text{ m}/3$$

$$d_1 = 1.33 \text{ m}$$

$$d_2 = 0.4 h = 0.4 (4\text{m})$$

$$d_2 = 1.6 \text{ m}$$

$$S = \frac{1/3 \gamma h T_0}{2}$$

$$S = \frac{1/3 \times 1 \text{ ton/m}^3 \times 4 \text{ m} \times 10 \text{ m}}{2}$$

$$S = 6.67 \text{ ton}$$

$$d_S = 1/6 T_0$$

$$= 1/6 \times 10 \text{ m}$$

$$d_S = 1.67 \text{ m}$$

Excentricidad:

$$e = \frac{\Sigma Mc}{\Sigma V}$$

$$\begin{aligned}\Sigma Mc &= E_1 \times d_1 + E_2 \times d_2 + S \times d_S + 0.1 Wc \times h_1/2 \\ &= 8 \text{ ton} \times 1.33 \text{ m} + 0.85 \text{ ton} \times 1.6 \text{ m} + 6.67 \text{ ton} \times \\ &\quad \times 1.67 \text{ m} + 0.1 \times 360 \text{ ton} \times 1/2 \times 15 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\Sigma Mc = 293.14 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$\Sigma V = Wc - S = 360 \text{ ton} - 6.67 \text{ ton} = 353.33 \text{ ton}$$

$$e = \frac{293.14}{353.3} = 0.83 \text{ m} < \frac{T_0}{6} = 1.67 \Rightarrow \text{cae en el tercio medio}$$

Esfuerzos normales en A y B:

$$\sigma = \frac{\Sigma V}{A} \pm \frac{\Sigma Mc X}{I}$$

$$I = \frac{bT_0^3}{12} = \frac{1 \text{ m} \times (10 \text{ m})^3}{12}$$

$$I = 83.33 \text{ m}^4$$

$$X = T_1/2 = 10 \text{ m}/2 = 5 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{353.3 \text{ ton}}{10 \text{ m}^2} \pm \frac{293.14 \times 5 \text{ m}}{83.33 \text{ m}^4}$$

$$\sigma_A = 17.74 \text{ ton/m}^2, \quad \sigma_B = 52.92 \text{ ton/m}^2$$

Esfuerzos principales en A y B:

$$\beta_A = \beta_B = 90^\circ$$

$$\text{CSC}^2 \beta = 1$$

$$\delta_{\max_A} = \sigma_A$$

$$\delta_{\max_B} = \sigma_B$$

Fricción cortante:

$$\frac{AC + \Sigma V \tan \phi}{\Sigma h} > F.S. = 3$$

$$C = 30 \text{ kg/cm}^2 = 300 \text{ t/m}^2$$

$$\tan \phi = 1$$

$$\begin{aligned} \Sigma h &= 0.1 W_c + E_1 + E_2 = 0.1 \times 360 + 8 + 0.85 \\ &= 44.85 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\frac{10 \text{ m}^2 \times 300 \text{ ton/m}^2 + 353.3 \text{ ton} \times 1.0}{44.85 \text{ ton}} = 75 > 3$$

f) Presa llena al NAME

$$E_3 = \frac{\gamma h^2}{2} = \frac{1 \text{ ton/m}^3 \times (12 \text{ m})^2}{2}$$

$$= 72 \text{ ton}$$

$$d_3 = \frac{h}{3} = \frac{12 \text{ m}}{3} = 4 \text{ m}$$

$$S = \frac{1/3 \gamma h T_o}{2} = \frac{1/3 \times 1 \text{ ton/m}^3 \times 12 \text{ m} \times 10 \text{ m}}{2}$$

$$S = 20 \text{ ton}$$

$$d_S = 1.67 \text{ m}$$

Excentricidad:

$$e = \frac{\Sigma Mc}{\Sigma V}$$

$$\begin{aligned} \Sigma Mc &= E_3 \times d_3 + S \times d_S \\ &= 72 \text{ ton} \times 4 \text{ m} + 20 \text{ ton} \times 1.67 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\Sigma Mc = 321.4 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

$$\Sigma V = W_c - S = 360 \text{ ton} - 20 \text{ ton}$$

$$\Sigma V = 340 \text{ ton}$$

$$e = \frac{321.4 \text{ ton}\cdot\text{m}}{340 \text{ ton}} = 0.96 \text{ m} < 1.67 \Rightarrow \text{pasa por el tercio medio}$$

Esfuerzos normales en A y B:

$$\sigma = \frac{\Sigma V}{A} \pm \frac{\Sigma Mc \times X}{I}$$

$$\sigma = \frac{340 \text{ ton}}{10 \text{ m}^2} \pm \frac{321.4 \times 5}{33.33 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_A = 14.71 \text{ ton/m}^2 = 1.47 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_B = 53.29 \text{ ton/m}^2 = 5.33 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzos principales en A y B:

$$\beta_A = \beta_B = 90^\circ$$

$$\text{CSC}^2 \beta = 1$$

$$\delta_{\max A} = \sigma_A$$

$$\delta_{\max B} = \sigma_B$$

Fricción cortante:

$$\frac{AC + \Sigma V \text{ ton } \phi}{\Sigma h} > F.S. = 3$$

$$\Sigma h = \frac{E}{3} = 72 \text{ ton}$$

$$\frac{10 \text{ m}^2 \times 300 \text{ ton/m}^2 + 340 \text{ ton} \times 1.0}{72 \text{ ton}} = 26 > 3$$

Resumen

Condición de Carga	Excentricidad (m)	Esfuerzos principales		Factor de seguridad por fricción-cortante
		A (kg/cm ²)	B (kg/cm ²)	
a	0	3.6	3.6	-
b	-.75	5.22	1.98	93
c	.06	3.40	3.66	419
d	.82	1.77	5.29	74
e	.06	3.22	3.48	416
f	.94	1.47	5.32	46

3.4.2.2 Sección 2 (ver fig 3.10)

Condición de Carga	Excentricidad (m)	Esfuerzos principales		Factor de seguridad por fricción-cortante
		A (kg/cm ²)	B (kg/cm ²)	
a	-3.48	8.95	-.12	-
b	-4.77	10.63	-2.62	77
c	-2.13	6.68	2.30	38
d	-.574	4.80	5.10	24
e	-2.05	6.24	2.31	38
f	.52	3.37	6.85	19

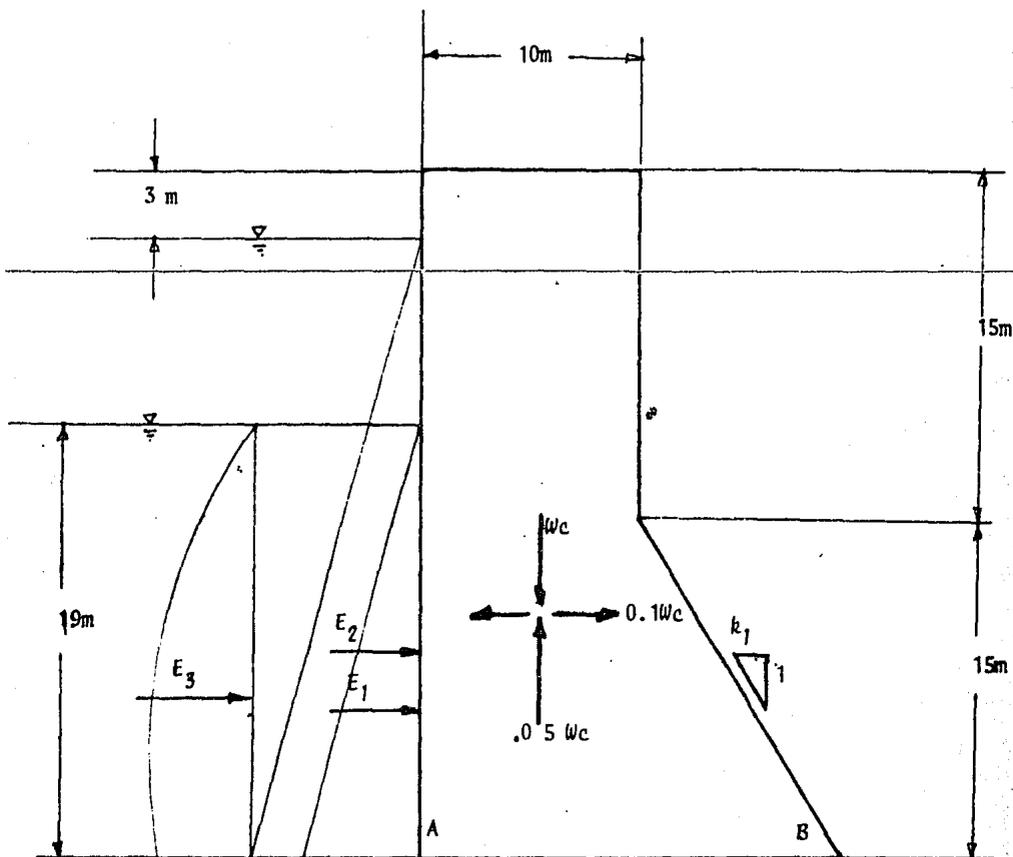


Figura 3.10. Análisis de la 2a sección

Como se puede observar se presentan esfuerzos de tensión en el punto B; para evitar estos esfuerzos se debe disminuir el talud del paramento aguas abajo. Así, se propone un talud de 0.65:1 y se revisa bajo las diferentes condiciones de carga.

Condición de Carga	Excentricidad (m)	Esfuerzos principales		Factor de seguridad por fricción-cortante
		A (kg/cm ²)	B (kg/cm ²)	
a	- 3.25	9.02	.06	-
b	- 4.56	10.81	-2.49	76
c	- 1.88	6.63	2.56	37
d	- .31	4.61	5.43	23
e	- 1.80	6.17	2.56	37
f	.81	3.07	7.24	18

Se presentan aún tensiones, pero son en una condición de carga en la cuál la presa no se encuentra aún en servicio, - además son esfuerzos pequeños.

3.4.2.3 Sección 3 (ver fig 3.11)

Condición de Carga	Excentricidad (m)	Esfuerzos principales		Factor de seguridad por fricción-cortante
		A (kg/cm ²)	B (kg/cm ²)	
a	- 9.69	23.25	3.06	-
b	-13.1	26.95	-1.87	34
c	4.82	6.88	21.94	7
d	10.44	1.34	29.36	5
e	5.74	5.63	21.94	7
f	9.30	2.45	27.67	6

Como todos los esfuerzos son positivos para las condiciones de servicio, y el factor de seguridad es superior a 3 -- por un buen margen, se puede disminuir el talud del paramento mojado, tratando de optimizar la sección, y verificarla - nuevamente. De este modo se propone un nuevo talud de --- 0.05:1

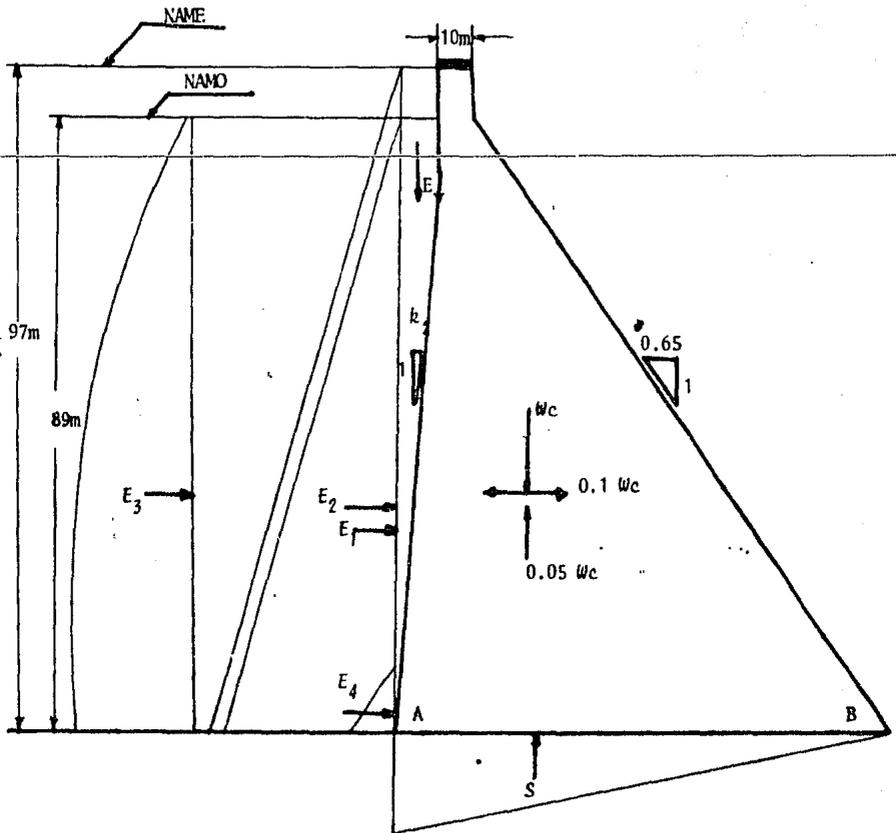


Figura 3.11. Análisis de la 3a. sección

Condición de Carga	Excentricidad (m)	Esfuerzos principales		Factor de seguridad por fricción-cortante
		A (kg/cm ²)	B (kg/cm ²)	
a	-10.24	23.01	1.81	-
b	-13.68	26.65	- 3.35	34
c	5.00	6.15	22.30	7
d	10.76	0.65	30.10	5
e	5.95	4.95	22.25	6
f	9.72	1.63	28.45	5

Se podría pensar en disminuirlo todavía más, pero no podría ser mucho, ya que como se puede observar el esfuerzo en A, para la condición de carga d, está cerca de cero. Se puede ver que el esfuerzo de tensión para la condición de carga b es menor del 5%

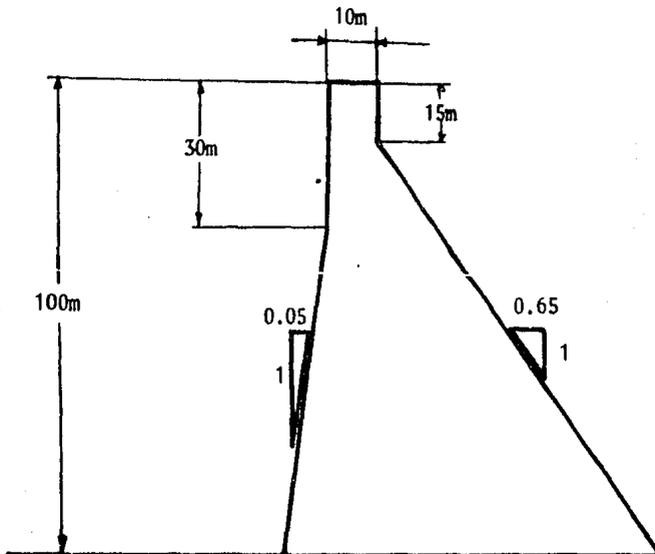


Figura 3.12. Geometría final del ejemplo

CAPITULO IV

CARACTERISTICAS DEL CONCRETO MASIVO PARA CORTINAS

El concreto masivo se define como "cualquier volumen de concreto con dimensiones lo suficientemente grandes para ameritar que se tome en cuenta la generación de calor por hidratación del cemento y el concurrente cambio de volumen a fin de evitar o reducir al máximo el agrietamiento".

Al entrar en contacto el agua con el cemento se produce una reacción química exotérmica; si este calor no se disipa rápidamente el aumento en la temperatura puede ser tal, que se produzca un gran cambio de volumen en el concreto, y al enfriarse, una vez que ha fraguado, se generarán esfuerzos de tensión lo suficientemente grandes para que se fracture el concreto. Para evitar que la temperatura aumente demasiado, en un colado de concreto en masa, se emplean diferentes medios, como son: el uso de cemento de bajo calor, la adición de aditivos retardantes a la mezcla, el enfriamiento previo de los agregados, o la utilización de hielo en la mezcla, en lugar de agua.

4.1 Elementos constitutivos del concreto

~~Puede considerarse que el concreto está formado por dos componentes: los agregados y la pasta. Los agregados se clasifican generalmente en finos y gruesos. La pasta está constituida por cemento, agua, y en ocasiones aditivos o puzolanas.~~

4.1.1 El cemento

El uso de materiales cementantes se remonta a los antiguos egipcios que empleaban el yeso calcinado, posteriormente los griegos y romanos utilizan la cal con agua y más tarde los romanos mezclan la cal con cenizas volcánicas. Actualmente el cemento se fabrica en casi todos los países y es el elemento esencial del material de construcción que más se utiliza, es decir, el concreto.

Para la elaboración de concreto masivo se pueden distinguir dos grupos de cementantes, los cementos Portland y los cementos combinados.

4.1.1.1 Cementos Portland

El cemento Portland fué elaborado por primera vez en 1824 por un inglés, quien lo patentó con ese nombre por la semejanza de color entre el cemento fraguado y la caliza natural extraída de una cantera en la isla de Portland, Inglaterra.

Actualmente se le denomina cemento Portland a aquel producto de una mezcla cuidadosa de materiales calcáreos, como caliza, alúmina, sílice y óxido de hierro. El proceso de

fabricación consiste en moler finamente la materia prima, -- mezclarla en ciertas proporciones y calentarla en un horno -- de gran tamaño, donde el material se sintetiza y se funde -- parcialmente, formando bolas conocidas como clinker. Dicho -- producto se tritura hasta obtener un polvo fino, al que fi-- nalmente se le adiciona un poco de yeso.

En presencia de agua los silicatos y aluminatos del ce-- mento forman productos de hidratación, generándose una masa-- firme y dura. Sin embargo, como cada compuesto presenta di-- ferentes características al reaccionar con el agua, depen-- diendo de la proporción de ellos en el cemento, éste se com-- portará de una forma determinada. Además, tal comportamien-- to se ve también afectado por el tamaño de las partículas, - ya que se completa primero la hidratación en las más peque-- ñas.

Existen en el mercado varios tipos de cementos Portland, cada uno con características distintas. Así, dependiendo de los requisitos, se podrá elegir el más adecuado.

Básicamente se pueden distinguir los siguientes tipos:

Tipo I	Portland normal
Tipo II	Portland modificado
Tipo III	Portland de fraguado rápido
Tipo IV	Portland de bajo calor
Tipo V	Portland resistente a los sulfatos

El tipo I es llamado cemento normal o regular, y se uti-- liza en todo tipo de construcciones en las que no se espera-- ataque de los sulfatos ni elevaciones perjudiciales en la -- temperatura. Es posible emplearlo para producir concreto ma

~~sivo, siempre y cuando se tomen medidas para evitar el aumento de la temperatura.~~

El cemento modificado proporciona cierta protección contra los sulfatos y genera más lentamente el calor de hidratación que el normal, por lo que es posible usarlo para concreto en masa.

El cemento III por su proporción de compuestos desarrolla su resistencia más aprisa, y ésto trae consigo una rápida liberación de calor; por ello no deberá usarse para producir concreto masivo.

Para dosificar concreto masivo el más adecuado debiera ser el cemento de bajo calor o tipo IV, el cual fué elaborado por primera vez en Estados Unidos para la construcción de grandes presas. Dicho cemento tiene una reacción lenta con el agua, lo cual se debe al bajo contenido de aluminato y silicato tricalcicos, que son los compuestos que se hidratan más rápido; esto permite que en grandes volúmenes de concreto el calor se disipe al mismo ritmo que se genera. Lo anterior trae como consecuencia que la resistencia a temprana edad sea menor que en el tipo I; sin embargo, la resistencia última de ambas es semejante.

Por último, el cemento tipo V además de soportar satisfactoriamente la acción de los sulfatos, produce lentamente el calor, por lo que se podría emplear para el concreto en masa, pero su uso se limita a estructuras expuestas a los sulfatos, ya que su fabricación es muy costosa.

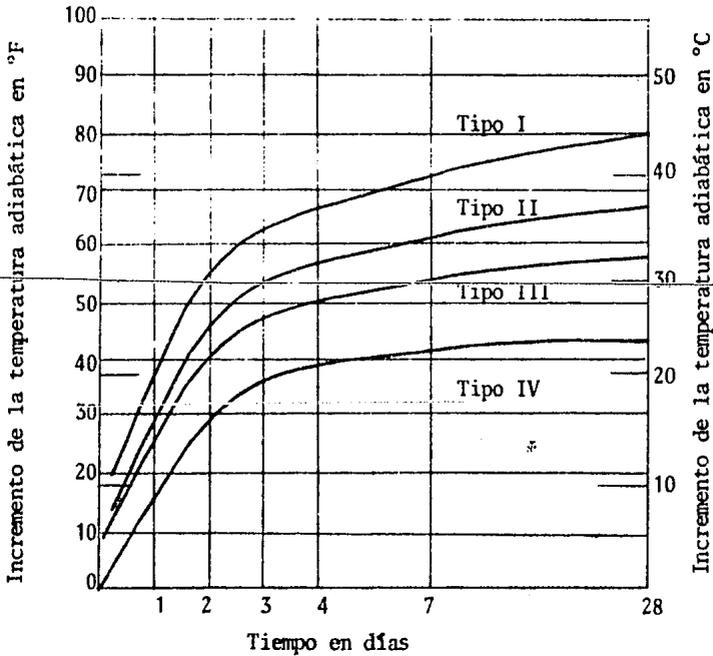


Figura 4.1 Incremento de la temperatura con el tiempo de diferentes tipos de cemento (referencia 21)

4.1.1.2 Cementantes combinados

Se obtienen mezclando cemento Portland con algún otro elemento con propiedades cementantes, como pueden ser los cementos naturales, la escoria de alto horno o las puzolanas. Los dos últimos son los más usados para concreto masivo, y la ASTM los distingue como tipo S y tipo P.

El tipo S se hace moliendo el clinker con escoria granular de alto horno. Este cemento desarrolla lentamente su resistencia, pero a edad avanzada puede tener mayor resistencia que el tipo I. Por ello se puede utilizar en concreto masivo; además, el costo de fabricación es bajo.

El cemento tipo P es aquel que se obtiene al mezclar el-

cemento Portland con cualquier material puzolanico, ya sea inmediatamente después de fabricado el cemento o en la planta de concreto.

Estos cementos adquieren su resistencia con mucha lentitud, pero su resistencia última es aproximadamente la misma que la del Portland normal solo. Esto trae consigo un bajo calor de hidratación. Las características y ventajas de las puzolanas se describen más adelante.

4.1.2 Los agregados

Los agregados ocupan alrededor del 75% del volumen del concreto, por lo que sus propiedades afectan en gran medida el comportamiento estructural del mismo. Estos materiales son más baratos que el cemento; sin embargo, no es sólo por economía que se utilizan ya que dan mayor estabilidad volumétrica y durabilidad al concreto. Las partículas deben satisfacer ciertos requisitos y estar limpias de substancias químicas, recubrimientos de arcilla, o de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y adherencia de la pasta.

4.1.2.1 Clasificación

Existen agregados naturales y artificiales. Los primeros pueden ser reducidos a su tamaño por la naturaleza o por medio de trituración, los segundos se fabrican con productos industriales. En este trabajo se hablará exclusivamente de los agregados naturales.

Los agregados se clasifican por su tamaño y por el grupo de roca al que pertenecen. Por su dimensión se dividen prin

principalmente en finos o arena, cuyo tamaño no es mayor de 5 mm, y en agregados gruesos, que comprende material mayor de 5 mm (referencia 21). Sin embargo, en muchas ocasiones se distin ~~guen~~ guen más tamaños para lograr una mejor graduación.

Grupos de rocas de los agregados, según la ASTM (referencia 21).

Grupo basáltico
" granítico
" calizo
" pedernalino
" arenisco
" porfíritico
" gábrico
" hornfésico
" cuarzoso
" esquisto

4.1.2.2 Propiedades de los agregados

4.1.2.2.a Forma y textura

Es conveniente procurar que las partículas no sean muy angulosas, ya que entre más lo sean habrá más huecos entre ellas; tampoco resulta adecuado que sean alargadas, debido a que reducen la trabajabilidad, aunque puede lograrse una mayor adherencia. Asimismo, una textura más aspera dará por resultado una mayor fuerza de adherencia con la mezcla.

4.1.2.2.b Resistencia

Esta propiedad es muy importante, ya que la resistencia-

a la compresión del concreto no puede exceder mucho a la de los agregados que contiene. Por otro lado, al aumentar el módulo de elasticidad del agregado crece el del concreto, -- afectando la fluencia y contracción del mismo.

~~4.1.2.2.c Densidad~~

La densidad absoluta se refiere al volumen de material sólido, excluyendo todos los poros; por ello para determinar la es necesario pulverizar las partículas, por lo que resulta impráctica. La densidad aparente es aquella que incluye los poros impermeables, pero no los capilares. Por último la que realmente se usa es la densidad bruta aparente, la -- cual se determina en condiciones de material saturado y superficialmente seco, ya que el agua de los poros no reacciona con el cemento y se debe considerar parte del agregado.

En el caso de las cortinas de gravedad es de gran importancia que los agregados tengan una densidad mínima, ya que el concreto debe tener un peso adecuado para dar estabilidad a la estructura.

4.1.2.2.d Absorción y contenido de humedad

La absorción es la capacidad del material para captar el agua que lo rodea, y depende del tamaño y número de los poros, de la dimensión de las partículas y de la cantidad de agua que contengan. Esta característica se debe conocer --- bien, ya que, el volumen de agua absorbido deberá ser adicionado a la mezcla, además del agua necesaria para la reacción con el cemento.

La humedad del material es la cantidad de agua que tiene

en el exterior, la cual se suma al agua de la pasta, variando su proporción.

Según lo anterior el estado óptimo del material es saturado y superficialmente seco, que es cuando no puede absorber agua y no tiene humedad.

4.1.2.2.e Consistencia

Es la capacidad del agregado para resistir los cambios excesivos en volumen como resultado de la variación en las condiciones físicas, entre ellas la congelación y el deshielo, o los estados húmedo y seco alternados.

4.1.2.3 Análisis granulométrico

Se da este nombre al método de separación por tamaños de las partículas, entre límites establecidos. Para saber como es la granulometría de un material se usan mallas de alambre con agujeros de distintas dimensiones. La secuencia completa de tamices de muestreo se basa en la relación de $\sqrt{2}$ para las aberturas de dos mallas consecutivas, pero para agregados de concreto basta con que la relación sea de 2, siendo los siguientes tamices los que generalmente se usan: 3", -- 1 1/2", 3/4", 3/8", 3/16" y los números 7, 14, 25, 52, 100 y 200.

Para ver gráficamente cual es el porcentaje de partículas que hay de cada tamaño en una muestra, se construyen curvas granulométricas. Es conveniente que el agregado tenga de todos los tamaños, y en una proporción tal, que exista la menor cantidad de huecos.

4.1.3 Los aditivos

Se considera aditivo a toda substancia que no es cemento, agua o agregado y que se añade al concreto. Cuando no hay un tipo de cemento con las características requeridas, ~~o no se dispone de él, es posible adecuar el que se tiene mediante el uso de algún aditivo.~~

4.1.3.1 Inclusores de aire

El concreto con inclusor de aire contiene diminutas burbujas de aire que se distribuyen uniformemente en toda la pasta de cemento. Esto se usa para mejorar la durabilidad del concreto expuesto a la humedad durante ciclos de congelación y fusión; además, aumenta la trabajabilidad de la mezcla.

4.1.3.2 Reductores de agua

Se trata de substancias que se concentran en la superficie de contacto entre dos caras, alterando las fuerzas físico-químicas que actúan en ellas; de este modo aumenta el revenimiento para la misma relación de agua. Con este aditivo la resistencia del concreto aumenta, ya que se logra una mejor hidratación.

4.1.3.3 Retardantes

Este aditivo se usa para retrasar el fraguado del concreto y permitir una mejor colocación en sitios difíciles. Con estas substancias se ve reducida la resistencia a corta edad, pero después es un poco mayor que cuando no se usa aditivo.

4.1.3.4 Acelerantes

El más común es el cloruro de calcio, el cual acelera el desarrollo de la resistencia, pero la resistencia final no se altera. Estos no se usan para concreto masivo.

4.1.4 Las puzolanas

Al material silíceo o sílico-aluminoso, que tiene poco o ningún valor cementante, pero en forma muy dividida y en presencia de agua reacciona químicamente con hidróxido de calcio, a temperaturas normales para formar un compuesto con propiedades cementantes, se le conoce como puzolana.

Existen diferentes materiales puzolánicos, entre los que se encuentran: la ceniza volcánica, la pumicita, la tierra-diatomácea y la ceniza volante.

4.1.4.1 Ceniza volante

Esta puzolana es la ceniza precipitada electrostáticamente de los humos escapados de las plantas carboeléctricas. Para poder usarse en el concreto debe ser de buena y consistente calidad, lo cual depende del tipo de carbón, del grado de finura y del método de recolección.

El uso de cenizas volantes reduce la cantidad de cemento en la mezcla, reemplazando parte de éste de un 15% a un 50%, lo que permite grandes ahorros. Reducen además, la cantidad de agua necesaria, que será menor entre mayor sea la finura de la ceniza.

Se ha visto que el desarrollo de resistencia es más len-

to con cenizas, pero la resistencia final en ocasiones es mayor que usando sólo cemento, sobretodo usando ciertos aditivos. Lo anterior trae como ventaja ~~una generación baja de calor a edad temprana --entre 15% y 50%--~~ del generado por un peso equivalente de cemento.

4.2 Concreto masivo convencional

Este concreto es el que se ha usado tradicionalmente para la construcción de cortinas y muchas otras estructuras de concreto masivo.

Obtener un concreto con las propiedades necesarias es --función de los materiales que se empleen y de la proporción-- que de cada uno se introduzca a la mezcla. Para saber que --cualidades deben tener y que proporción conviene, es importante basarse en pruebas de laboratorio hechas a muestras --con distintas características, así como en la opinión de los expertos. Por ello para lograr fácilmente un concreto de --buena calidad, algunas asociaciones dan especificaciones de los materiales, su dosificación, el mezclado, la colocación, el curado y las pruebas.

Las propiedades básicas para un concreto masivo son:

Esfuerzo máximo de compresión

Esfuerzo máximo cortante

Peso específico

Durabilidad

Permeabilidad

Trabajabilidad

Cambio de volumen

Módulo de elasticidad

Muchas de estas propiedades, como los esfuerzos máximos, la durabilidad y la permeabilidad están regidas por la relación agua-cemento; entre menos sea ésta, mejores serán aquellas, para una misma cantidad de cemento. ~~Por esto se puede~~ ver que la cantidad de agua en el concreto es muy importante, por lo que se debe controlar cuidadosamente. Una medida indirecta de la cantidad de agua es la consistencia y ésta se mide con la prueba del revenimiento, la cual se puede hacer en el campo. Para concreto masivo el revenimiento generalmente varía, según los requisitos, entre 5 y 10 cm.

4.2.1 Esfuerzos máximos

Para determinar la resistencia a la compresión se hacen cilindros de prueba con diferentes relaciones agua-cemento y se les aplica una carga creciente hasta producir la falla.

Otras características que afectan la resistencia son el tipo de cemento (ver figura 4.2), la cantidad y tipo de puzo lana, la textura, forma, composición y resistencia de los agregados, así como su granulometría.

Generalmente no se requieren esfuerzos altos en las estructuras de concreto masivo, excepto en las presas de arco.

4.2.2 Peso específico

Para el caso de las cortinas de gravedad esta característica es muy importante, ya que la estabilidad de la estructura se debe a su peso.

Está regida principalmente por el tipo de agregado, pero también depende de la cantidad de cemento, agua y puzolanas-

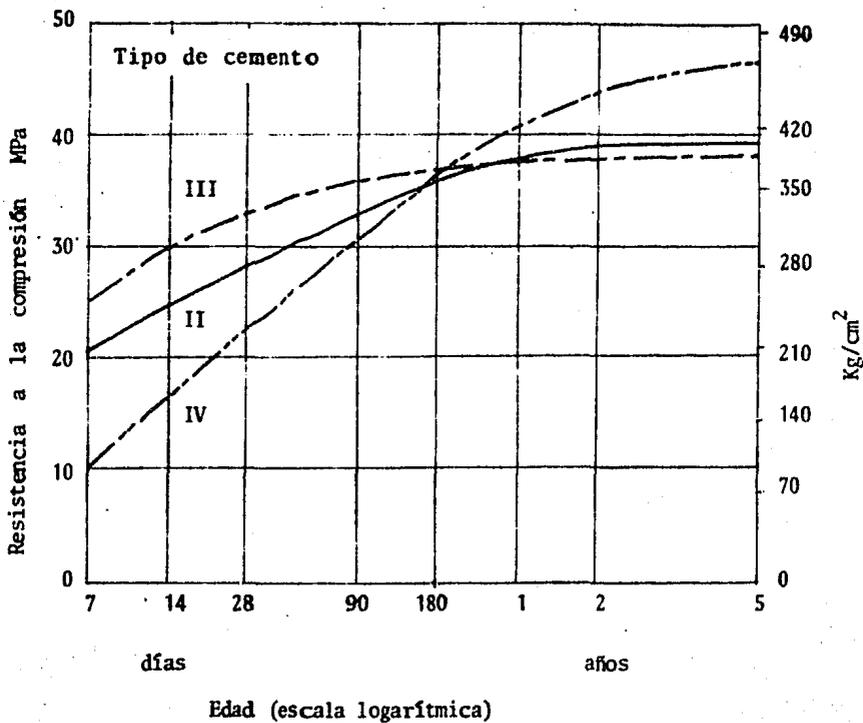


Figura 4.2. Aumento de la resistencia de concretos elaborados con distintos cementos e igual cantidad (335 kg/m^3) (referencia 23)

en la mezcla.

4.2.3 Durabilidad

La durabilidad se vuelve más crítica cuando el concreto se encuentra sometido a la humedad y a ciclos de congelación y fusión del agua, ya que el líquido se introduce en los poros y al congelarse se expande, produciendo fracturas en toda la masa. Esta característica depende de la cantidad de cemento, y se puede mejorar considerablemente con la inclusión de aire.

La durabilidad se ve afectada por la reacción alcali-agregado, por ello cuando el agregado tiene sustancias reactivas se debe especificar cemento de bajo álcali.

4.2.4 Permeabilidad

Una permeabilidad reducida se consigue con una baja relación agua-cemento y sobre todo con una buena compactación. El uso de puzolanas también ayuda a reducir la permeabilidad.

4.2.5 Trabajabilidad

La trabajabilidad es la cualidad del concreto para transportarse, colocarse y compactarse con facilidad. Tal característica crece al aumentar la fluidez de la mezcla, y esto se consigue aumentando la cantidad de agua o con el uso de aditivos fluidificantes, como es el inclusor de aire.

4.2.6 Cambios de volumen

Los cambios de volumen son importantes cuando se trata -

de contracciones, ya que generalmente ~~está confinado~~ y se -- pueden generar ~~esfuerzos~~ de tensión.

En el concreto, los cambios de volumen son producidos -- por las variaciones de temperatura y de humedad y por los es fuerzos sostenidos.

Los cambios por temperatura son función del tipo de ---- agregado, la riqueza de la mezcla y la edad del concreto.

4.2.7 Módulo de elasticidad

Depende de la relación agua-cemento y del módulo de elas ticidad de los agregados; al aumentar el módulo del agregado aumentará también el del concreto.

4.3 Concreto compactado por medio de rodillos (CCR)

Aquel concreto que se usa en construcciones masivas, se transporta y coloca con equipo convencional de movimiento de tierras, y es compactado por medio de rodillos vibratorios, se denomina concreto rodillado o CCR.

El concepto del CCR se inicia en 1970 en Asilomar, California, en un ciclo de conferencias de la Engineering Foundation (referencia 28), donde se presenta una ponencia en la que se hace una extrapolación del suelo cemento a las cortinas gravedad. Posteriormente, en 1972, Robert W. Cannon expone una conferencia titulada "Compactación del concreto masivo con rodillo vibratorio", y en 1975 se coloca el primer gran volumen de CCR ($344\ 000\ m^3$) en la presa de Tarbela, Pakistán (referencia 30), para reparar los túneles vertederos y el tanque amortiguador.

La primera cortina elaborada totalmente de CCR fué construida en Japón, y posteriormente se hicieron varias en Estados Unidos, 1 en Brasil y 1 en Argentina. Actualmente en México hay dos en construcción, una de las cuales es la cortina más alta de concreto rodillado que se ha proyectado.

En cuanto a las características que afectan las propiedades del concreto rodillado, la principal diferencia con el concreto convencional es su consistencia. El CCR por su bajo contenido de agua no tiene revenimiento; esto conduce a tener menos cemento para mantener una cierta relación agua-cemento. El cemento es substituido por alguna puzolana, generalmente cenizas volantes, que además de ser más económicas ocasionan una liberación de calor de hidratación menor.

4.3.1 Materiales constitutivos

En general se pueden utilizar los mismos elementos que en el caso del concreto tradicional, difiriendo sólo en su dosificación.

4.3.1.1 Cemento

Tiene alrededor de 100 kg de cemento por m^3 de concreto y como 200 kg de puzolana por m^3 de concreto; esto produce un menor calor de hidratación. Por lo anterior y por el proceso constructivo, es difícil que suba la temperatura de la mezcla, por lo que generalmente no es necesario usar cemento de bajo calor; más bien se usa el tipo I ó el tipo II.

4.3.1.2 Agregados

Los agregados pueden ser iguales a los del concreto normal, restringiéndose únicamente el agregado máximo a un tamaño

ño menor de 3 pulgadas o de la tercera parte del espesor de las capas. La primera restricción es porque se puede presentar segregación con agregados mayores de 3 pulgadas, aunque es posible usarlas. La segunda se debe a que la compactación puede no ser completa con partículas más grandes.

Si el equipo que se utiliza es chico, podrá tener dificultades para compactar el concreto, y se deberá reducir más el tamaño máximo.

4.3.1.3 Puzolanas

Parte del cemento es substituido por alguna puzolana, -- que además de ser más económicas, ocasionan una menor liberación de calor. Generalmente se usan cenizas volantes. Además la puzolana llena huecos cuando los agregados tienen deficiencia en finos.

4.3.2 Propiedades

El CCR tiene un 40% menos agua, un 30% menos pasta que el concreto normal, y la colocación se hace por capas. Estas características hacen que algunas de las propiedades --- sean diferentes.

4.3.2.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a corta edad es pequeña y la final es un poco mayor que en el concreto convencional de baja resistencia. El esfuerzo máximo se debe basar en edades avanzadas, como 6 meses ó 1 año. Para determinar la resistencia a diferentes edades se toman pruebas de corazones del concreto colocado.

4.3.2.2 Peso específico

El peso específico del concreto rodillado es prácticamente igual al del concreto tradicional.

4.3.2.3 Durabilidad

Por tener una baja cantidad de cemento la durabilidad es menor, además de que no suele agregársele aditivo incluso de aire, porque lo hace un poco fluido.

La resistencia al desgaste se logra con el uso de tamaño máximo de agregado más pequeño; y con una textura más suave en la superficie, lo cual se consigue colocando una capa de concreto convencional en las caras expuestas.

4.3.2.4 Permeabilidad

Depende de una buena compactación y de que las juntas -- frías sean tratadas de una forma adecuada, colocándose una pequeña capa de mezcla rica en cemento de concreto convencional.

4.3.2.5 Cambio de volumen

La posibilidad de un cambio de volumen, debido a la disipación del calor de hidratación, se reduce considerablemente en el CCR. El cambio de volumen por secado es bajo, ya que contiene menos agua, que crece al aumentar el material cementante y su finura.

CAPITULO V

ALGUNOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA CORTINAS DE CONCRETO

La adecuada colocación del material constitutivo de una cortina es esencial para su correcto funcionamiento. El proceso constructivo es diseñado por el proyectista según las características de la cortina y del sitio donde se va a desplantar.

En la construcción de una presa se deben realizar una serie de actividades y cada una de ellas se podrá ejecutar en forma distinta dependiendo de las condiciones del lugar, de la maquinaria disponible y de los materiales existentes. Dichas actividades se pueden dividir en cuatro grupos: preparación del sitio, producción del material para la cortina, construcción de la cortina y construcción de las obras accesorias.

Las actividades se deben ejecutar siguiendo un programa en el que se indique el tiempo estimado para cada una, este-

programa se deberá cumplir, sobre todo en las actividades -- que forman parte de la ruta crítica, para evitar el atraso - en la fecha prevista de la terminación de la obra.

En el presente Capítulo se describen algunos procedimientos constructivos para las cortinas, tanto de concreto tradicional como de concreto rodillado, los cuales son radicalmente distintos, y es aquí donde se ve el porque de la diferencia tan grande de costo entre una y otra estructura. Además se describen brevemente las actividades correspondientes a la preparación del sitio y a la producción del material para la cortina, que son prácticamente iguales para ambos tipos de concreto.

5.1 *Preparación del sitio*

Las actividades que forman parte de este grupo son: --- construcción de los caminos de acceso, de la obra de desvío, limpieza e inyección de las laderas y elaboración de las galerías de inspección.

5.1.1 Caminos de acceso

Son necesarios para llevar al lugar donde se va a des--- plantar la cortina, toda la maquinaria y materiales que se van a utilizar. Estos caminos se proyectan con el criterio de obtener la ruta más corta, con pendientes y curvas que -- permitan operar con seguridad a altas velocidades; además se buscan varias rutas para tener acceso a distintos niveles de la cortina, o para poder darles mantenimiento.

5.1.2 Obra de desvío

Para poder hacer operaciones y construir la cortina en el cauce del río, es necesario enviar el agua por una obra especial, la cual se denomina obra de desvío. Esta generalmente se hace en dos etapas, una cuando la corriente no lleva mucha agua, mediante un conducto a través de la ladera o de la cortina misma; y la otra, cuando el río es más caudaloso, por medio de un hueco dejado en la base de la cortina.

Para la primera etapa se requiere construir una atagüa-aguas arriba y otra aguas abajo del sitio de desplante de la cortina, las cuales se elaboran de material suelto existente en la región; para hacer la de aguas arriba es necesario ir arrojando al cauce piedras cada vez más grandes, hasta conseguir el desvío total; a esta operación se le denomina cierre del río. Para la segunda etapa es necesario retirar las atagüas y tener preparado el hueco por donde va a pasar el agua.

5.1.3 Limpieza de las laderas

Se hace con el fin de examinar mejor las laderas y quitar todo aquel material que no sea roca sana, para desplantar sobre ésta la cortina; para ello se debe efectuar primero el desmonte y el despalme.

5.1.4 Inyección de las laderas

Esta actividad es muy importante y tiene el objeto de crear una pantalla impermeable bajo la cortina. Para ello se hacen perforaciones verticales e inclinadas a fin de formar una malla, cuya profundidad dependerá del tipo de roca y

de la altura hidráulica de la cortina; en esta labor se pueden usar perforadoras con motor montadas sobre orugas o perforadoras profundas. Hecho lo anterior se inyecta de lechada de cemento mediante una bomba de eje horizontal.

5.1.5 Construcción de las galerías de inspección

Las galerías tienen la función de examinar las laderas de ambas márgenes, en el lugar preciso donde se va a construir la cortina, además se prolongan dentro de la cortina para permitir la inspección y drenaje de la misma, una vez que se ha terminado. Se deben hacer con dimensiones suficientes para que pueda penetrar con facilidad la gente y la maquinaria necesarias para efectuar las diversas labores.

5.2 Producción del material para la cortina

En este grupo están todas las actividades necesarias para elaborar el concreto, desde la obtención de los materiales, hasta su disposición en el medio de transporte que lo llevará a la cortina.

5.2.1 Producción de los agregados

Lo más común en la elaboración de concreto para cortinas, es usar agregados extraídos de depósitos aluviales o provenientes de la fragmentación de formaciones rocosas, cercanos al sitio de construcción. Estos materiales se deben someter a un tratamiento para eliminar toda la materia extraña a la naturaleza petrea del agregado y para separarlos siguiendo una granulometría predeterminada.

5.2.1.1 Explotación de depósitos aluviales

Si la obra que se va a realizar es muy grande, y se trata de depósitos de gran potencial, ~~tales como los que se encuentran en los deltas o en las partes bajas y medias de los ríos~~, es muy recomendable el uso de la draga Shawerman; si no se cuenta con esta máquina o sus limitaciones no permiten su empleo, entonces se puede utilizar una draga de arrastremontada sobre orugas, con capacidad mínima de un metro cúbico, ya que si es menor, puede producir una explotación del banco "picoteada". Cuando el depósito está localizado fuera del cauce, otra alternativa es el uso de cargadores frontales, ya sea de orugas o de neumáticos. También se pueden usar retroexcavadoras, siempre y cuando sean de gran capacidad.

5.2.1.2 Explotación de bancos de roca

Quando no se encuentran depósitos aluviales de la calidad y potencia necesarias, se procede a investigar las formaciones rocosas, y una vez localizados los bancos con la calidad y cantidad suficientes de material, se inicia su explotación siguiendo las acciones de desmonte, barrenación, poblado, voladura y carga del producto. Cabe señalar que la fragmentación por explosivos deberá ser compatible con la trituradora primaria.

5.2.1.3 Tratamiento de los agregados

Esto significa triturar, separarlos por tamaños y eliminar de ellos toda la materia contaminante. El procedimiento general consiste en pasar el material producto de la explotación del banco, por una serie de trituradoras para reducir -

su tamaño, entre cada uno de estos se colocan mallas con ---
aberturas de diversas dimensiones para separar la cantidad -
necesaria de cada tamaño, lo más común es distinguir partícu
las entre dos o tres rangos distintos; si después de pasar -
por alguna trituradora la dimensión máxima es mayor de lo --
~~que puede aceptar la siguiente trituradora, el material se -~~
pasará nuevamente por la primera.

Dentro del tratamiento se cuenta con un proceso de lava-
do que, será distinto para cada tipo de materia extraña que-
se deba eliminar; los más comunes son: lavadores de tambor-
giratorios, aplicación de agua a presión durante el cribado-
e introducción del material en un medio pesado; a veces es -
necesario usar dos o más métodos. Para mandar los agregados
de un proceso a otro y finalmente al lugar de almacenamiento
se cuenta con bandas transportadoras, de modo que se tiene -
un circuito cerrado.

Los materiales producto de los procesos anteriores, se -
deben almacenar de modo tal, que no se contaminen unos con -
otros volviendo a mezclarse, y de manera que no se produzca-
segregación.

5.2.2 Transporte de los materiales a la planta

Consiste en llevar a la planta el cemento, los agregados,
el agua y los aditivos o puzolanas que se necesiten.

5.2.2.1 Transporte del cemento y puzolanas

Estos materiales se transportan a granel de la población
más cercana en donde se produzcan. Se pueden llevar por bar
co, ferrocarril o camión, o por la combinación de varios de-

ellos. Una vez en la planta se depositan en tolvas para su oportuna dosificación; dichas tolvas deberán tener la capacidad suficiente para no detener la producción de concreto, -- ~~aún cuando el transporte tuviera algún retraso.~~

5.2.2.2 Transporte del agua

El agua se obtiene del caudal del río, colocando únicamente bombas para elevarla a un tanque de almacenamiento junto a la planta de producción del concreto.

5.2.2.3 Transporte de los agregados

El procedimiento más rápido y generalmente más económico consiste en uno o más conductos de recuperación bajo los depósitos de agregados, dentro de los cuales se instala una banda transportadora que alimenta directamente a las tolvas de dosificación o a los camiones que llevan los agregados a la planta.

5.2.3 Fabricación del concreto

Las acciones para elaborar el concreto son básicamente las siguientes: tomar los materiales básicos de su depósito en la planta, pesarlos, introducirlos a la mezcladora, mezclarlos y entregar el producto a las unidades que los lleven hasta la cortina.

5.2.3.1 Dosificación

Las tolvas de cada material tienen compuertas en la parte inferior, las que se accionan mecánicamente pasando el contenido a una báscula donde se pesan, y una vez que se ex-

trae la cantidad requerida, las compuertas se cierran automáticamente, mandándose el material a la mezcladora, lo cual se hace para cada elemento constitutivo del concreto. En el caso de agua y los aditivos que se dosifican en forma líquida, se requiere un tanque báscula; para el concreto y pulzolanas es conveniente un sistema hermético para evitar pérdidas.

Cuando la temperatura del concreto puede exceder los límites establecidos, es necesario entonces utilizar hielo en lugar de agua, el cual se almacena y dosifica en forma semejante a la de los agregados.

5.2.3.2 Mezclado

Lo más común es utilizar mezcladoras basculantes o de eje vertical, con capacidad entre 1.5 y 3 m³; se pueden tener una o más unidades mezcladoras, y con dispositivos de dosificación únicos o múltiples. El tiempo de mezclado varía según las características del concreto, pero generalmente es alrededor de un minuto para concreto convencional.

El mezclado de concreto rodillado se puede llevar a cabo con las mismas mezcladoras, aumentando su capacidad o el número de unidades; así como el tiempo de mezclado. En ocasiones, como en el caso de la presa de Tarbela, se han usado mezcladores continuos para este tipo de concreto, dando buenos resultados cuando no es importante tener una calidad homogénea en el concreto.

5.3 Manejo del concreto convencional

Manejar el concreto implica transportarlo a la cortina,-

colocarlo y compactarlo. ~~Estos procesos son totalmente distintos~~ realizados con concreto tradicional que con concreto-rodillado, por ello se describen en forma independiente.

5.3.1 Transporte de la mezcladora al sitio de colocación

Este movimiento debe realizarse lo más rápido posible, a fin de conservar constantes las propiedades del concreto desde que sale de la mezcladora hasta que se coloca; para lograr esto es común usar botes con descarga de fondo. Mediante un sistema de camiones o por vagones sobre rieles dichos botes se trasladan desde el sitio de carga hasta las proximidades de la cortina, en donde se ponen al alcance de un cable-vía o de una grúa-torre, los cuales lo llevarán hasta el sitio de colocación, donde es vaciado su contenido, regresándolos nuevamente a la descarga de la mezcladora.

El cable-vía consiste en un cable-carril, suspendido en cada uno de sus extremos de torres montadas en las márgenes de la boquilla; eventualmente ambas torres pueden ser móviles denominándose cable-vía paralelo, o una móvil y otra fija al que se le llama cable-vía radial.

En ocasiones puede ser necesario utilizar los dos sistemas, por falta de alcance a todos los puntos de la cortina con uno solo; como fue el caso de la colocación del concreto en la cortina de la presa de Santa Rosa en el estado de Jalisco.

5.3.2 Colocación del concreto

Previamente a la colocación del concreto se deben desarrollar las siguientes labores: tratamiento de las juntas,-

trazo topográfico del bloque, cimbrado del bloque y colocación de sellos.

5.3.2.1 Tratamiento de las juntas

La junta debe ser rugosa, con el agregado grueso aparente y estar saturada y superficialmente seca en el momento -- del colado. Para lograr lo anterior, se aplica a las superficies horizontales, cuando el concreto no ha endurecido totalmente, un chiflón de agua y aire a presión; en las juntas verticales es necesaria la demolición superficial, que puede ser con perforadoras manuales.

5.3.2.2 Cimbrado

Una de las cimbras más comunes es la de Cantiliver metálica, la cual se ancla en el bloque de nivel inmediato inferior. A veces se usan cimbras deslisantes o paneles precolados.

5.3.2.3 Colado del concreto

Para iniciar el colado, se coloca sobre la junta una capa de mortero, cuya proporción debe ser igual a la de la mezcla de concreto, el cual se va colocando en capas sucesivas de 25 a 40 cm de espesor, esto con el objeto de evitar la -- formación de taludes que propicien la segregación.

En ocasiones, cuando la temperatura puede subir demasiado, aún con las medidas tomadas en la dosificación, se utiliza un método de post-enfriado, que consiste generalmente en la instalación de serpentines de pared delgada dentro de los bloques de la cortina, haciendo pasar a través de ellos una

corriente continua a baja temperatura (entre 2 y 5°C0.

Las restricciones principales que se han tenido en la -- elaboración de cortinas de concreto convencional son:

- i) Una altura máxima de colado (entre uno 1.5 y 2 m)
- ii) Un intervalo especificado de tiempo entre colados sucesivos y adyacentes (debe ser de 60 a 72 horas)
- iii) Un desnivel máximo entre bloques adyacentes (entre 3 y 4 m)
- iv) Un desnivel máximo entre el bloque más alto de la placa y el más bajo (entre 6 y 8 m).

Lo anterior, aunado a los métodos de transporte y colocación del material, ha hecho que el procedimiento constructivo sea lento y de un elevado costo.

5.3.3 Compactación del concreto

La compactación es el procedimiento mediante el cual se elimina el aire atrapado en la mezcla, y se lleva a cabo generalmente por medio de vibradores de aire. La trabajabilidad es la propiedad que influye directamente en la compactación, y será más fácil ésta entre mayor sea aquella.

Como se mencionó antes, el concreto se coloca en capas, cada una de las cuales se deberá compactar sumergiendo un poco el vibrador en la capa inferior, y pasándose éste por cada punto del colado. Dependiendo de la mezcla y del revenimiento, esta operación debe tomar alrededor de 10 a 15 segun

dos.

5.4 Manejo del concreto rodillado

Este concepto incluye las mismas actividades que para el concreto convencional, sólo que se llevan a cabo de diferente forma.

5.4.1 Transporte

Del lugar donde se descarga la mezcladora, al sitio de colado, el CCR puede llevarse por medio de un transporte intermitente o continuo.

5.4.1.1 Transporte intermitente

Puede ser mediante camiones de volteo o con escrepas, cu ya capacidad, que puede variar desde unos cuantos metros cúbicos hasta varias decenas, dependerá de la velocidad de colocación y del tiempo del ciclo de transporte; es preferible que los camiones no tengan agitadores, ya que es más fácil que sufran daños los que lo tienen y su descarga es lenta. También se pueden usar cubos con descarga de fondo o bachas, trasladados por medio de una grúa-torre o un cable-carril, sin embargo, tiene la desventaja de ser un equipo muy costoso.

5.4.1.2 Transporte continuo

Puede ser una banda transportadora o, cuando se trata de bajar el concreto, una tubería de gran diámetro. El reducido contenido de agua y el alto contenido de agregado grueso, hace imposible que la mezcla se bombee para elevarla de ni--

vel.

5.4.1.3 Combinación de ambos

En ocasiones se puede usar una combinación del transporte continuo e intermitente, mandándolo de la mezcladora por una banda o tubería a una tolva dispuesta en un lugar más -- próximo a la cortina, en donde se cargan los camiones que lo llevan hasta el sitio de colado.

Con agregado mayor de 1.5" no se presenta segregación -- considerable al transportar el concreto, con un máximo de 3" se deben tener ciertas precauciones para evitarla, y según -- algunas recomendaciones (referencia 30), no es conveniente -- usar agregado máximo de 6" con el equipo diseñado actualmen- te, ya que se pueden tener serios problemas de segregación.

5.4.2 Colocación del concreto

Para colocar el concreto rodillado, a diferencia del nor- mal, no se requiere de cimbras, y la labor es más fácil en- tre más seca esté la mezcla. En las superficies expuestas -- conviene colocar una capa de concreto normal, para el cual -- sí es necesario poner cimbras o elementos precolados.

5.4.2.1 Tratamiento de las juntas

Si durante el tiempo que sigue a la compactación de una- capa de concreto, la superficie se mantiene limpia y húmeda, al colocar la nueva capa no será necesario ningún tratamien- to; pero si se llena de lodo y se seca, se deberá aplicar un chorro de agua con arena, y colocar una capa delgada (de 8 - cm) de mezcla rica en cemento, con mayor cantidad de agua y -

~~con agregado de menor tamaño y sobre ella la mezcla regular,~~
para completar una capa normal.

5.4.2.2 Colado

El concreto traído con los camiones se deposita en pilas, las que se derriban y extienden mediante un tractor de hoja recta o niveladores de terreno, que podrán estar montados sobre llantas, siendo esto más conveniente ya que pueden pasar sobre el concreto recién colado sin perjudicarlo. Se pueden requerir varias unidades de tendido por cada rodillo grande de compactación. Las capas deben ser delgadas para permitir una compactación completa (de 20 a 30 cm).

A este tipo de colocación se le llama intermitente, existe también el colado continuo, que se realiza cuando se tiene un transporte continuo hasta el sitio de colocación.

5.4.2.3 Compactación

Se han empleado gran variedad de rodillos vibratorios en la construcción con CCR y por lo general, cualquier rodillo vibratorio que sirva para compactar enrocamiento servirá también para el CCR. Entre mayor y más rápido sea un rodillo tendrá un mayor rendimiento, sin embargo, los muy grandes no se pueden acercar mucho a las cimbras o a los obstáculos, y entonces se requerirán rodillos pequeños para estas zonas.

Con equipo grande se pueden compactar capas de gran espesor, por esto, y considerando los problemas que tienen las juntas, en Japón se han ensayado capas hasta de 70 cm o más, dando resultados satisfactorios.

Cuando no se tiene suficiente pasta que llene los huecos entre los agregados, una mayor compactación sólo ocasionará una trituración de las partículas, en cambio cuando hay suficiente pasta ésta llenará los huecos y los agregados se podrán introducir en la junta, con lo que se obtiene una ~~mase~~ dura a partir de la construcción en capas.

En las muestras de corazones que hasta ahora se han sacado de las estructuras de concreto rodillado (referencia 30), se ha visto que la compactación, comparada con la hecha en el laboratorio bajo vibrado prolongado, ha sido completa.

5.4.2.4 Curado

El CCR se debe mantener continuamente húmedo durante 7 días o hasta que se cubra con otra capa, sin embargo, puede no requerirse el curado cuando la colocación sea tan rápida que la superficie no llegue a secarse.

En la colocación del CCR se busca tener acceso a la cortina desde ambas laderas, y contar con un cruce del río por otro lugar para la maquinaria, de modo que cada unidad después de ejecutar su operación, salga por el otro lado de la estructura, evitando así que pasen por el concreto recientemente colado, para impedir cualquier daño al mismo. Con esto se tiene un circuito completo para el traslado de la maquinaria.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

En primer lugar es importante señalar que el cálculo de las fuerzas que intervienen en el análisis de la estabilidad de una cortina de gravedad, así como el procedimiento para definir una geometría, aquí presentados, son a nivel de ante proyecto; en ningún momento se ha pretendido dar las conside raciones para el análisis, o explicar un método para el dise ño de una cortina con el objeto de realizar un proyecto defi nitivo.

Con la metodología que se expone se puede obtener una -- geometría muy semejante a la que finalmente se habrá de cons truir; en el ejemplo se propone una forma de cortina de ---- acuerdo al método presentado, sin embargo, se podrá obtener otra alternativa de solución, ya sea no aceptando esfuerzos de tensión o permitiéndolos un poco mayores o bien cambiando las dimensiones de h_1 y h_2 , cuyo mayor o menor volumen de - concreto requerido, respecto a la propuesta, dependerá de la forma de la boquilla.

En los primeros capítulos se hace destacar la importancia de la economía para seleccionar el tipo de cortina, presentándose en los capítulos finales las características de las cortinas de concreto normal y concreto rodillado y se ve la conveniencia de las últimas por su bajo costo, aún sobre ~~otros tipos de cortina; apoyándonos en lo anterior podemos~~ decir que las cortinas de concreto tipo gravedad tienen un gran futuro a nivel mundial y se debe pensar en ellas como una alternativa viable y conveniente, sobre todo en países en desarrollo como México, en donde se tiene alrededor del 25% de las corrientes controladas, y el 75% restante abre las puertas a la construcción de muchas presas más, no solo con cortinas de gravedad, sino con todas aquellas en las que la ingeniería de presas ha tenido un mayor desarrollo, como por ejemplo en las de enrocamiento compactado.

Es conveniente por lo tanto, hacer notar que la experiencia adquirida en la construcción de las primeras cortinas con una nueva tecnología, será sin duda muy valiosa para el futuro de nuestro país.

El concreto rodillado presenta grandes ventajas, por lo que se debe seguir estudiando sobre todo en su comportamiento a largo plazo, así como en los procedimientos constructivos, buscando la forma de evitar al máximo las estructuras dentro del cuerpo de la cortina. Asimismo, el concreto convencional, que aunque ha sido desplazado por el CCR en la construcción de cortinas de gravedad, se debe pensar aún en estudiarlo con objeto de reducir sus costos de construcción, ya sea mediante producción de concreto y colado continuos, o por algún otro medio, debido a que se seguirá usando en la elaboración de cortinas de arco-bóveda o aún en las de arco-gravedad, en donde se requiere una mayor resistencia del con

creto que la proporcionada por el CCR, o si el procedimiento constructivo de este último se complica demasiado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. *Grandes presas de México*
SRH, CFE
1976, Mex.

2. *Presas construidas en México*
SRH
1976, Mex.
3. *Los riegos en España, Vol. I y II*
Comité Español de riegos y drenaje
1969, España
4. *En presas constructoras de España*
Seopan
Madrid, 1977
5. Elias, Campell, Shrader
Quinzieme Congres des Grands Barrages (Monksville Dam)
Lavoanne, 1985
pp. 215-237
6. *Concrete Construcción (What is RCC)*
September 1982
pp. 709-711
7. F. Torres Herrera
Obras Hidráulicas
1983, Mex.
8. *The Engineering of large dams, Vol. I y II*

Wiley
1976, Gran Bretaña

9. *Diseño de presas pequeñas*
Bureau of Reclamation
1978, México

10. *Comportamiento de presas construidas en México*
SRH, CFE, UNAM (I.I.)
1976, Méx.
11. *Presas de Derivación*
SRH
1975, Méx.
12. Raúl Marsal
Presas de Tierra y Enrocamiento en México
1959, Méx.
13. P.C.A., Desel E. Hallmark
Presas pequeñas de Concreto
1978, Limusa, México
14. Hinds, Creager, Justin
Engineering for dams, Vol II
1976, USA
15. E. Rosenblueth
Presión hidrodinámica en cortinas de gravedad
1968, I.I., Méx.
16. E. Rosenblueth
Presión hidrodinámica por sismo en presas, estado del arte
1971, I.I., Méx.

17. Fco. Torres H.
Presas de almacenamiento y derivación, apuntes de clase
1985, Facultad de Ingeniería

18. ICA . *en las grandes presas*
ICA
1976, México.
19. J. María, Bolivar del Valle
Geología
1985, Facultad de Ingeniería, UNAM
20. Vega, Arreguín
Presas de almacenamiento y derivación
1983, UNAM, Méx.
21. A.M. Neville
Tecnología del Concreto, Tomo I
1984, IMCYC, Méx.
22. *Compactación del Concreto*
ACI
1983, IMCYC, Méx.
23. *Práctica para dosificar concreto normal, concreto pesado y concreto masivo*
ACI
1983, IMCYC, Méx.
24. *Proyecto y control de mezclas de concreto*
PCA
1978, Limusa, Méx.

25. López Ayala (Tesis de Licenciatura)
Control de concreto
1961, Méx.

26. Mena Ferrer
Aplicaciones de las puzolanas en el concreto
1962, I.I. (UNAM), Méx.
27. Rager Díaz de Cossio
Ensaye indirecto de concreto a tensión
F.I., UNAM
28. Ernest, K. Schrader
Concreto Compactado con aplanadora
IMCYC, 1986
29. V. Manuel Victoria Sánchez
*Procedimiento para la fabricación, manejo, colocación
de concreto masivo en cortinas*
SARH, 1981
30. *Roller Compacted Concrete*
Reported by ACI Committee 207
A-1980
31. *Mass Concrete for dams and other massive structures*
Reported by ACI Committee 207
1970
32. *Concrete international (Fly Ash in Concrete)*
September 1983, by James Eilook
pp. 51-59

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer profundamente al Ing. Francisco Torres H. -- sus atenciones recibidas durante los estudios profesionales y en el desarrollo de la presente tesis.

Del mismo modo quiero expresar mi gratitud a todas aquellas personas que aportaron su valiosa ayuda para llevar a cabo este trabajo.