

4
2eje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACATLAN

**PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS
DEL C.C.R. Y SU UTILIZACION EN LA
PRESA " SAN LAZARO " , B.C.S.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

JORGE LUIS ESQUIVEL MALDONADO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ACATLAN, EDO. DE MEXICO



1994



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.

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES:

José Ma. Esquivel Hdez. y Ernestina Maldonado C. con eterno agradecimiento por el cariño y el apoyo moral que siempre me han brindado y con el cual he logrado la culminación de mi carrera profesional, porque mis metas son sus anhelos, les dedico este trabajo.

A MIS HERMANOS:

Maribel, German, Lorena y Gerardo con afecto, esperando que este trabajo motive la realización de las metas que se fijen en la vida.

A DIOS:

Por haberme dado la capacidad de
razonar y la dedicación necesaria que
me permite realizar la culminación de
este trabajo.

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**A LA ESCUELA NACIONAL DE
ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN**
con respecto y agradecimiento por todo lo
que me brindó.

A MI ASESOR:

Ing. Jorge Uriarte García, gracias por su
inmejorable orientación y apoyo en la
realización del presente trabajo.

A MIS PROFESORES:

Mi agradecimiento por sus enseñanzas
desinteresadas, en especial al Ing. Raúl
Ibarra Rufz.

A todas aquellas personas que siempre creyeron en mi y estuvieron conmigo apoyándome para seguir adelante. Así como aquellas que colaboraron en la realización de este trabajo.



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

**LA PRESENTE TESIS
SE IMPRIMIO CON EL APOYO
DE LA COMISION NACIONAL DEL AGUA**

EN ESPECIAL A:

SRITA. VIOLETA L. BARRIOS FDEZ.
ING. GERARDO RAMIREZ JIMENEZ
ING. ANGEL TAPIA MENDOZA
ING. EFREN VIVANCO PIÑA
ING. LUIS M. RIVERA MARTINEZ
ING. JAVIER NAVARRO
ING. EZEQUIEL SAAVEDRA NIETO
ING. GUADALUPE SANCHEZ ACUÑA
ING. ENRIQUE GARCIA NUÑEZ
ING. DIONICIO LOPEZ AGUILAR
ING. LAUREANO MENDOZA CAMACHO
SRA. GLORIA SANCHEZ GALVAN

**PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DEL C.C.R.
Y SU UTILIZACION EN LA PRESA
"SAN LAZARO", B.C.S.**

I.- ANTECEDENTES DE PRESAS DE CCR	1
I.1.- Historia del CCR	1
I.2.- Primeras obras de CCR en el mundo	3
I.3.- Obras de CCR en México	7
I.3.1.- Presa La Manzanilla	8
I.3.2.- Presa Trigomil	10
II.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DEL CCR	12
II.1.- Materiales pétreos	12
II.1.1.- Agregados gruesos (gravas)	16
II.1.2.- Agregados finos (arenas)	18
II.2.- Cementos y puzolanas	19
II.3.- Consistencia	20
II.4.- Empleo de aditivos	21
III.- PROPIEDADES DEL CCR	23
III.1.- Resistencia a la compresión	23
III.2.- Resistencia al cortante	24
III.3.- Capacidad de deformación	25
III.4.- Cambios volumétricos	26
III.5.- Propiedades elásticas	27
III.6.- Permeabilidad	28
III.7.- Durabilidad	28
IV.- DESCRIPCION DEL PROYECTO (PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.)	30
IV.1.- Objetivo	30
IV.2.- Localización	30
IV.3.- Datos del proyecto	31
IV.4.- Estructuras relevantes del proyecto	32
IV.4.1.- Cortina	32
IV.4.2.- Vertedor	33
IV.4.3.- Canal de desagüe	34
IV.4.4.- Galerías de inspección y drenaje	34
IV.5.- Concreto compactado con rodillo	35
IV.5.1.- Banco de materiales pétreos	35
IV.5.2.- Cemento	36
IV.5.3.- Agua	36

IV.5.4.- Diseño de mezclas	36
IV.5.5.- Bordo de pruebas	38
IV.5.6.- Piezas prefabricadas	39
IV.5.7.- Especificaciones técnicas de construcción para CCR	39
IV.5.7. 1.- Generalidades	39
IV.5.7. 2.- Bordo de prueba	41
IV.5.7. 3.- Colocación de materiales en la cortina	44
IV.5.7. 4.- Caminos de acceso y de construcción	45
IV.5.7. 5.- Abastecimiento de agua	46
IV.5.7. 6.- Cemento	47
IV.5.7. 7.- Limo inorgánico	58
IV.5.7. 8.- Agregados para concretos	49
IV.5.7. 9.- Fabricación, transporte y colocación de concreto convencional	52
IV.5.7.10.- Fabricación, transporte y colocación del CCR y concreto de liga	58
IV.5.7.11.- Juntas constructivas en las estructuras de concreto	63
IV.5.7.12.- Acabados y formas para CCR y de liga	64
IV.5.7.13.- Curado y protección del concreto convencional de liga y CCR	65
IV.5.7.14.- Acero de refuerzo	67

V.- PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA EMPLEANDO CCR 68

V.1.- Materiales	68
V.2.- Mezclado	70
V.3.- Transporte y colocación	71
V.4.- Compactación	75

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

La información que contiene el presente trabajo, no sólo será de gran ayuda para quienes pretendan utilizar el procedimiento constructivo del concreto compactado con rodillo en el diseño de alguna obra, sino también en la realización de ésta.

En los primeros capítulos se da un panorama general de las características de los materiales que integran el concreto compactado con rodillo y sus propiedades, que servirán para que el Ingeniero Civil lo conozca más detalladamente, apoyando el presente trabajo con el ejemplo del caso de la presa "San Lázaro", el cual se está realizando en el municipio de San José del Cabo, Estado de Baja California Sur, dentro del programa de construcción que tiene a su cargo la Comisión Nacional del Agua, a través de la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola.

Se deberá tomar en cuenta que el procedimiento constructivo del concreto compactado con rodillo entre otros, es una alternativa que al ser analizada para un proyecto determinado, brindará una serie de ventajas en cuanto a la minimización del tiempo y el costo de construcción del proyecto, que reeditará a corto plazo los beneficios para lo cual fue creado.

I

ANTECEDENTES DE PRESAS DE
C C R.

I.- ANTECEDENTE DE PRESAS DE CCR

I.1.- HISTORIA DEL CCR

No se tiene una fecha exacta de cuando se empleo por primera vez la expresión "Concreto Compactado con Rodillo" pero, en 1970, en el décimo Congreso Mundial de Grandes Presas que se llevó a cabo en Montreal, Canadá, el Profesor Wallingford V.M. al manifestar su artículo "Propuesta de Nueva Técnica para la Construcción de Presas de Gravedad de Concreto", propone el empleo de suelo-cemento, el cual podría traer ventajas al reducir los costos de construcción.

Por esa misma fecha, en 1970 se realiza la primera conferencia referente a "Construcción Rápida de presas de Concreto", que tuvo lugar en el Congreso de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles en Asilomar, California, donde el Profesor Jerome M. Raphael presenta un informe titulado "La Optimización en las Presas de Gravedad" en el que expone su teoría que consistió en el mejoramiento del suelo-cemento. Este mejoramiento se fundamenta en el enriquecimiento de su mezcla con materiales graduados, con el fin de obtener mejores resultados en sus propiedades, radicando principalmente en el incremento de la resistencia al esfuerzo cortante que permitiría la disminución del volumen utilizado al reducir la sección transversal, la colocación continua empleando equipo para movimiento de tierras, lograría un ahorro significativo en cuanto a tiempo y costos.

Más tarde en la conferencia que se tituló "Construcción Económica de Presas de Concreto" fue presentada la ponencia "construcción de presas de concreto

utilizando equipo para compactación de tierras" por el Ing. Robert W. Connán, quién propone un cambio en la teoría del Profesor Jerome M. Raphael, al utilizar en vez de suelo-cemento, una mezcla de materiales pétreos, cemento y agua que experimentó con el uso de vibrocompactadores, y para 1972, tras de experimentar la compactación de volúmenes masivos de concreto, presentó la ponencia titulada "Compactación de Concreto Masivo con Rodillo Vibratorio" en el que utilizó un concreto con un contenido bajo en cemento y alto en agregados, dando origen a lo que llamó cemento-pobre.

Las pruebas con mezclas de concreto compactado con rodillo vibratorio se continuaron experimentando, esta vez por el Ing. Ernest K. Schrader al frente del cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.A., quiénes utilizaban una planta dosificadora para concreto convencional y en las actividades de transportación, colocación y compactación empleaban un equipo usual en el movimiento de tierras.

Fue entonces cuando por primera vez se construyó una sección de prueba en la cortina de la presa "Lower Grant", que se localizaba entre los límites estatales de Washington y Oregon. Más tarde en 1975, se continuaría con la fabricación de un bordo de prueba en la presa "Lost Creek" en el estado de Oregon. Donde se pudo comprobar que las propiedades del concreto compactado con rodillo (CCR) y el concreto convencional son equivalentes, pero al ensayar muestras del corazón del bordo detectaron cierta variabilidad en la resistencia, donde se presentaban juntas frías entre dos capas horizontales que atribuyeron a la segregación de materiales, para impedir la separación de materiales, se logró mejorar las ligas entre las capas con la aplicación de una delgada capa de liga utilizando un tamaño de agregados más pequeño.

1.2.- PRIMERAS OBRAS DE CCR EN EL MUNDO

Sin privar los méritos que le corresponden a la presa Lower Grant, en la que el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.A. llevó a cabo una sección de prueba, utilizando concreto compactado con rodillo.

En 1975 debido a la necesidad de colocar una gran cantidad de materiales graduados para la reparación de la presa "Tarbela", en Pakistán que fue dañada a causa de un desbordamiento durante el primer llenado del embalse. La reparación consistía en la colocación de 344,000 m³ aproximadamente en un lapso de tiempo menor a 60 días, antes de que la época de lluvias se presentará y se corriera el riesgo de un nuevo desbordamiento del embalse.

El mayor rendimiento en la colocación del concreto compactado con rodillo, y su trabajabilidad fue suficiente para tomar la determinación de reparar la cortina con este método, aunque no se tenía mucha experiencia al respecto. Sin embargo, los resultados obtenidos fueron de gran satisfacción al reparar la cortina en tan sólo 44 días, registrando un rendimiento promedio de 7,600 m³/día, llegando a alcanzar un máximo de 19,000 m³/día, finalizando así la construcción y contribuyendo a la evolución del método constructivo.

El Ministerio Japonés de Construcción que se había dado a la tarea de hacer estudios sobre el concreto compactado con rodillo llegó a la deducción de que la innovación en el método constructivo ya se había empleado en 1964, en la presa Alpe Gera, en Italia, en lo que se utilizaron capas de 70 cm de espesor de concreto a lo largo de la sección longitudinal, empleando camiones de volteo y

tractores de orugas, pero lo más importante fue la forma de compactar, en la que se utilizaron varios tractores con vibradores de inmersión adaptados.

Dentro del programa de investigación que llevaba a cabo el Ministerio Japonés de Construcción, en 1976 inició la ejecución de un bordo de pruebas utilizando CCR que serviría como ataguía para la presa denominada "Okawa", en Japón. Empleando un método de construcción en capas y a diferencia de la presa Alpe Gera la conformación de la cortina se compactó con rodillo vibratorio.

Para el revestimiento en los paramentos aguas arriba, y aguas abajo se utilizó concreto convencional que se vibró con vibradores de inmersión. llevando hasta su culminación con gran éxito el bordo de pruebas que fue publicado en un memorándum técnico del Public Works Reserch Institute of Japon, titulado "Reseña del Diseño de Presas de Gravedad".

Posteriormente de haber estudiado las opciones de diseño para la presa "Willow Creek" localizada sobre el río Willow, cercana a la población de Heppner, Distrito de Walla Walla, Oregon. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.A., eligió un diseño de construcción hecho totalmente de concreto compactado con rodillo que permitiría una reducción en más de dos terceras partes el costo de un metro cúbico de concreto colado.

La convocatoria para el curso fue publicada en septiembre de 1981, adjudicando el primer lugar del concurso a la "Eucon Corporation of Pasco" con un monto de 14'094,762.0 dólares dando origen a la construcción de la obra el 6 de noviembre del mismo año y para marzo de 1982 iniciaban los trabajos de la estructura, concluyendo el 100%

de la obra en noviembre de 1982, reduciendo el tiempo de ejecución a un año en vez de los tres años que se tenían programados inicialmente.

La estructura de la cortina de gravedad que tiene un volumen de 313,486 m³ de concreto compactado con rodillo, longitud de 518 m y una altura de 49 m, medida desde la parte superior de la corona al lecho del río.

El costo por metro cúbico de concreto compactado con rodillo colocado fue de \$64.0 dólares, que en comparación con el metro cúbico de concreto convencional que era de \$225.0, corrobora lo antes mencionado referente a la reducción del costo.

Enclavada sobre el río Tama, aproximadamente a 10 km antes de desembocar en el lago Tazawa, en 1982 el Ministerio Japonés de Construcción trabaja en el diseño de la presa "Tamandawa" que tiene como uso principal la generación de energía eléctrica, así como la contribución en la captación de agua para potabilización y control de avenidas.

En septiembre de 1983 se inicia la construcción de la segunda presa de cortina de gravedad a base de concreto compactado con rodillo, en su totalidad, el volumen que se utilizó en la cortina fue del orden de 1,140,000 m³ en una dimensión de 441 m de longitud y 100 m de altura. Debido a la enorme magnitud y sobre todo a la altura de la cortina, en el método constructivo fue necesario la utilización de plantas mezcladoras de concreto convencional; dos cables-gruas y un tren inclinado para el transporte de la mezcla hasta su sitio final.

Los cables-gruas se colocaron de uno a otro extremo de la cortina para transportar el concreto que sería extendido y compactado posteriormente con rodillo liso vibratorio que para darle el acabado final se empleo el rodillo de neumáticos.

Con un rendimiento de 5,800 m³/día de concreto y alcanzando un promedio mensual de 80,000 m³ el Ministerio Japones de Construcción concluyó con los trabajos de la presa Tamandawa en septiembre de 1985 con una duración de dos años como se había programado, reafirmando las ventajas que brinda el concreto compactado con rodillo que obedecen a su rápida y continuo método constructivo.

En 1984 se inicia la construcción de dos presas con el método constructivo que ya había inspirado confianza gracias a las investigaciones realizadas tanto en los laboratorios como en las aplicaciones que se llevaron a cabo en bordos de prueba y en la reciente construcción de la presa Willow Creek, de la que ya se tenía publicada la información completa y los alcances de la presa Tamandawa que aún estaba en proceso constructivo. Ambas presas que se iniciaron en este año se localizan en Estados Unidos: denominadas la presa "Upper Still Water" y "Monksville". La primera está situada a 110 km de la ciudad de Salt Lake, en el estado de Utah y cuenta con un volumen de 1'070,000 m³ de concreto compactado con rodillo en una cortina de 823 m de longitud y 87 m de altura.

La segunda presa que se menciona, se ubica al norte de New Yersey, se diseño con fines de aprovechamiento para la captación de aguas para potabilizar, pero también fue necesario para la construcción de un puente carretero sobre la corona de la cortina que cuenta con una longitud de 610 m y una altura de

46 m en la que se utilizó un volumen de 300,000 m³ de concreto compactado con rodillo. Para finales de 1986 la presa ya estaba construida en su totalidad.

En E.U.A. se continuaba con el diseño y construcción de presas de concreto compactado con rodillo, mientras que en el resto del mundo sólo se había utilizado en las presas pequeños (bordos) "Braam Rauben Herimer" en Sudáfrica y en México se emprendía a realizar estudios sobre este concreto en los laboratorios de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

La presa Gales Ville localizada en Cow Creek, al sur del estado de Oregon, con una altura de 51 m. y longitud de 291 m, tiene un volumen de 166,000 m³ en el que sólo fue necesario una duración de 4 meses para su terminación.

Al igual que la presa Gales Ville, en 1985 se construyó también la presa Middle Fork en Parachute Creek afluente del río Colorado, en tan sólo 3 meses. El objeto de su construcción fue el de proteger de las constantes inundaciones a que estaban sujetas las minas de Oil-Shell, siendo la presa más pequeña construida con este método constructivo, con una cortina de 37 m de altura, 125 m de longitud y un volumen de 42,000 m³ en su conformación.

I.3.- OBRAS DE CCR EN MEXICO

En México se emprendió a realizar estudios sobre el concreto compactado con rodillo en el año de 1985.

En el Proyecto Hidroeléctrico "Peñitas" localizado en el estado de Chiapas, se construyó la primera obra en la que se utilizó este método constructivo para el

relleno de la obra de desvío que fue realizada por la Comisión Federal de Electricidad.

Por otra parte la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por medio de la Dirección de Ingeniería y Desarrollo experimental, inició la realización de estudios y experimentos de diseño acerca del concreto compactado con rodillo y con la colaboración de la Dirección de Diseño de Infraestructura de Irrigación y Drenaje, formularon las especificaciones de construcción convenientes relacionadas con el procedimiento constructivo.

I.3.1.- Presa La Manzanilla

La presa forma parte de un proyecto de sistemas de protección contra inundaciones, en el municipio de León, Guanajuato, que se construyó con el procedimiento de concreto compactado con rodillo. Para su realización fue necesario construir previamente un bordo de prueba, en el cual se simulaban las condiciones y materiales que existían en el sitio de desplante de la cortina, que permitiría el diseño de especificaciones para la construcción y control de calidad, así como conocer el comportamiento del material durante su colocación y sus características posteriores al fraguado. Otro aspecto que se pudo formular en este bordo, llamado "concretaplén" fue la de ensayar mezclas, equipo, ligas con el terreno natural y entre capas, lapsos de interrupción y concreto de liga.

Una vez elegidos los materiales que integran al CCR se obtienen especímenes para determinar los parámetros mecánicos como son el módulo de elasticidad, la relación de Poisson, la resistencia al esfuerzo cortante y el peso volumétrico

que fueron necesarios para lograr un proyecto adecuado con la información de laboratorio y de campo con la que fue posible definir la sección de la cortina con el factor de seguridad deseado.

El análisis de los resultados finales fueron satisfactorios, garantizando la seguridad de la construcción de la obra, por lo que en noviembre de 1983 se publicó el contrato para la construcción de la presa "La Manzanilla", concurso que se le adjudicó a la constructora VISE, S.A., que en enero del próximo año daba inicio la edificación que se tenía programada hasta diciembre del mismo año.

La presa "La Manzanilla" cuenta con una longitud de corona de 150 m, la altura de la cortina medida desde el nivel de desplante hasta la corona es de 36.0 m, en la que se compactó un volumen de 50,000 m³ de concreto compactado con rodillo, el embalse de 350,000 m³ conlleva con una capacidad total de almacenamiento de 6'400,000 m³ que especificaba el diseño del proyecto.

Una de las ventajas que se encontraron en esta nueva tecnología es el ahorro en la utilización de cemento, que en una presa de concreto masivo, se requiere de 250 a 300 kg de cemento por metro cúbico de concreto para obtener una resistencia a la compresión entre 100 kg/cm² y 140 kg/cm². En tanto que para la fabricación de un metro cúbico de C.C.R. con un contenido de cemento de 125 kg, se obtiene una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² a los 90 días de edad, lo que significa una disminución en el consumo del 50% de cemento y una notable reducción en cuanto a costos.

Otra ventaja muy importante es la reducción en el tiempo de construcción, que fue del 50% también.

Entre 1987 y 1988 se inició la construcción de dos obras más en el País. La primera se encuentra ubicada en el estado de Jalisco, se trata de la presa "Trigomil" con una altura de 100 m, en la que se compactó un volumen de concreto de aproximadamente 340,000 m³. La segunda obras es la presa propiedad del Consorcio Minero Benito Juárez "Peña Colorada", con una altura de 50 m, la cortina se cubrió en 500,000 m³ de concreto compactado con rodillo, lo que la hacía hasta el momento la de mayor volumen en México.

I.3.2.- Presa Trigomil

Partiendo de los trabajos realizados en el País con la construcción de la presa de pequeñas dimensiones denominada "La Manzanilla", misma que sirvió a nivel experimental para afinar las especificaciones y los procedimientos constructivos. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos inició los estudios de factibilidad hidrológica, con el objeto de ver la posibilidad de construir una nueva presa cuyo almacenamiento fuera el suficiente para garantizar las demandas de la zona de riego Autlán-El Grullo con una superficie de 18,025 ha, en el que utilizaría un sistema de riego por gravedad, después de los estudios realizados detalladamente se marcó la pauta para la construcción de una nueva presa de almacenamiento, a la que se dió el nombre de "Trigomil".

La presa "Trigomil" se localiza dentro del estado de Jalisco, situada a 21 km de la población Unión de Tula, asentada en la boquilla de la cuenca del río Ayuquila como punto intermedio entre las presas. "Tacotán" de

almacenamiento y aproximadamente a 30 km aguas abajo de esta obra se encuentra la presa derivadora "El Corcovado".

La cortina de la presa como ya se hizo mención tiene una altura desde el lecho del río hasta la corona de aproximadamente 100 m, el ancho de la corona es igual a 5 m y una longitud de 250 m. Para el diseño de la cortina y el vertedor se consideró una avenida con un gasto de $3,540 \text{ m}^3/\text{seg}$, con un período de retorno de 10,000 años y un factor por sismo de 0.17, debido a que la región donde se localiza la presa "Trigomil" se considera como una zona sísmica y de esta forma estar dentro del factor de seguridad.

La situación topográfica que presentaba la obra a diferencia de otras del mismo tipo, es su boquilla con taludes en forma de "V". La localización del banco de materiales para la extracción del agregado que se encontraba a 80 m sobre el nivel de la corona a 400 m de distancia en la ladera izquierda, hicieron posible formular una planeación en la que se utilizará el mínimo posible en acarreos de materiales al sitio de su colocación, por lo que se consideró un transporte mediante bandas y tuberías de los almacenamientos a la planta mezcladora del concreto y por último a la obra.

El proyecto de la presa "Trigomil" representa el primero de importancia que se edifica en el País con la aplicación de un novedoso procedimiento constructivo como lo es el concreto compactado con rodillo, el cual ofrece amplias perspectivas de continuarse utilizando en mayor número de obras por las ventajas que brinda tanto económicamente como en el mayor rendimiento para su ejecución, no sólo en presas, sino también en diversas estructuras, como pavimentos, rellenos masivos, cimentaciones, diques, etc.

CARACTERISTICAS DE LOS
MATERIALES DEL CCR.

II.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DEL CCR

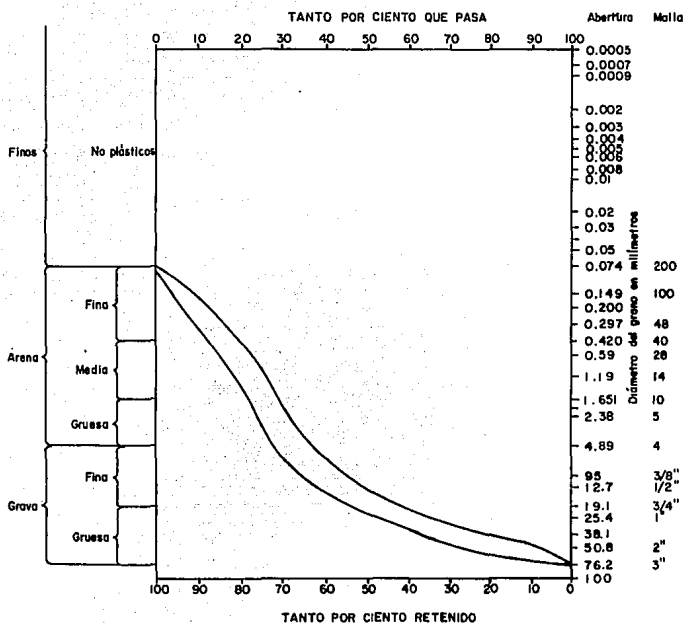
El concreto compactado con rodillo, se obtiene de la mezcla de grava, arena, finos no plásticos o cenizas volantes, cemento y agua, tiene un revenimiento de cero lo que hace que difiera del concreto convencional principalmente en su consistencia. El contenido de agua se determina en función a la mayor manejabilidad o trabajabilidad del concreto, ya que su exceso propiciará que éste se adhiera al rodillo compactador y su escasez provocaría fallas locales por cortante, al no hidratarse totalmente el cemento.

Para una consideración efectiva, el CCR deberá ser lo suficientemente seco para soportar el peso del equipo vibratorio, pero suficientemente húmedo para permitir una distribución adecuada del cementante a lo largo de la masa durante el mezclado y el proceso de vibrado.

Los materiales que se utilizan en la producción del CCR deben cumplir las especificaciones y requisitos mínimos que estipulan las normas locales, con el objeto de obtener un producto de calidad.

II.1.- MATERIALES PETREOS

Los agregados para concreto compactado con rodillo son materiales pétreos clasificados como grava, arena y cenizas volantes, los agregados pueden ser producto de la explotación de depósitos naturales en los cauces de ríos, o bien, producto de la explotación y la trituración de canteras de roca. Las gravas y arenas se almacenan clasificadas, separándolas de manera que no se mezclen entre sí, a fin de obtener la granulometría de proyecto. Fig. 2.1.



**FIGURA 2.1.- GRANULOMETRIA TIPICA DE LOS AGREGADOS
PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.**

La selección y control de la granulometría de los agregados son factores importantes que influyen en la calidad y propiedades del CCR, aunque los requerimientos de calidad de los agregados utilizados en el concreto no se ven directamente apoyados por los requerimientos de resistencia del concreto, la variabilidad del agregado si afecta significativamente las necesidades de agua y cemento de la mezcla que, a su vez altera la resistencia y la fluidez. La granulometría ideal para cubrir las demandas mínimas de la pasta será la que produzca la máxima densidad varillada en seco con la mínima área de la superficie, pero además tomando en cuenta los estudios efectuados por la Dirección de Ingeniería Experimental, dependiente de la Dirección General de Irrigación y Drenaje, ambas pertenecientes a la SARH, la granulometría estudiada debe estar complementada con un porcentaje de finos no plásticos que pueden ser cenizas volantes o limos, la proporción de estos materiales tentativamente está entre 5 y 6% en peso, la utilización de estos agregados es requerida para desalojar la mayor cantidad de vacíos que ayudará a contrarrestar la permeabilidad del concreto.

En las estructuras de grandes volúmenes de concreto, la experiencia de usar falsos requerimientos de alta resistencia aumenta innecesariamente el costo de la estructura y es un factor importante de los problemas de agrietamiento asociado, con el calor de hidratación del cemento.

En el informe del comité 207 del American Concret Institute, "Mass Concrete For Dams and other Massive Structures". Se hizo un análisis completo de los agregados para el concreto en el que se describe como sustancias deletéreas "las que ya sea juntas o separadamente hacen imposible lograr las propiedades requeridas del concreto cuando se emplean proporciones normales de los

componentes". Algunas de las sustancias deletéreas, tales como las que son más finas que pasan la malla No. 200, algunos materiales friables, etc., en cantidades que se aproximan al límite superior como se especifica en la norma ASTM C 33 que afecta los requerimientos de agua (y por lo tanto la resistencia) en mezclas plásticas comunes pueden no ser perjudiciales en las mezclas rígidas requeridas para el CCR sin embargo, se deben evitar los sílices y la mica, que pueden contribuir a la expansión incontrolada y a otros efectos indeseables. En muchas presas los requerimientos reales de resistencia, como se analiza en el diseño de secciones de gravedad pueden ser suficientemente bajos para permitir un incremento de varios puntos en el porcentaje óptimo de las sustancias deletéreas permitidas. Los límites para sustancias deletéreas cuando se aplica el rodillo de compactación debe ser establecido mediante pruebas. Estos límites se deben regular de acuerdo con su efecto en las propiedades del concreto requeridas para el tipo de estructura o de colado incluidos.

Los rodillos vibratorios grandes son capaces de compactar la roca tal como sale de la cantera en capas de hasta 60 cm de espesor para cortinas de enrocamiento.

Las limitaciones en el tamaño del agregado son incontrolables debido a la escasez del equipo de compactación adecuado. En el caso de los agregados fabricados, los tamaños mayores de 3 pulgadas no parece redituár suficiente ahorro en el costo de material como para compensar el costo adicional de dosificación y los costos que ocasiona el tratamiento de los problemas de segregación relacionados con agregados más grandes.

Cuando las capas de colado son mayores que tres veces el tamaño máximo de agregado, el tamaño tiene poca influencia en la capacidad de compactación de

la clase del equipo de vibrado utilizado en la actualidad para los enrocamientos compactados con rodillo. El tamaño del agregado sí influye en la capacidad de compactación del equipo menor de rodillo vibratorio que se emplea normalmente para compactar materiales adyacentes a estructuras, estos rodillos de menor tamaño no parecen ser muy eficaces para compactar mezclas con tamaño máximo de agregado de 3 pulgadas (76 mm), pero resultan efectivos para compactar mezclas con tamaño máximo de agregado de 1½ pulgadas (38 mm) en capas de hasta 30 cm, los agregados mayores de 1½ pulgadas (38 mm) tienen más tendencia a segregarse cuando se depositan; ésto debe tomarse en cuenta tanto al seleccionar el equipo de transporte y dispersión como al determinar el procedimiento de colocación y diseminación que dispersarán uniformemente los agregados separados sobre el concreto sin compactar. Los depósitos segregados, si no se corrigen, son difíciles de compactar totalmente, pues no existe suficiente cantidad de mezcla en el recubrimiento del concreto para llenar los espacios que deja la segregación. Cuando el costo del material es un factor importante en la selección del tamaño máximo de agregado, se debe considerar el costo del control de la segregación o tomar en cuenta las consecuencias de ésta al determinar los requisitos de resistencia, adherencia y permeabilidad.

Cuando se colocan grandes volúmenes de concreto, el control del calor de hidratación puede ser de mayor importancia que los costos de selección de tamaño máximo de agregados. Mientras la diferencia en los requisitos del cemento para tamaños de agregado de 1½ a 3 pulgadas (38 a 76 mm) sea menor en el concreto sin revenimiento que en el concreto con revenimiento normal, hay todavía un ahorro de aproximadamente 15% cuando se usa el tamaño más grande, asimismo, ésto da como resultado una reducción exacta del 15% en el

calor de hidratación. Cuando se usen puzolanas a su máximo alcance práctico para reducir la generación de calor, puede no estar justificado un 15% adicional en la reducción de calor lograda por el uso de agregados mayores a 3 pulgadas (76 mm), ya sea con base en la reducción del calor o en el ahorro en el costo del material.

La granulometría de los agregados no es tan esencial para lograr la compactación en el CCR como en el concreto convencional, pero sí afecta la compactabilidad relativa del concreto y puede intervenir en el número de pasadas con el rodillo necesarias para la compactación total de una capa, de igual forma afecta las cantidades de agua y materiales cementantes requeridas para llenar los huecos y proteger las partículas del agregado que dará como resultado un volumen de concreto más sólido. La granulometría óptima para cubrir los requisitos mínimos de pasta, se obtiene tomando como parámetro las pasta que produzca la máxima densidad varillada en seco en la mínima área de la superficie, en el que la granulometría de los agregados finos tienen la mayor influencia, si se desea emplear la diferencia entre agregados finos y gruesos.

II.1.1.- Agregados Gruesos (Gravas)

El proporcionamiento de agregados gruesos depende de los resultados de la unión de huecos entre agregados, del área de la superficie y la forma de las partículas. El contenido de huecos se puede mantener dentro de los límites, cuando la granulometría se controla mediante cribado y distribución de agregados en diversas fracciones de tamaño.

La densidad varillada en seco se incrementa con el tamaño máximo de agregados en tanto que el contenido de huecos y la superficie total de los agregados combinados disminuyen. Por último la forma de las partículas de los agregados fabricados está controlada por las características de estratificación de la roca y por el tipo de trituradora. La compactibilidad se incrementa con agregados de forma redondeada o cúbica y disminuye con los de forma plana.

En la granulometría escalonada, la graduación ideal se logra generalmente proporcionando el grupo de tamaño máximo con 50 a 75% de agregado grueso y manteniendo el intervalo entre granulometrías en el grupo de tamaño próximo inferior, de preferencia, en los dos grupos de tamaño próximo inferior. Sin embargo se debe tener en cuenta la segregación del agregado durante el manejo del mismo que tiende a incrementarse cuando aumenta el tamaño máximo y las proporciones del agregado, lo que requerirá un incremento en las proporciones del agregado más pequeño para reducir la separación de materiales.

Para cualquier granulometría o tamaño máximo de agregado que produzca una consistencia sin revenimiento puede ser establecido proporcionando la parte de mortero necesaria para obtener la resistencia requerida aproximada y ajustando las proporciones de agregado grueso y mortero hasta lograr un revenimiento de cero. Las proporciones de agregado fino, material cementante y agua deben permanecer en una relación fija durante esos ajustes. Las proporciones obtenidas para el revenimiento de cero son también el límite del volumen del mortero, para medir la consistencia y a fin de determinar el tiempo mínimo de vibración requerido para compactar completamente el concreto. Manteniendo la composición del mortero constante, aumentese el volumen de agregado grueso, disminúyase el volumen de mortero en proporciones iguales y

verifíquese el tiempo de vibrado para lograr la compactación total. El límite inferior del volumen de mortero para la consistencia se reconocerá cuando el incremento en las proporciones de agregado grueso de por resultado una disminución sustancial de la densidad para un esfuerzo de compactación dado. La consistencia deseada para la mezcla debe estar aproximadamente en el punto medio entre éstos dos límites del volumen del mortero.

II.1.2.- Agregados Finos (Arenas)

El contenido de huecos del agregado fino fluctúa normalmente entre el 34 y el 42% determinado en la medición del peso varillado en seco, sin embargo, existe ineficiencia de las mediciones por lo que el contenido real puede ser menor, el cual será ocupado por los contenidos de cemento, puzolanas, aire y agua requeridos para lograr un volumen sólido que envolverá todas las partículas del agregado. El volumen mínimo de pasta puede determinarse con las curvas de densidad máxima, en forma muy parecida a como se determina el contenido óptimo de humedad para los suelos. El procedimiento es como se indica a continuación: de acuerdo a los requerimientos para la relación agua-cemento o para la relación agua total de materiales cementantes para la mezcla, se añaden agregados finos en iguales proporciones y se mide la densidad de los especímenes después de aplicar vibración prolongada, se gráfica la densidad en función de los volúmenes calculados de pasta; el volumen de pasta que produce la densidad máxima puede entonces determinarse con especímenes de mortero. Este volumen de pasta como una relación del volumen total de mortero debe incrementarse del 5 al 10% al proporcionar mezclas masivas. Para mezclas especiales diseñadas como mezclas de desplante para juntas de construcción o juntas frías, esta relación del volumen mínima de pasta debe incrementarse de

un 20% a un 25%. En zonas en las que las puzolanas no son fácilmente accesibles puede ser más económico y beneficioso mezclar arenas o introducir finos de origen mineral para reducir los huecos entre agregados finos.

II.2.- CEMENTOS Y PUZOLANAS

En la fabricación del concreto compactado con rodillo se puede emplear cualquier tipo de cemento básico, su selección se basa en los requisitos estructurales y no en el método de colado y compactación del concreto. Para seleccionar el tipo de puzolana, la elección de ésta debe basarse en su comportamiento en el concreto requerido para la obra, de acuerdo con las pruebas pertinentes. La disponibilidad de una puzolana que cumpla con los requisitos necesarios puede ser la base para decir si se utiliza o no. La diferencia fundamental en la selección y el proporcionamiento de los cementos y las puzolanas que se emplean en el concreto compactado con rodillo y los utilizados en concreto para fines estructurales normales radica en el empleo de mayores volúmenes de puzolanas y menos importancia del efecto de éstas en la trabajabilidad. Las puzolanas no sólo ocupan espacio, sino que también contribuyen al desarrollo de la resistencia.

La resistencia del concreto depende primordialmente de las proporciones de cemento, puzolana y agua. El tipo de cemento tiene un importante efecto en la velocidad de hidratación y en la velocidad de desarrollo de resistencia, por lo tanto influye significativamente en la resistencia a edades tempranas.

Después de los 28 días, disminuyen las contribuciones de resistencia de los diversos tipos de cementos, al tiempo que los cementos que tienen el desarrollo

más lento de resistencia producen finalmente resistencias más altas. A menudo se observa tanta diferencia en la resistencia de un mismo tipo de cemento, pero distintas fábricas como la que existe entre cemento de diferente tipo. Por esta razón, no existe una tabla o gráfica que se pueda utilizar para asegurar la resistencia sin ser demasiado conservadores. Para la mayoría de los cementos tipo I y II, la Figura 2.2 se puede aplicar para dosificar concreto de una misma resistencia con diversas proporciones de cemento y ceniza volante. Asimismo, se puede utilizar con puzolanas que no sean cenizas volantes; sin embargo, la forma de partícula de otras puzolanas que no sea ceniza volante generalmente no es favorable para la cantidad reducida de agua que corresponde a la ceniza volante. Así pues la máxima relación puzolana-cemento (F/C) aplicable se limitará a un valor máximo de 2 para puzolanas que no sean ceniza volante. La demanda de agua para un grupo determinado de materiales también limitará la relación $W/(C+F)$ mínima utilizable. Las mezclas con ceniza volante se han usado con las relaciones máximas F/C y las relaciones mínimas $W/(C+F)$ de la Figura 2.2. Sin embargo, debe esperarse un incremento en la rigidez de la mezcla al disminuir la relación (F/C).

II.3.- CONSISTENCIA

La consistencia del concreto compactado con rodillo, difiere del concreto convencional principalmente por su apariencia seca, particularmente cuando éste contiene agregados de más de 38 mm de tamaño máximo. Creando problemas de adherencia del concreto fresco, con el duro debido a la separación de materiales. Las investigaciones en el campo y el laboratorio han demostrado que el problema se resuelve reduciendo la segregación del C.C.R. durante su

transportación y colocación mediante el uso de una mezcla especial de alta plasticidad para empezar el colado del concreto.

El aspecto que muestra el concreto presenta poca evidencia de la presencia de cualquier pasta en la mezcla hasta que se compacta. Todas las mezclas granulares de este tipo se podrán compactar totalmente a la máxima densidad alcanzable, mediante vibración suficiente; sin embargo, el esfuerzo vibratorio requerido para ésto es mucho mayor que el requerido para un concreto de revenimiento medible. Se puede usar cualquier método de vibración de aplicación externa que sea suficiente para compactar totalmente este concreto. El tiempo de compactación se puede utilizar como una medida de la consistencia del concreto y la eficacia del equipo de compactación, aunque no hay datos disponibles en lo que se refiere a tiempos de vibración ideales o prácticos para trabajar con CCR, las investigaciones indican que el equipo aceptable de vibración debe ser capaz de compactar totalmente las proporciones más duras dentro de 60 seg. para un amplio rango de proporción de mezcla. Entonces, las mezclas más trabajables y menos duras serán totalmente compactadas en períodos más cortos de vibración, la máxima densidad accesible para una mezcla dada variará con el contenido de vacíos de los agregados y el mortero usado.

II.4.- EMPLEO DE ADITIVOS

Este material que se agrega como ingrediente al concreto inmediatamente antes o durante la mezcla proporcionando ventajas marcando su uso para mejorar el incremento de la trabajabilidad y retardar el fraguado para conservar "vivas" las capas compactadas de concreto masivo y evitar las juntas frías, particularmente durante climas cálidos. Tanto los aditivos inclusores de aire como los

reductores de agua y los restantes han sido utilizados habitualmente en dosis normales en la mayoría de las aplicaciones y colados de pruebas del CCR hecho hasta la fecha.

Las pruebas de laboratorio han indicado que dichos aditivos son eficaces para reducir el tiempo de vibrado requerido para lograr la compactación total del CCR, sin embargo la eficiencia de los aditivos inclusores de aire para la protección contra la congelación-deshielo del CCR y las dosis apropiadas que deben aplicarse en éste, son aún desconocidas. Requiriéndose programas de prueba que hagan posible establecer estos parámetros para su empleo.

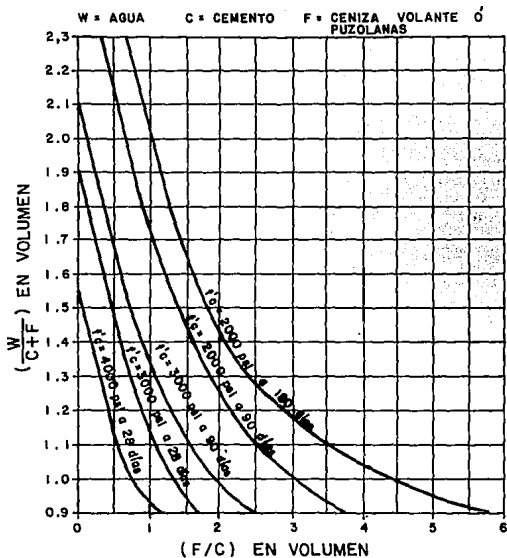


FIGURA 2.2. CURVAS DE PROPORCIONAMIENTO PARA -
CONCRETOS DE IGUAL RESISTENCIA A LA COMPRESION

FUENTE: ROLLER COMPACTED CONCRETE, A.C.I.

III

PROPIEDADES DEL
C C R.

III.- PROPIEDADES DEL CCR

Las propiedades fundamentales del concreto compactado con rodillo son las mismas que tiene el concreto convencional al endurecerse, estas propiedades son resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, capacidad de deformación por tensión, relación de Poisson, resistencia al cortante triaxial, cambios de volumen (térmico, por secado), coeficiente térmico de expansión, calor específico, conductividad térmica, difusividad, permeabilidad y durabilidad.

III.1.- RESISTENCIA A LA COMPRESION

Esta propiedad mecánica del concreto varía inversamente proporcional a la relación agua/cemento, por lo que no presenta ninguna dificultad la obtención de resistencias en este tipo de concreto sin revenimiento, siempre y cuando se trabaje con el agua suficiente para lograr la hidratación continua de todo el cemento.

Un ejemplo en el que se pueden observar los contenidos del cemento y las resistencias de éstos a diferentes edades, se muestran en los datos obtenidos de corazones extraídos de bordos de prueba contruidos en los Estados Unidos. Estos datos se expresan en la figura 3.1.1.

La resistencia a la compresión para un concreto compactado con rodillo debe basarse en edades aproximadamente de 6 meses a 1 año, puesto que no hay requisitos de resistencia a temprana edad a menos que la estructura se requiera poner en servicio. Aunque la edad a la que se pueda poner en servicio el

concreto para cumplir con los requisitos de resistencia en estructuras más delgadas puede ser hasta 7 días o aún menos.

Se ha llevado a cabo gran número de experimentos sobre especímenes de prueba moldeados a compresión para establecer procedimiento adecuado; los resultados ensayados indican una estrecha correlación entre las resistencias de los corazones y de los cilindros cuando el procedimiento de moldeado alcanza la compactación total. Esto último se puede lograr fácilmente mediante el vibrado prolongado en un cilindro sobre llenado.

Si el espécimen de prueba se fabrica mediante el empleo de una mesa vibradora o de un aparato de Vebe modificado, la compactación se completa cuando la pasta fluye hacia afuera de los bordos de una sobrecarga que se mantiene en la parte superior del concreto depositado en un molde cilíndrico. Se han empleado diversos pisones de mano, neumáticos y mecánicos para compactar especímenes de prueba, los más precisos son aquellos que proporcionan una presión de compactación de 2 kg/cm^2 , éstos son los más recomendables a utilizar.

III.2.- RESISTENCIA AL CORTANTE

Las pruebas de resistencia al cortante no confinadas, desarrolladas de acuerdo con "CRD C 89, Method of Test for Longitudinal Shear Strength, Unconfined, Single Plane", no revelan diferencias significativas entre las propiedades de cortante del concreto compactado con rodillo y las del concreto común.

El tratamiento de las juntas ha sido siempre un problema importante en el colado del concreto común, y del concreto compactado con rodillo, por esta

razón se toman consideraciones especiales en las juntas de concreto compactado con rodillo, como son: la limpieza y escarificación de la superficie con chiflón de aire-agua a presión y la aplicación de mezcla rica en cemento para asegurar buen ligue entre capas.

Por lo general, sin ser una regla la resistencia al contante no confinado, varía entre un 20% y un 25% de la resistencia a la compresión, como se puede apreciar en la tabla 3.2.1.

III.3.- CAPACIDAD DE DEFORMACION

Las deformaciones en el concreto se pueden desarrollar debido a reducciones del volumen inducidas por el secado y la contracción, así como por la congelación del concreto. Si la deformación inducida es por tensión y excede de la capacidad de deformación del concreto, ocurrirá agrietamiento.

Los factores que afectan a la capacidad de deformación son: el tipo de agregados, las características de su forma (anguloso, como el que se produce por trituración, en contraposición con el redondeado por medios naturales) y el contenido de cemento. Generalmente los agregados duros y quebradizos, como la argillita y la cuarcita, producen baja capacidad de deformación. La trituración, o la adición de material triturado, mejorará la capacidad de deformación. El aumento del contenido de cemento desarrollará la capacidad de deformación al incrementar la resistencia a la tensión, pero esta mejoría suele ser contrarrestada por los problemas de disipación de calor causados por el aumento de calor que se genera debido al alto contenido de cemento.

La capacidad de deformación del CCR no debería ser distinta de la del concreto convencional con el mismo contenido de material cementante, sin embargo, debe esperarse que la capacidad de deformación de la mayoría de los CCR sea baja, porque por lo general éstos están elaborados con dosificaciones de cemento más bajas y/o con mayor sustitución de cemento por puzolana.

III.4.- CAMBIOS VOLUMETRICOS

El cambio de volumen al que está expuesto el concreto compactado con rodillo es debido a la pérdida de humedad o a la contracción por secado, por la cantidad y el tipo de cemento y puzolana, así como los agregados y el contenido de humedad.

La probabilidad de cambios de volumen debidos a la pérdida de humedad o a la contracción por secado es muy baja en el CCR puesto que tiene mucha menos agua de mezclado que el concreto común. La superficie está sujeta al secado, como ocurre con todos los concretos, pero también existe menos pasta en la superficie y más restricción debida al mayor volumen de agregado. El principal efecto del secado de la superficie sería el microagrietamiento de la pasta alrededor de las partículas de agregado. La contracción por secado se ve además afectada por la relación agua/ cemento. Si la pasta no es lo bastante densa, o si la compactación no es suficiente para impedir o restringir el desplazamiento de la humedad, las grietas por contracción de la superficie terminarán por penetrar en el peralte.

El cambio de volumen autógeno de una mezcla de concreto es afectada por la cantidad y el tipo de cemento y puzolana que ésta contiene. Los estudios

realizados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U.A. indican que dicho cambio aumenta con el incremento en el contenido de material cementante y en su finura. Generalmente, las puzolanas naturales producen mayores cambios de volumen autógeno en el concreto que en la ceniza volante o el cemento portland puro.

Las propiedades térmicas del concreto se ven influenciadas significativamente por el tipo de agregados del concreto y el contenido de humedad. La probabilidad de un cambio de volumen debido a la disipación del calor de hidratación, puede reducirse considerablemente con el CCR.

III.5.- PROPIEDADES ELASTICAS

Los principales factores que afectan las propiedades elásticas del concreto compactado con rodillo son la edad, el tipo de agregados y la relación agua/cemento o calidad de pasta.

El módulo de elasticidad del concreto aumenta con la edad y con el incremento en el contenido de cemento como se puede apreciar en la figura 3.5.1.

El aumento en las proporciones del agregado relacionado con el CCR y el consiguiente incremento en la densidad deben acrecentar el módulo de elasticidad para un tamaño máximo de agregado dado, siempre que la mezcla tenga suficiente pasta. Si el volumen de pasta no es bastante, la densidad disminuirá con el aumento en cavidades de aire. En estas condiciones, el módulo de elasticidad no sólo se verá afectado por la pérdida de densidad, sino también por la discontinuidad de la pasta por toda la masa de concreto, y será

razonable esperar que disminuya en proporción al aumentar el contenido de huecos.

III.6.- PERMEABILIDAD

La permeabilidad de una masa de concreto depende en gran medida del sistema de cavidades de aire atrapado, por lo tanto, está casi totalmente controlada por el proporcionamiento de la mezcla y por el grado de compactación. Cuando hay suficiente pasta para reducir al mínimo el sistema de cavidades de aire, y el equipo de compactación es capaz de compactar por completo la masa, el CCR resultará relativamente impermeable. El agrietamiento y las juntas frías representan los medios más frecuentes de filtración de agua a través de cualquier tipo de concreto; debido a esto es importante que la pasta de CCR que cubre las juntas frías tenga un exceso de material cementante que adhiera y selle la junta, para impedir la filtración.

III.7.- DURABILIDAD

La durabilidad del concreto compactado con rodillo se evalúa con base en su resistencia al intemperismo, a la erosión y al desgaste, así como al ataque de sustancias químicas.

La resistencia del concreto al ataque del intemperismo (o congelación-deshielo) depende del contenido de aire incluido, así como de la resistencia a la congelación del agregado. La eficiencia de los agentes inclusores de aire para introducir aire en el concreto, depende en gran medida del contenido de agua de las mezclas para CCR parece ser demasiado bajo para aceptar una inclusión

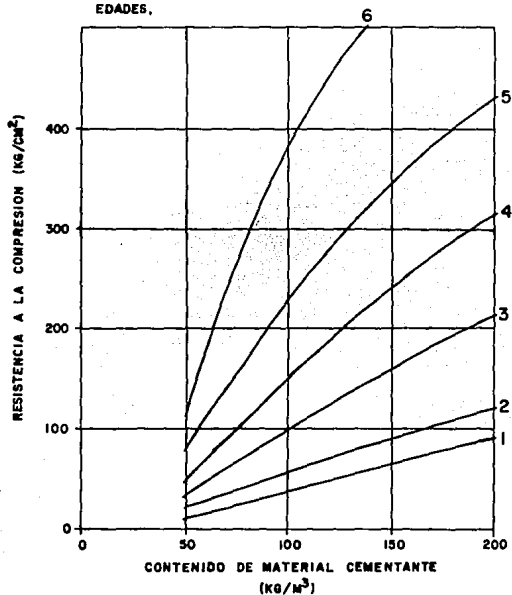
de aire eficaz, las dosis normales de agentes si producen una ligera reducción en los requerimientos de agua para lograr una compactación completa a un nivel determinado de compactación. Por lo tanto, parece existir cierto grado de eficacia, aún cuando las densidades compactadas no reflejen aumento en los contenidos de aire.

La resistencia al desgaste se beneficia al aumentar la resistencia del concreto, con el uso de tamaños máximos de agregados más pequeños y con texturas más suaves de la superficie.

Los estudios sobre erosión realizados han demostrado que un concreto compactado con rodillo con tamaño máximo de agregado de 1½ pulgadas (38 mm) es resistente a la erosión cuando está sometido a una velocidad del agua hasta de 20 m/seg.

En cuanto a la resistencia al ataque de sustancias químicas, no se han llevado a cabo estudios ni experimentos relacionados con esta resistencia, sin embargo los factores principales que rijan la resistencia al deterioro a consecuencia de sustancias químicas deben ser muy semejantes a los del concreto convencional.

FIGURA 3.1.1.- CONTENIDO DE CEMENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO A DIFERENTES EDADES.



EDADES DE PRUEBA	
1	3 DÍAS
2	7 DÍAS
3	28 DÍAS
4	90 DÍAS
5	1 AÑO
6	5 AÑOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION	RESISTENCIA AL CORTANTE
162 KG/CM ²	39 KG/CM ²
181 "	18 "
231 "	57 "
232 "	45 "
262 "	49 "

TABLA 3.2.1. LA RESISTENCIA AL CORTANTE AUMENTA CON EL INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION.

CONTENIDO DE CEMENTO (KG/M ³)	E D A D (DIAS)	MODULO DE ELASTICIDAD (KG/M ²)
60	3	0.22
	7	0.49
	28	0.92
	90	1.51
	365	1.81
120	3	0.95
	7	0.92
	28	1.55
	90	1.74
	365	2.36

TABLA 3.5.1. EL MODULO DE ELASTICIDAD AUMENTA CON EL CONTENIDO DE CEMENTO Y CON EL TIEMPO.

NOTA: MEZCLA CON T.M.A. DE 3 PULGADAS.

FUENTE: ROLLER COMPACTED CONCRETE, A.C.I.

IV

DESCRIPCION DEL PROYECTO
(PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.).

IV.- DESCRIPCION DEL PROYECTO (PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.)

IV.1.- OBJETIVO

El objetivo principal del proyecto "San Lázaro", es pretender aprovechar los escurrimientos del arroyo El Guaje, principal afluente del arroyo San Lázaro, el beneficio se obtuvo por medio de una presa de almacenamiento cuya finalidad es la de propiciar la recarga del acuífero local y controlar las avenidas que se generan en la cuenca del mencionado arroyo.

IV.2.- LOCALIZACION

La presa "San Lázaro", se localiza aproximadamente a 19 km al noroeste del poblado San José del Cabo, sobre el arroyo El Guaje, principal afluente del arroyo San Lázaro, al cual confluye por la margen derecha después de un recorrido de aproximadamente 7 km medidos a partir del sitio del proyecto, figura 4.2.1.

La cuenca del arroyo San Lázaro tiene un área de 190 km² y está ubicada en la parte sur de la península de Baja California, en la llamada región del Cabo, siendo éste último de los arroyos de importancia formadores del arroyo San José, al cual confluyen por margen derecha. El arroyo San José tiene un área de cuenca de 1,250 km² y al sitio del proyecto se tiene un área de cuenca de 106 km².

Su fisiografía está constituida por las sierras de San Lorenzo y San Lázaro por la margen derecha y por la margen izquierda las formaciones son de pequeña

magnitud y corresponden a la vertiente occidental de la Sierra Venado, que se observa en la figura 4.2.2.

IV.3.- DATOS DEL PROYECTO

ELEVACION DEL FONDO DEL CAUCE	273.0 m.s.n.m.
ELEVACION A LA CAPACIDAD DE AZOLVES	295.4 m.s.n.m.
ELEVACION AL NIVEL DE CONSERVACION	299.10 m.s.n.m.
ELEVACION DE LA CRESTA VERTEDORA	299.10 m.s.n.m.
ELEVACION AL NAME	305.68 m.s.n.m.
CAPACIDAD DE AZOLVES	$3.0 \times 10^6 \text{ m}^3$
CAPACIDAD AL NIVEL DE CONSERVACION	$5.0 \times 10^6 \text{ m}^3$
CAPACIDAD UTIL	$2.0 \times 10^6 \text{ m}^3$
SUPERALMACENAMIENTO	$5.7 \times 10^6 \text{ m}^3$
CAPACIDAD AL NAME	$10.7 \times 10^6 \text{ m}^3$
CARGA MAXIMA SOBRE EL VERTEDOR	6.58 m

GASTO MAXIMO DE SALIDA	2,579.43 m ³ /seg
LONGITUD DE LA CRESTA VERTEDORA	75.0 m
AVENIDA MAXIMA PROBABLE (TR = 10,000 AÑOS) TRANSITADA	3,600 m ³ /seg
ALTURA DE LA CORTINA AL NAME	32.68 m

IV.4.- ESTRUCTURAS RELEVANTES DEL PROYECTO

IV.4.1.- Cortina

La cortina de gravedad, se integra con la obra de desagüe y el vertedor. (ver anexo no.1).

El análisis de la sección de gravedad se hizo mediante un programa de computadora para las diferentes condiciones de carga, vacía y llena, ambas con sismo y sin sismo.

Aguas arriba se consideró un talud vertical y aguas abajo un talud de 0.80:1.

Los resultados del análisis de esfuerzos en secciones horizontales a diferentes elevaciones, mostraron la presencia de tensiones en el talud de aguas arriba, para eliminarlas, se tuvo la necesidad de un cambio de talud a la elev. 298.70 m. resultando uno de 0.24:1 a partir de este punto, hasta el desplante.

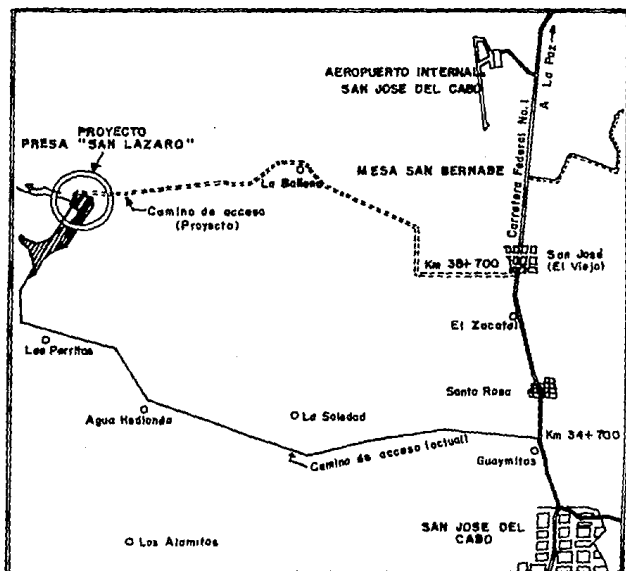
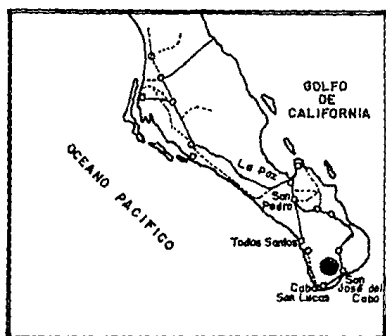
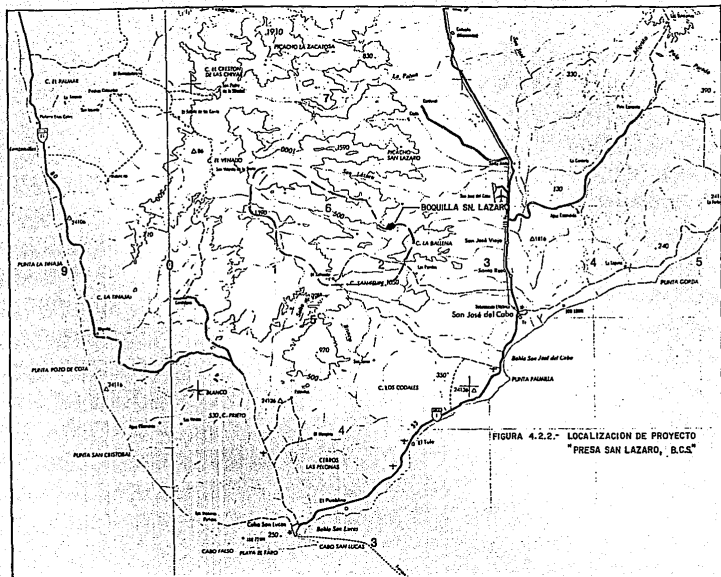


FIGURA 4.2.1. CROQUIS DE LOCALIZACION PROYECTO PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.



De acuerdo con el análisis, fue necesario disponer de una resistencia a la compresión en el concreto de 100 kg/cm^2 . para cumplir con los esfuerzos de trabajo.

En el talud de aguas arriba se consideró como revestimiento, piezas prefabricadas de concreto similares a las usadas en la presa La Manzanilla, que constituyen una cimbra permanente autosoportada para la colocación del concreto en la cortina, figura 4.5.6.1.

Entre estas piezas y el CCR, se colocó una zona de concreto convencional de espesor variable de 1.50 m. en la parte baja a 0.50 m. en la parte alta, para formar una pantalla impermeable, simultáneamente a la colocación del CCR como se muestra en la figura 4.5.6.1., en el talud de aguas abajo, se dejó que éste adoptara su talud natural de reposo que se estimó de 0.8:1; sin embargo, finalmente se optó por colocar formas (escalonadas) para dar el talud de diseño ya que no se logró con el CCR

De los $51,866 \text{ m}^3$. de concreto total, $39,300 \text{ m}^3$ son de CCR lo que equivale al 76% y los $12,566 \text{ m}^3$. restantes, son de concreto masivo y reforzado convencional.

IV.4.2.- Vertedor

La parte central de la cortina es vertedora de cresta libre, de 75 m de longitud, diseñada para un gasto de máximo de descarga de $2,580 \text{ m}^3/\text{seg}$, que corresponde a un gasto máximo probable de entrada al vaso de $3,600 \text{ m}^3/\text{seg}$ para un período de retorno de 10,000 años, y está formado por un cimacio que

descarga sobre el talud de aguas abajo, muros de encauce y cubeta deflectora. Tanto la zona de la cresta como la cubeta, es de concreto masivo convencional, en tanto, la losa del canal de desagüe y los muros de encauce son de concreto convencional reforzado, debidamente anclados en el CCR de la cortina. (ver anexo no. 1).

IV.4.3.- Obra de Desagüe

La obra de desagüe se aloja en el cuerpo de la cortina en la margen izquierda, precisamente a un costado del vertedor, está constituido por una estructura de sección rectangular como conducto en el que se aloja el umbral de rejillas en el paramento aguas arriba y en su interior dos compuertas deslizantes de 61x91, la descarga se hace por medio de un canal en el que se utiliza el muro del vertedor y un muro de menor dimensión para formar el encauce del canal y en la salida se presenta la formación de una cubeta deflectora, la estructura está diseñada para un gasto de 1.0 m³/seg. (ver anexo no.1).

IV.4.4.- Galerías de Inspección y Drenaje

Las galerías necesarias para inspección y drenaje en el cuerpo de la cortina, se formaron dejando los huecos mediante rellenos con los mismos agregados usados para la elaboración del CCR, sin cemento ni agua, estos agregados se removieron posteriormente y las galerías quedaron formadas y se dejaron con el CCR aparente (sin revestir). (ver anexo no.1).

IV.5.- CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.

El proceso de fabricación de concreto convencional y concreto compactable para la presa San Lázaro, comienza desde la selección de las fuentes para obtener los materiales que los forman, esto es, agua, cemento, agregados, limo o ceniza volante; continúa con una serie de actividades que comprende desde el acondicionamiento de los materiales, dosificación, mezclado, transporte, colocación, acabado y curado de los concretos que cumplan con las especificaciones establecidas.

IV.5.1.- Banco de Materiales Pétreos

En el diseño de la presa San Lázaro se consideró una cortina rígida, a base de concreto compactado con rodillos; por tal motivo, se procedió a la localización de bancos de agregados, encontrándose bancos de grava y arena naturales de río, en volúmenes muy por abajo de las necesidades de la obra, por lo que para completar el volumen de agregados requeridos se localizaron bancos de roca para triturar. El banco estudiado fue: El Quemado, siendo éste el que se empleó en la obra.

Con objeto de tener el complemento de la granulometría para el concreto compactado con rodillos, se localizaron bancos de limo y se estudiaron muestras de ceniza volante; las características de ambos materiales se consignan en este estudio. (Ver anexo No. 2).

IV.5.2.- Cemento

Se estudiaron dos tipos de cementos, el cemento portland con puzolanas marca Guadalajara y el cemento portland tipo II marca Tolteca, optándose por el primero para la elaboración de los concretos requeridos para el desarrollo del proyecto.

IV.5.3.- Agua

Se tomó una muestra de agua del arroyo San Lázaro, aunque éste no conduce residuos de procesos industriales ni desechos provenientes de las descargas de aguas negras; se estimó necesario verificar su calidad en relación con su aplicación como agua de mezclado para el concreto.

IV.5.4.- Diseño de Mezclas

En términos generales el banco seleccionado presentó condiciones favorables para suministrar agregados de buena calidad y en granulometría completa, esto es, con todos los tamaños necesarios para satisfacer los requerimientos de los concretos convencionales, por lo que se usaron las siguientes mezclas:

Para el desplante en general el proporcionamiento para 1 m³ de concreto con una resistencia a la compresión de 100 kg/cm². y tamaño máximo de agregados de 38.1 mm (1½").

CEMENTO	220 kg
ARENA	930 kg

GRAVA 1	373 kg
GRAVA 2	558 kg
AGUA	220 lt

Para el concreto de revestimiento del vertedor se determinó una resistencia a la compresión de 200 kg/cm², con tamaño máximo de agregados de 38.1 mm (1½"), con el siguiente proporcionamiento para un m³ de concreto convencional.

CEMENTO	350 kg
ARENA	866 kg
GRAVA 1	316 kg
GRAVA 2	520 kg
AGUA	210 lt

Finalmente el proporcionamiento para un m³ de concreto con revenimiento cero, para una resistencia a la compresión de 100 kg/cm², con grava triturada del banco de roca "El Quemado" (se anexa gráfica 4.5.4. curva granulométrica) y tamaño máximo de agregados de:

3 pulgadas (76.2 mm) CCR.

GRAVA 3	398 kg
GRAVA 2	366 kg
GRAVA 1	312 kg
ARENA	1,076 kg
LIMO	100 kg
AGUA	95 lt

CEMENTO

100 kg

1½ pulgadas (38 mm) concreto de liga

GRAVA 2

536 kg

GRAVA 1

536 kg

ARENA

1,072 kg

LIMO

120 kg

AGUA

84 lt

CEMENTO

120 kg

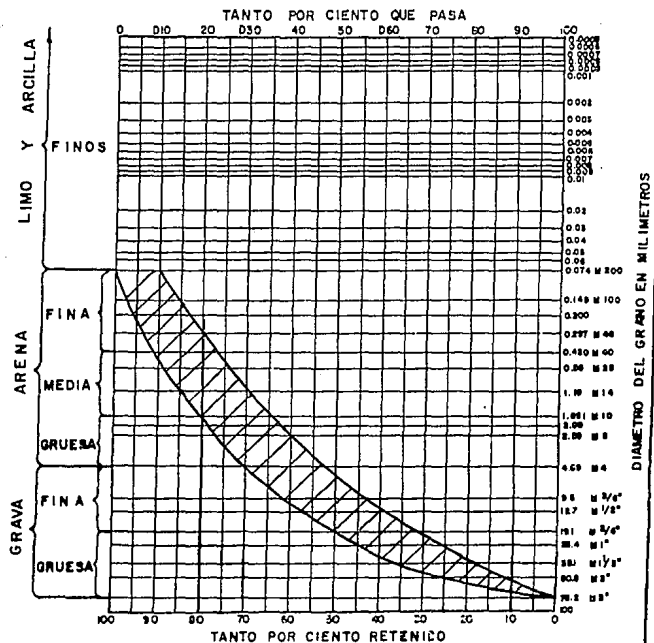
IV.5.5.- Bordo de Pruebas

Para verificar las características de las mezclas diseñadas para el CCR, fue necesario construir un bordo de prueba con las características que se mencionan en las Especificaciones Técnicas de Construcción que se incluyen en este capítulo, el bordo de prueba deberá reunir las condiciones de temperatura y viento similares a las que se presentarán en la colocación del CCR en la presa y que permitirá obtener los datos necesarios para establecer los procedimientos adecuados y evitar la pérdida exagerada de humedad en la colocación del concreto, así como observar el funcionamiento del equipo con que se cuenta para la construcción de las obras y prever las dificultades que se presentarán con las diferentes mezclas figura 4.5.5.

FIGURA 4.5.4.- CURVA GRANULOMETRICA DE AGREGADOS PARA LA ELABORACION DE C.C.R.

GRAFICA GRANULOMETRICA

Procedencia C.C.R. PRESA SAN LAZARO, B.C.S. Identificación de Lab.
 Banco Pozo Profundidad
 Muestra Est. Fecha



TOTAL, % Grava % Arena % Fines $C_u = D_{60}/D_{10}$
 PASA 4, % Arena % Fines
 D_{10} D_{30} D_{60} $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$
 Observaciones TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADOS 3"
 Operador Cálculo Fecha AGOSTO/1991

DIMENSIONES:

FORMAS PREFABRICADAS: LARGO 0.9 m, ANCHO 0.9 m.

BASE: LARGO 24.0 m, ANCHO 10.35 m.

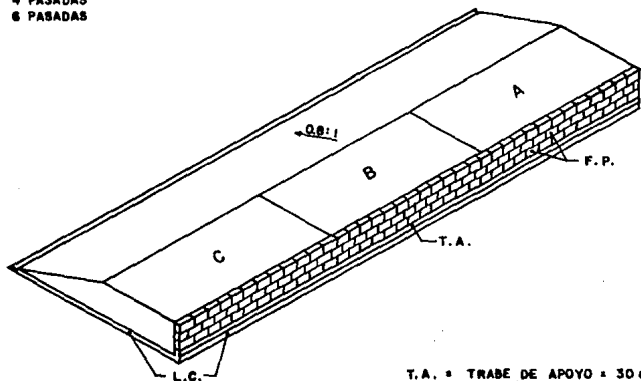
CORONA: LARGO 24.0 m, ANCHO IGUAL A DOS VECES EL DEL RODILLO
QUE SE UTILICE, CON UN TRASLAPE DE 40 cm.

ALTURA: 3.0 m.

A = 2 PASADAS

B = 4 PASADAS

C = 6 PASADAS



T.A. = TRASE DE APOYO = 30 cm.

L.C. = LOSA DE CONCRETO = 40 cm.

F.P. = FORMAS PREFABRICADAS.

FIGURA 4.5.5.- BORDO DE PRUEBAS DE LA PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

FUENTE: CONCURSO DE OBRA C.N.A. JUNIO-1993

IV.5.6.- Piezas Prefabricadas

Para que sirviera de cimbra en el talud de aguas arriba, se diseñaron las piezas prefabricadas tomando como base las empleadas en la construcción de la presa La Manzanilla, con algunas modificaciones en su refuerzo y además, se le colocaron drenes para evitar subpresión sobre ellas, cuando el vaso vaya en descenso figura 4.5.6.1.

IV.5.7.- ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONSTRUCCION PARA CCR

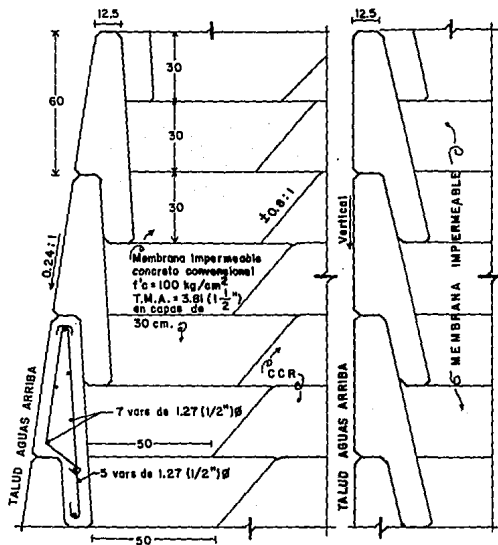
IV.5.7.1.- Generalidades

Especificaciones Técnicas

Es el conjunto de disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones que el contratante estipula para la ejecución de una obra y que el contratista se obliga a cumplir.

Contienen todas las estipulaciones relativas a los diversos conceptos de trabajo que intervienen en la ejecución de las obras, o sea, la definición de la obra que se requiere en cada concepto, las normas técnicas a que deberá sujetarse la ejecución, la forma en que se medirá el trabajo ejecutado y la base sobre la cual se pagarán al contratista las compensaciones a que tenga derecho.

Estas especificaciones técnicas amplían y en algunos casos, modifican a las "Especificaciones Generales" y a las de "Conceptos Principales de Trabajo".



NOTAS.- ACOTACIONES EN CENTIMETROS.

- EL ACERO DE REFUERZO SERA REDONDO, CORRUGADO CON $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, CON TRASLAPES DE 30 DIAMETROS.
- LA COLOCACION DEL CONCRETO CONVENCIONAL QUE SE HARA ENTRE EL C.C.R. Y LAS FORMAS PREFABRICADAS, SE DEBERA LLEVAR AL MISMO NIVEL DE COLOCACION DEL C.C.R.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

PROYECTO PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.

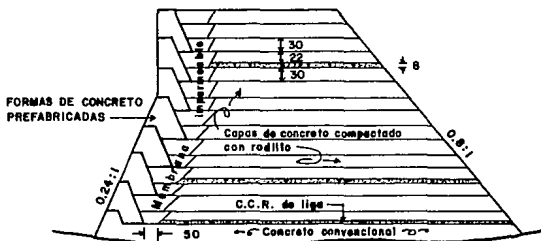
FORMAS PREFABRICADAS

ALUMNO: ESQUIVEL MALDONADO JORGE LUIS
 NO.DE CTA. 8306432-4

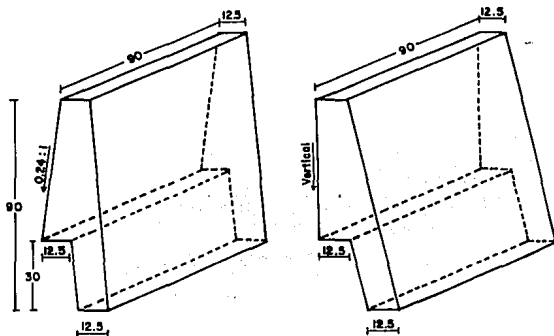
MEXICO
 1994

FIGURA 4.5.6.1.

HOJA : 2
 DE : 2



DETALLE DEL PROCESO DE COLOCACION
DE CAPAS DE CONCRETO RODILLADO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

PROYECTO PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.

FORMAS PREFABRICADAS

ALUMNO: ESQUIVEL MALDONADO JORGE LUIS
NO. DE CTA. 8306432-4

MEXICO
1994

FIGURA 4.5.6.1.

HOJA: 1
DE: 2

En caso de alguna contradicción entre las "Especificaciones Técnicas" serán éstas últimas las que tendrán validez en la construcción de las obras para la presa San Lázaro.

Su objeto es definir las obras cuya realización se pretende lograr en cada uno de los conceptos de trabajo que forman parte de los mismos y establecer las normas técnicas generales a las que deberá sujetarse la ejecución de esos conceptos de trabajo, de manera que permitan calificar la idoneidad de los resultados obtenidos.

Especificaciones Generales

Se refiere al conjunto de estipulaciones editadas por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en el año de 1962 y denominadas "Especificaciones Generales y Técnicas de Construcción" a las que se les designará como "Especificaciones Generales".

Especificaciones de Conceptos Principales de Trabajo

Se refiere al conjunto de estipulaciones editadas por la Subdirección de Construcción de la Dirección General de Grande Irrigación de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en el año de 1974 bajo el título "Conceptos Principales de Trabajo".

IV.5.7.2.- Bordo de Prueba

Antes de iniciar la colocación de material para la cortina, es necesario construir un bordo de prueba con las características siguientes:

LONGITUD	24 m
ANCHO DE CORONA	Dos veces el ancho del rodillo que se utilizará en la construcción de la presa con traslape de aproximadamente, 40 cm.
ALTURA	La correspondiente a la colocación y compactación de 10 capas, de 30 cm de espesor de material suelto.
SECCION TRANSVERSAL	El paramento de aguas arriba será vertical y el paramento de aguas abajo tendrá un talud de 0.8:1 según se muestra en la figura 4.5.5.
LOCALIZACION	El bordo se construirá en el sitio de la obra evitando que forme parte de la cortina o que interfiera en las actividades para la construcción de la misma. El lugar preciso será fijado por el ingeniero. Siempre aguas abajo de la cortina.

MATERIALES

Los materiales serán los mismos que se utilizarán en la construcción de la cortina, respetándose la granulometría y mezclas propuestas para la misma.

Tiempo de duración para la construcción del bordo.

Este se realizará mientras se termine la limpia de la boquilla, se obtengan los agregados necesarios estipulados para la construcción de la cortina y se prepare la superficie que servirá de apoyo al CCR.

El paramento vertical se construirá con las formas prefabricadas que se emplearán en la construcción de la cortina, las formas se manufacturarán previamente y se les dará el tiempo necesario para alcanzar la resistencia de proyecto. La forma se colocará conforme avance la construcción y se colocará concreto convencional de $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ entre la forma y el CCR en un ancho de 50 cm en la base, compactando este concreto convencional con vibrador de inmersión.

Procedimiento constructivo.

En el CCR el bordo será dividido longitudinalmente en tres zonas: A, B y C, según figura 4.5.5., las cuales se compactarán con 2, 4 y 6 pasadas respectivamente, con rodillo liso vibratorio autopropulsado, de 10 toneladas de peso, formando capas de 30 cm de espesor de material suelto.

Compactación.

- Compactación con rodillo liso vibratorio de la misma forma que se vaya a hacer en el cuerpo de la cortina.
- Compactación en las zonas en las que se efectuarán reparaciones mediante equipo de menor tamaño o de operación manual, mismo que será empleado para la construcción de la presa y sujeto a la previa aprobación durante la construcción del bordo.

Se colocará una capa intermedia de concreto convencional sobre la superficie de desplante, con un espesor de treinta centímetros, aproximadamente de tal forma que quede horizontal.

Se deberá descubrir $1/3$ (un tercio) del tamaño máximo de agregado y curar la superficie durante siete días con agua.

La superficie deberá permanecer húmeda al inicio de la colocación de CCR.

Se colocarán las cuatro primeras capas de CCR de tal forma que el proceso sea continuo, evitando la formación de juntas frías. La superficie del CCR se curará con agua durante veinticuatro horas, para posteriormente colocar las siguientes tres capas, sin dar tratamiento alguno a la junta, a excepción de la limpieza de la superficie.

La superficie de la séptima capa se curará durante veinticuatro horas, antes de colocar la siguiente capa.

La formación de la octava capa se efectuará colocando una capa de concreto de liga de 8 (ocho) cm de espesor e inmediatamente una capa de CCR de 22 (veintidos) cm y se procederá a compactar. Las siguientes dos capas se colocarán de tal forma que entre éstas tres últimas no se formen juntas frías.

El bordo de prueba se curará mediante la aplicación de agua durante 28 días.

Entre capa y capa, será necesario que el laboratorio obtenga calas, para comprobar la compactación y determinar el peso volumétrico.

Empleo de resultados obtenidos.

- Evaluar el sistema de soporte en el paramento vertical
- Definir si es necesario hacer alguna modificación en cuanto a las mezclas a utilizarse.
- Determinar el número de pasadas requeridas para obtener el peso volumétrico del proyecto.
- Evaluar la eficacia del equipo utilizado para la compactación especial.

IV.5.7.3.- Colocación de Materiales en la Cortina

La cortina se formará con los materiales mostrados en los planos del proyecto, colocando los materiales que la forman, dentro de las líneas de proyecto.

Mismas que se marcarán en forma visible sobre las laderas, las trazas correspondientes, así como las curvas de nivel que sirvan como referencia para su colocación.

IV.5.7.4.- Caminos de Acceso y de Construcción

Se denominarán caminos de acceso y de construcción, los caminos provisionales que se tenga que construir como auxiliares de las vías de comunicación aprovechables ya existentes y/o que en el curso de los trabajos se construyan para trasladar a los sitios de trabajo objeto de la obra, su personal, equipo y materiales que debe emplear, así como para efectuar los aprovisionamientos necesarios.

En los caminos que se proyecte construir y sus estructuras correspondientes; se busca siempre la forma de aprovecharlos hasta donde sea posible, la construcción posterior de caminos definitivos, así como evitar cualquier exceso en su desarrollo que no sea justificado, bien sea considerando las brechas individualmente o en conjunto. Por lo que toca a las características constructivas de los caminos de acceso y construcción deberán satisfacer las necesidades del equipo a emplear.

Se deberá colocar en los puntos apropiados las señales necesarias, para indicar los accesos a las diversas partes de la obra. En dichas señales se indicará claramente, con pintura durable, el sitio o parte de la obra a que el camino de acceso conduzcan.

Por formación de almacenamiento se entenderán las operaciones que se llevará a cabo para depositar y disponer posteriormente de los materiales que cumplan con los requerimientos de calidad establecidos y previamente aprobados para su utilización posterior en la obra.

La altura del almacenamiento no será mayor de 5.00 m, debiendo prever que deberá almacenar el 30% del volumen total del material requerido por la obra antes del inicio de la construcción.

Antes de colocar en el patio los materiales, se instalarán mamparas que evitarán la contaminación de un material con otro, la formación de las mamparas con una altura mínima de 5.5 m y con longitud que garantice que los agregados no se mezclarán las mamparas las propondrá el contratista.

Los taludes del almacenamiento dependerán del material almacenado, y después de almacenado el material, no se permitirá el tránsito de vehículos pesados sobre el mismo, especialmente del equipo con bandas tipo oruga.

IV.5.7.5.- Abastecimiento de Agua

El suministro de agua necesaria para los trabajos de lavado de agregados, fabricación y curado de los concretos, operaciones de perforación e inyectado de mortero o lechada y la que se usa en otros conceptos de trabajo, deberá ser prevista en el programa.

El agua que se utilice para la fabricación de morteros, concretos y mezclas de inyectado, deberá recibir el tratamiento necesario para que cumpla con los requisitos de pureza y calidad establecidos en los conceptos 13-3.01.9 y 13-3.01.1 de las "Especificaciones Generales.

IV.5.7.6.- Cemento

Suministro.

Todo el cemento que se utilice en la fabricación de morteros, concretos y lechadas en la obra.

Almacenaje.

El cemento se suministrará en sacos o a granel y deberá almacenarlos en locales debidamente acondicionados para este fin. En caso de tratarse de sacos se colocarán sobre plataformas de madera con ventilación para la circulación de aire, que estén sobre el piso de la bodega como mínimo a una altura de 15 cm además deberán estar separados en las paredes un mínimo de 50 cm los pasillos longitudinales y transversales serán de un ancho tal, que permitan el acceso independiente a cada uno de ellos, y el tránsito para efectuar las maniobras necesarias, las estibas tendrán como altura máxima la correspondiente a 12 sacos, la altura mínima permisible del último saco de la estiba al techo de la bodega será de 50 cm si el techo del almacén es de lámina, deberá tener como mínimo una inclinación de 10°, para evitar la caída de gotas por condensación.

El almacenamiento deberá clasificarse y estibarse separando las distintas remesas de cemento de modo que puedan emplearse con el mismo orden cronológico en que fueron recibidas, colocando a cada lote y remesa la marca y tipo de cemento, la fecha de fabricación, la fecha de recepción y la fecha límite en la que podrá utilizarse, además si el cemento es de varias fábricas, se estibaré agrupándolo por marcas, con el fin de que no sean elaborados concretos que contengan cementos provenientes de varias fábricas o de diferentes clases.

Si el cemento se suministra a granel, el contratista deberá almacenarlo en silos y éstos deberán estar protegidos contra la intemperie y equipados con dispositivos necesarios, de manera que puedan descargarse totalmente y que no permitan que permanezcan pegados y/o atrapados residuos de las cargas de cemento al descargarse.

No se emplearán cementos que tengan más de 60 días de la fecha de fabricación, salvo muestreo y nueva aprobación, así como cemento recién salido de la fábrica.

IV.5.7.7.- Limo Inorgánico

El contratista obtendrá el limo inorgánico para la fabricación de los concretos de los bancos de préstamo y lo suministrarán precisamente en el sitio de su utilización.

El limo inorgánico se suministrará a granel. Mismo que se deberá almacenar en silos y éstos deberán estar protegidos contra la intemperie para mantenerlo

seco, y equipados con los dispositivos necesarios, de manera que pueda descargarse totalmente.

Se deberá prever la capacidad de almacenamiento para contar con una reserva de 15 días de consumo normal de limo inorgánico.

IV.5.7.8.- Agregados para Concretos

Las gravas y arenas para el concreto se obtendrán de los bancos de préstamo, localizados en el plano de bancos.

Para la obtención de grava y arena, se deberá considerar los trabajos que correspondan de los mencionados a continuación:

Extracción del material en greña, o mediante explosivos, trituración, transporte a la planta de tratamiento, disgregado, cribado, lavado, suministro de agua necesaria, clasificación, transporte del material de la planta de tratamiento a los patios de almacenamiento, carga y transportación al sitio de utilización. Las gravas y arenas serán almacenadas, separándolas de manera que no se mezclen unos tamaños con otros a manera de obtener la granulometría de proyecto. El material se depositará empleando procedimientos que no provoquen la segregación de sus distintos tamaños.

Estos materiales deberán mantenerse en los patios con un contenido de agua cercano al de saturación.

Clasificación

Concreto convencional

Se manejarán tres tipos de agregados, los cuales se clasificarán como sigue:

GRAVA II Pasa por la malla 38.1 mm (1½") y se retiene en la de 19.11 mm (¾").

GRAVA I Pasa por la malla 19.1 mm (¾") y se retiene en la No. 4 (4.76 mm).

ARENA Pasa por la malla No. 4 (4.76 mm) y se retiene en la No. 200 (.074 mm).

CCR y concreto de liga.

Se manejarán cuatro tipos de agregados, los cuales se clasificarán como sigue:

GRAVA III Pasa por la malla 76.2 mm (3" y se retiene en la de 38.1 mm (1½").

GRAVA II Pasa por la malla 38.1 mm (1½") y se retiene en la de 19.11 mm (¾").

GRAVA I Pasa por la malla 19.1 mm (¾") y se retiene en la No. 4 (4.76 mm).

ARENA

Pasa por la malla No. 4 (4.76 mm) y se retiene en la No. 200 (.074 mm).

Dimensiones mayores o menores de las gravas no deberán exceder el 5% en peso, para cada tamaño especificado. El tamaño máximo de agregados se definirá de acuerdo con las características de cada estructura y los procedimientos de colocación. En general, se empleará el máximo tamaño de agregados compatible con las características de la estructura.

Limo inorgánico

Se entenderá por limo inorgánico al producto de la desintegración de las rocas, con partículas equidimensionales de tamaño menor a 0.074 mm, plasticidad según el SUCS. tal que $IP > 4$, o se ubique abajo de la "A" de la carta de plasticidad.

El limo línea se obtendrá del banco de préstamo indicado y será almacenado de acuerdo con lo descrito anteriormente.

Para CCR la grava y arena se mezclarán con limo inorgánico en un porcentaje que será de 4.8% con respecto al peso de la grava-arena con una tolerancia de 1%.

IV.5.7.9.- Fabricación, transporte y colocación de concreto convencional

Proporcionamiento

Los concretos serán fabricados de acuerdo con las dosificaciones establecidas, para la diferentes resistencias, dependiendo del tipo de cemento y estructuras que indiquen los planos de proyecto.

Los concretos invariablemente deberán ser dosificados por peso para cada batchada, la proporción en que deberá intervenir cada uno de los elementos constitutivos del concreto, podrá ser modificada de acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio, para garantizar la resistencia requerida en las estructuras cubiertas por las presentes especificaciones y para hacer frente a las condiciones variables que se encuentren durante la construcción. Las proporciones de la mezcla y la relación apropiada agua-cemento se determinarán sobre la base de obtener concreto que tenga: manejabilidad, impermeabilidad, durabilidad adecuada y el consumo de cemento necesario para obtener la resistencia de proyecto.

Las cantidades de agua y aditivo podrán ser determinadas por peso o por volumen.

Muestreo y pruebas de laboratorio de campo

Se tomarán en el campo muestras de las mezclas de concreto usadas en las estructuras, para determinar si el control de materiales, proporcionamiento,

consistencia, manejabilidad y contenido de aire en el concreto son los adecuados.

Se elaborarán cilindros de prueba para confrontar su comportamiento con los requisitos de revestimiento y resistencia, se curarán y probarán conforme a lo especificado en el manual de concreto de la Comisión Nacional del Agua.

Transporte

El concreto convencional será transportado de la mezcladora al sitio de su colocación, tan rápidamente como sea factible, en equipos que prevengan la segregación o pérdida de los ingredientes, en general, sólo se utilizarán camiones agitadores para el transporte de concreto convencional, si se emplean camiones no agitadores, se exigirá un remezclado en el sitio de colocación. Cualquier tolva por donde pase el concreto será de forma cónica y no habrá caídas verticales mayores de 1.50 m, excepto cuando el equipo disponible pueda prevenir la segregación y donde sea autorizado específicamente.

Se colocarán indicadores y señalamientos, utilizando medios apropiados para el control e identificación de los tipos y clases de concretos, en cuanto sean mezclados y descargados en los transportes para trasladarlos a los sitios de colocación. Cada tipo o clase de concreto será identificado visualmente, colocando marcas de color en los transportes al salir de la planta mezcladora, a fin de que el concreto pueda ser bien identificado en el sitio de colocación.

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

Colocación

Previamente a la colocación de concreto en la cortina será necesario efectuar la preparación de la superficie de desplante. El objetivo que se persigue será esencialmente proporcionar un apoyo estable y seguro a la cortina ante las condiciones particulares de carga y saturación a que se encontrará sometida la cimentación.

a).- "Limpia Gruesa", que comprende la remoción de la capa de tierra vegetal, suelos orgánicos, suelos blandos, depósitos de talud, roca alterada por intemperismo y bloques de roca sueltos. Los trabajos se realizarán con tractor o excavadoras en toda el área de desplante de la cortina hasta los niveles en que se descubre la roca sana en que se autorice efectuar el desplante.

b).- "Trabajos de Detalle", los que se iniciarán una vez concluida la limpia gruesa y consistirán en:

La limpieza con pico y pala, chiflones de agua y/o aire, de la superficie para desplante, la remoción de materiales indeseables que rellenan las discontinuidades geológicas menores (fracturas, grietas, juntas, etc.) y el relleno de oquedades con concreto convencional ($f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$), la corrección de

contrapendientes en laderas y la protección de rocas susceptibles a alteración por intemperismo.

Las superficies de preparación de desplante deberán conservarse húmedas, previamente a la colocación de los concretos posteriores. Esta humedad será tal que no altere la relación agua-cemento del mismo.

La colocación de concreto convencional se hará entre el CCR y las formas prefabricadas de concreto (membrana impermeable), entre el CCR y el terreno natural en las laderas, se deberá llevar al mismo nivel de colocación de CCR.

No se vaciará concreto alguno mientras el trabajo de colocación de las formas prefabricadas no haya sido aprobado en su totalidad, instaladas las partes que vayan ahogadas y preparadas las superficies contra las cuales vaya a hacerse el colado.

Se deberán emplear los procedimientos y equipos propuestos en el concurso, los que serán sometidos a la aprobación del ingeniero, de acuerdo a lo obtenido en el bordo de prueba.

No se permitirá la existencia de juntas frías en el concreto, en caso de que se suspenda la colocación después de 6 horas, de haber colocado la última capa, se deberá descubrir 1/3 del tamaño máximo de agregado con chiflón de aire o picado. Durante la colocación de concreto convencional, las superficies de las juntas de construcción se conservarán continuamente húmedas, cuando menos 12 horas de las 24 anteriores a la continuación de los colados. El agua libre será removida antes de continuar con la colocación del concreto convencional.

Quando las condiciones del tiempo no sean propicias, no se permitirá la colocación de concreto.

En la colocación de concreto convencional macivo, las hiladas no sobrepasarán un espesor de 1.00 m y deberán ser curadas con agua continuamente durante 7 días. Los colados deberán hacerse en forma alternada con intervalos de 5 días mínimo.

Formas prefabricadas de concreto

Las formas prefabricadas, se manufacturarán en obra, en moldes metálicos, con un concreto de $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de edad y de acuerdo a los planos de proyecto, no debiendo emplearse antes de que tengan la resistencia mencionada anteriormente.

La cara que estará en contacto con la membrana de impermeabilización deberá quedar escarificada con 1/3 de tamaño máximo de agregado expuesto.

Se deberá disponer de un 30% como mínimo de las formas prefabricadas de concreto, antes de iniciar los trabajos.

En el paramento se colocarán las formas prefabricadas de concreto, de acuerdo a lo indicado en los planos de proyecto y/o lo que indique el Ingeniero.

Colocación con bomba

Donde se requiere que el concreto sea colocado mediante bombeo, la planta y el equipo deberán ser aprobados previamente. La bomba será de tipo de desplazamiento y su operación producirá corriente continua de concreto sin que se formen bolsas de aire.

Intervalo de tiempo entre mezclado y colocación de concreto

El concreto se colocará dentro de los 30 minutos siguientes al mezclado.

Temperatura de colocación

No se permitirá la colocación de concreto convencional cuando la temperatura ambiente sea mayor de cuarenta grados centígrados o menor de cuatro grados centígrados.

En la colocación del CCR y concreto de liga durante los meses de verano se emplearán medios efectivo, tales como regado del agregado, enfriamiento del agua de mezclado, y otros medios apropiados para abatir la temperatura del concreto.

Vibrado de concreto convencional

El concreto una vez colocado en su sitio, será llevado a su máxima densidad empleando baterías de vibradores eléctricos o neumáticos de tipo de inmersión que se operarán a 7,000 vibraciones por minuto.

Los vibradores de inmersión deberán ser de dimensiones tales que abarquen como mínimo $3/4$ del espesor de capa por compactar y el diámetro del vibrador será cuando menos una vez y media del tamaño máximo del agregado; en ningún caso permitirá que los vibradores trabajen horizontales o inclinados, éstos sólo se emplearán verticalmente. Los vibradores no deberán emplearse para transportar los concretos. El tiempo de vibrado será aquel que, sin producir segregaciones o sangrado, de su máxima densidad al concreto.

IV.5.7.10.- Fabricación, transporte y colocación del concreto compactado con rodillo y concreto de liga

Proporcionamiento

Los concretos invariablemente deberán ser dosificados por peso para cada batchada, la proporción en que deberán intervenir cada uno de los elementos constitutivos de los concretos, podrá ser modificada de acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio y lo obtenido en el bordo de prueba. Las proporciones de las mezclas de la grava, arena y las relaciones aprobadas agua-cemento se determinarán sobre la base de obtener concretos que tengan trabajabilidad, manejabilidad, durabilidad adecuada y los pesos volumétricos de proyecto.

Muestreo y pruebas de laboratorio de campo

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

Se obtendrán calas para comprobar la compactación y determinar si el peso volumétrico es el requerido, de acuerdo a lo especificado en el manual de mecánica de suelos de la Comisión Nacional del Agua.

Mezclado

El CCR y el concreto de liga serán elaborados mediante revolvedora de producción continua o discontinua, debiendo tener una producción tal que garantice la continuidad en la colocación del mismo durante 20 horas diarias y 6 días a la semana, para evitar la formación de juntas frías.

Transporte

Para transporte el concreto compactable y el concreto de liga se utilizará equipo para el movimiento de tierras, camiones no agitadores, bandas transportadoras o cualquier otro sistema que haya sido aprobado por el Ingeniero durante la construcción del bordo de prueba.

Se colocarán indicadores y señalamientos, utilizando medios apropiados para el control e identificación de los dos tipos de concreto, en cuanto sean mezclados y descargados en los transportes a los sitios de colocación, cada tipo o clase de concreto será identificado visualmente, colocando marcas de color en los transportes al salir de la planta mezcladora, a fin de que el concreto pueda ser bien identificado en el sitio de colocación, se instalarán equipos de intercomunicación rápida, entre la planta dosificadora y el sitio en que se vaya a colocar el concreto, que estarán a disposición de los inspectores de ambos sitios.

Colocación

Previo a la colocación del CCR se deberá descubrir 1/3 de tamaño máximo de agregado en las zonas de la superficie de desplante en que se colocó concreto convencional, así como en las caras de los concretos adyacentes; se humedecerá la superficie y se colocará el concreto de liga con un espesor de 8 cm, e inmediatamente el CCR con un espesor de 22 cm y se procederá a compactar.

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

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

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

Si el contenido de agua o cemento en el CCR y concreto de liga fuese inferior a lo especificado deberá removerse todo el material que se encuentra en estas

condiciones; quedando prohibido adicionar agua, cemento o cualquier otro agregado al CCR y concreto de liga, una vez que haya salido de la mezcladora.

Deberán tomarse medidas especiales para evitar que los neumáticos del equipo que circule sobre la superficie del CCR o concreto de liga tenga adheridas partículas de suelo o partículas de concreto, que puedan contaminar dicha superficie. En caso de que ésto ocurra deberá limpiarse la superficie del contacto y restaurarse con concreto de liga, si se requieren.

En caso de lluvia deberá suspenderse la colocación del material. Todo el material que no hubiese estado compactado satisfactoriamente antes de suspender los trabajos a causa de la lluvia, deberá ser retirado de inmediato, evitando que sobre la superficie compactada queden adheridas partículas indeseables.

Deberán evitarse los virajes bruscos de vehículos que circulen sobre las capas del CCR que está fresco. En caso de ocurrir ésto deberá repararse conforme lo indicado anteriormente.

Todos los equipos y procedimientos para la colocación del concreto serán sometidos a la aprobación previa, durante la construcción del bordo de prueba.

Intervalo de tiempo entre mezclado y colocación

Los concretos se colocarán dentro de los 30 minutos siguientes al mezclado.

Temperatura de colocación

No se permitirá la colocación del CCR y concreto de liga cuando la temperatura ambiente sea mayor de cuarenta grados centígrados o menor de cuatro grados centígrados.

En la colocación del CCR y concreto de liga durante los meses de verano se emplearán medios efectivos, tales como regado del agregado, enfriamiento del agua de mezclado, y otros medios apropiados para abatir la temperatura del concreto.

Compactación del CCR y concreto de liga

Una vez extendido el CCR se compactará con rodillo liso vibratorio de 10 toneladas de peso, dando las pasadas necesarias hasta alcanzar el peso volumétrico especificado, según resultados del bordo de prueba.

En los casos en que sea necesario colocar concreto de liga, la compactación se efectuará una vez que se haya colocado el complemento del CCR para dar el espesor de 30 cm.

El equipo de menor tamaño que podrá emplearse para las zonas de reparación, será propuesto por el Contratista y sujeto a su aprobación, las capas de concreto en estas zonas serán de 10 cm de espesor y la eficiencia del equipo se determinará durante la construcción del bordo de prueba.

IV.5.7.11.- Juntas constructivas en las estructuras de concreto

Juntas de construcción para concreto convencional

Cuando se haya terminado un colado, la superficie superior será inmediata y cuidadosamente protegida contra cualquier condición que pueda dañar el concreto.

Las juntas de construcción horizontales en los colados con superficies relativamente accesibles y abiertas, se prepararán para recibir el siguiente colado limpiado con chorros de arena húmeda o de agua con aire, éste último puede emplearse junto con un retardador de aplicación superficial. De cualquier forma, se deberá disponer en la obra de un equipo para chorro de arena húmeda.

Si la superficie del colado está congestionada con el acero de refuerzo, si es relativamente inaccesible o si por cualquier otra razón, se considera indeseable afectar la superficie del colado antes de su endurecimiento, no se permitirá el empleo de chiflones de aire-agua y se usará chorro de arena húmeda sobre el concreto ya endurecido.

Escarificación con aire-agua

Este tipo de escarificación en una junta de construcción se ejecutará a su debido tiempo. La superficie será escarificada con chiflón de aire-agua a presión, para remover toda la lechada y exponer los agregados limpios y sanos, pero sin profundizar demasiado para no destruir las salientes de las partículas grandes de

los agregados. La presión de aire usada en el chiflón será aproximadamente de 7 kg/cm² y la presión del agua será la suficiente para traerla dentro de la influencia efectiva de la presión del aire.

Después de escarificar la superficie, se lavará y enjuagará hasta no dejar rastro de manchas del agua del lavado. La superficie se lavará otra vez en el momento de colocar el siguiente colado. Cuando se necesite remover acumulaciones de lechada, adherencias, manchas, desechos y otros materiales extraños, se requerirá la utilización del chorro de arena húmeda inmediatamente antes de colocar la siguiente hilada, para suplementar la escarificación agua-aire.

Juntas de dilatación

Se dejará o se cortarán en los lugares indicados en los planos de acuerdo con los detalles mostrados en ellos.

El producto que se pretenda utilizar como junta estará sujeto a su verificación de calidad y aprobación.

IV.5.7.12.- Acabados y formas para CCR y de liga

Para la construcción de conductos que se encuentren alojados en el cuerpo de la cortina se dejarán en éstos, huecos mediante la colocación de grava-arena con la misma granulometría que los utilizados en la mezcla del CCR en las zonas que corresponden los conductos, desde la plantilla hasta la parte superior, conservando el mismo nivel en el resto de la cortina para que el equipo

compacte de igual manera la mezcla que contenga cementante y la que no lo contenga.

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

IV.5.7.13.- Curado y protección del concreto convencional, de liga y CCR

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

En la superficie del CCR o el concreto de liga sobre la que se colocará otra capa de concreto, no se permitirá la utilización de material alguno de curado que no sea agua, arena húmeda u otro material que pueda ser removido totalmente, para no interferir en la adherencia entre capas.

No es necesario curar la superficie compactada de concreto, durante la construcción, si la capa subsecuente es colocada antes de que se presente el secado superficial.

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

Se deberá preparar el equipo y material necesario para curar y proteger adecuadamente el concreto, antes de empezar su colocación. Los medios, métodos de curado o sus combinaciones se aprobarán por escrito.

El concreto se protegerá contra lluvia fuerte durante 12 horas y contra el agua corriente 14 días después de colado. En ningún tiempo se permitirá fuego o calor excesivo en contacto directo con el concreto, el curado y protección del concreto además de los indicados aquí, deberá cumplir con lo estipulado en las "Especificaciones Generales".

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

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

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

Las formas prefabricadas se curarán cuando menos por 28 días con agua y arena húmeda u otro material que pueda ser removido totalmente no debiéndose emplear curado acelerado ni de membrana.

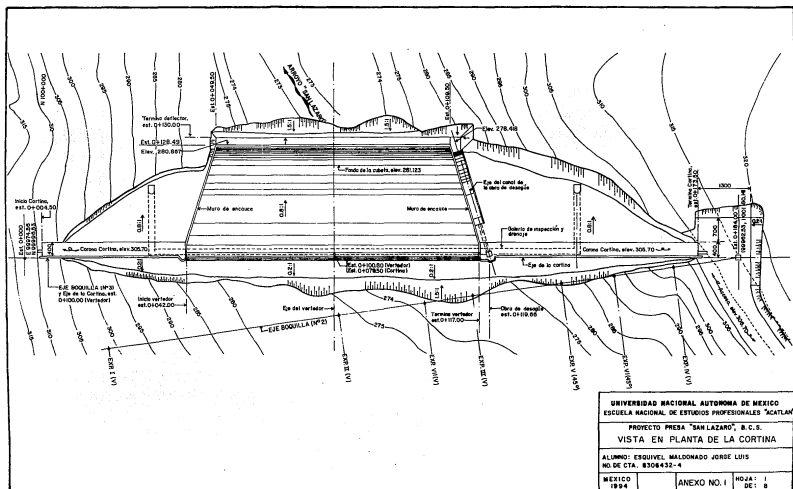
Las superficies de concreto que hayan estado expuestas a lluvias intensas dentro de las 3 horas siguientes de que se haya aplicado el curado de membrana, se volverán a rociar de la manera descrita en las "Especificaciones Generales".

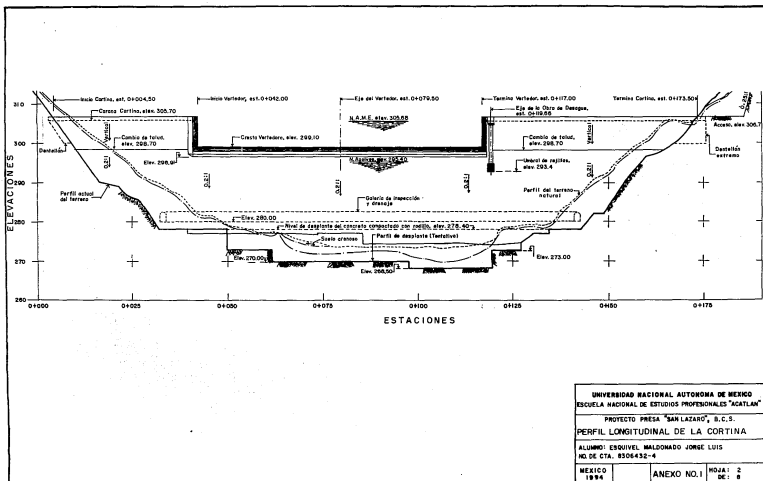
IV.5.7.14.- Acero de refuerzo

Deberá tener especial cuidado en marcar y almacenar el acero de refuerzo de diferentes grados estructurales y tipos, de manera que pueda identificarse fácilmente.

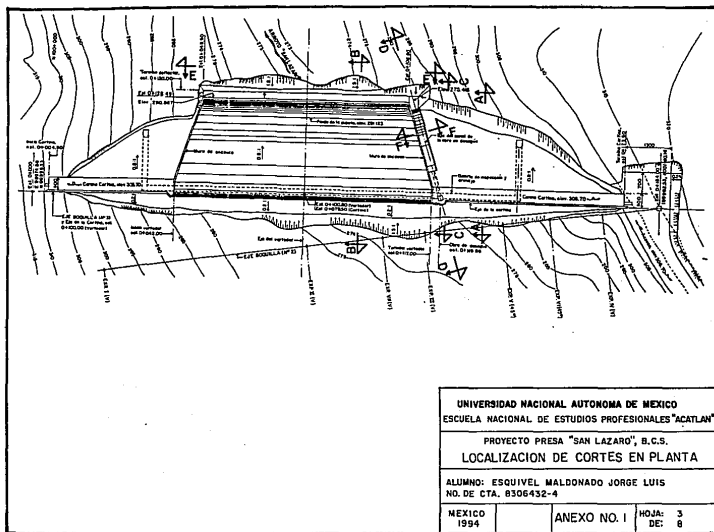
Los dobleces se harán de acuerdo con las prácticas corrientes y con maquinaria y métodos apropiados. La posición y el traslape, el tamaño y forma de las varillas, deberán ser las que se consignen en los planos estructurales debiendo ajustarse a las tolerancias de recubrimiento mínimo de refuerzo principal que estará acorde con las dimensiones mostradas en dichos planos.

El recubrimiento de estribos, barras espaciadoras y refuerzos secundarios similares será cuando menos en un diámetro de tales barras.

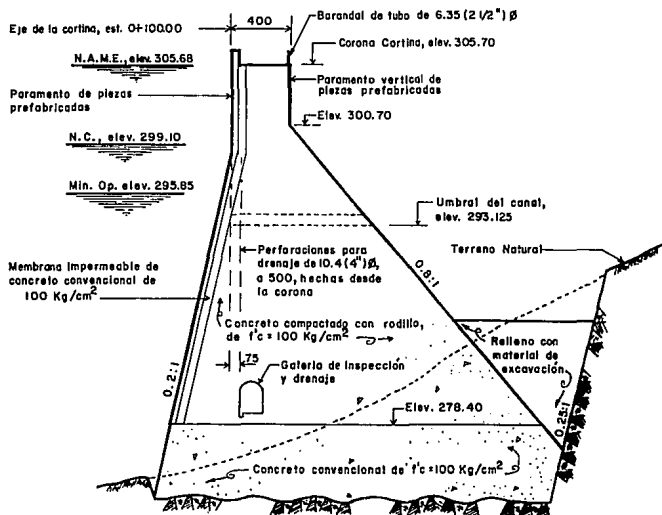




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"		
PROYECTO PRESA "SAN LAZARO", S.C.S.		
PERFIL LONGITUDINAL DE LA CORTINA		
ALUMNO: ESQUIVEL MALDONADO JORGE LUIS		
NO. DE C.T.A. 8506432-4		
MEXICO 1974	ANEXO NO. 1	HOJA: 2 DE: 8



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO			
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"			
PROYECTO PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.			
LOCALIZACION DE CORTES EN PLANTA			
ALUMNO: ESQUIVEL MALDONADO JORGE LUIS			
NO. DE CTA. 8306432-4			
MEXICO 1994		ANEXO NO. I	HOJA: 3 DE: 8



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

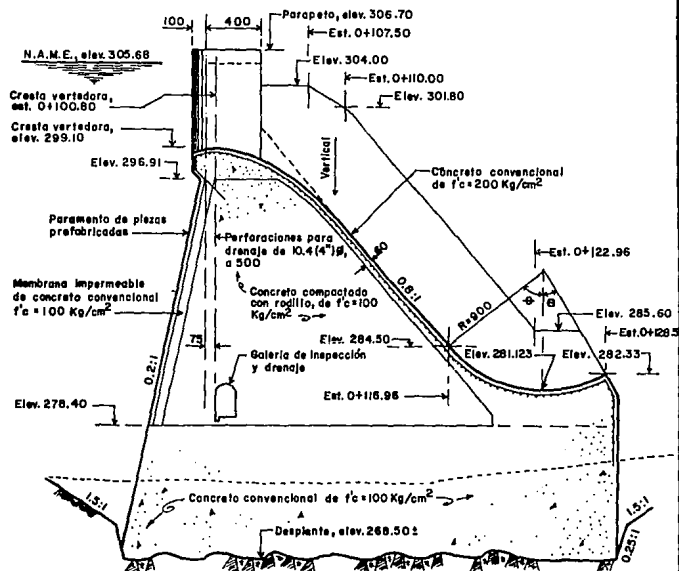
PROYECTO PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.
CORTE A - A

ALUMNO: ESQUIVEL MALDONADO JORGE LUIS
NO. DE CTA. 8306432-4

MEXICO
1994

ANEXO NO. I

HOJA: 4
DE: 8



Angulo de la cubeta
 deflector:
 $\phi = 51^{\circ} 20'$
 $\theta = 30^{\circ}$

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

PROYECTO PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.

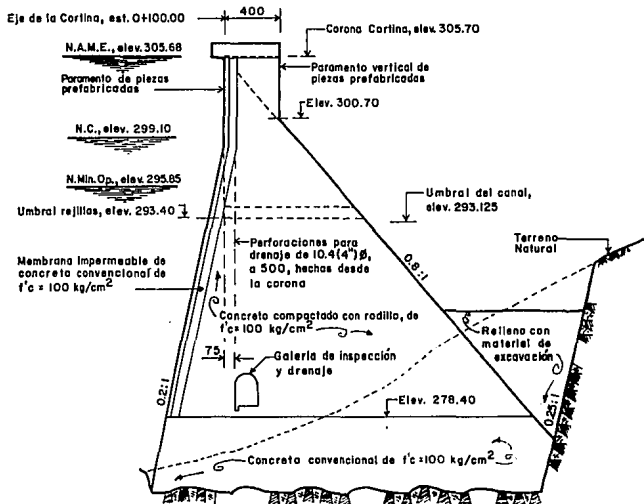
CORTE B - B

ALUMNO: ESQUIVEL MALDONADO JORGE LUIS
 NO DE CTA. 8306432-4

MEXICO
 1994

ANEXO NO. 1

HOJA: 5
 DE: 8



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

PROYECTO PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.

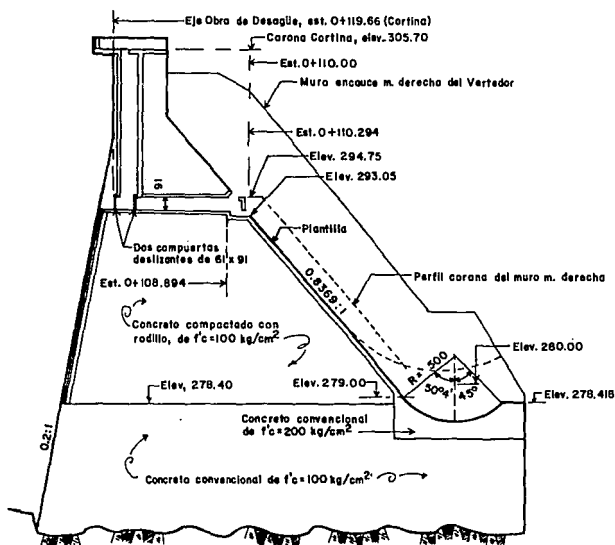
CORTE C - C

ALUMNO: ESQUIVEL MALDONADO JORGE LUIS
NO. DE CTA. 8306432-4

MEXICO
1994

ANEXO NO. I

HOJA: 6
DE 8



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

PROYECTO PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.

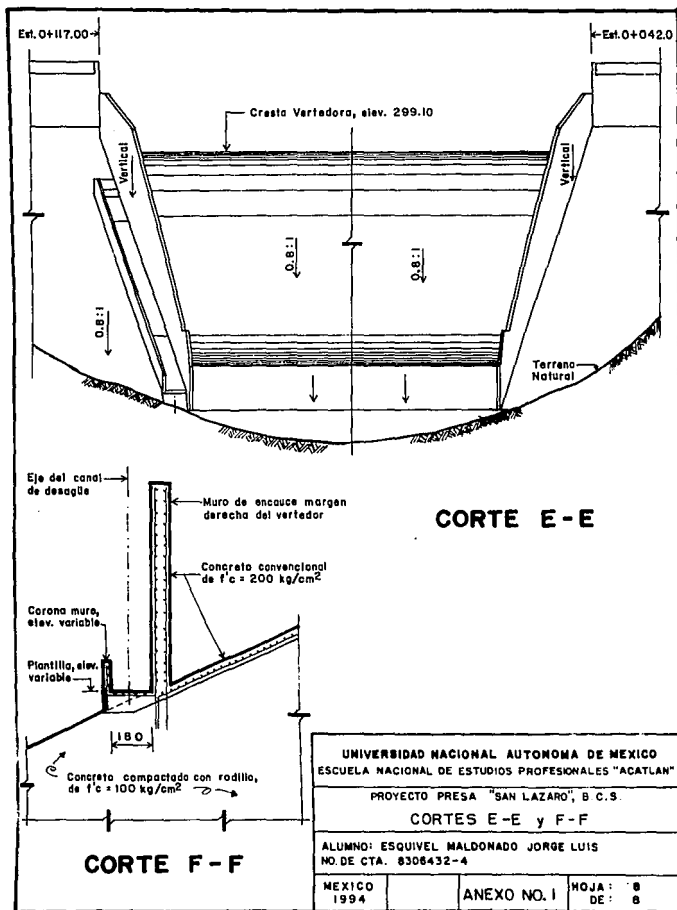
CORTE D - D

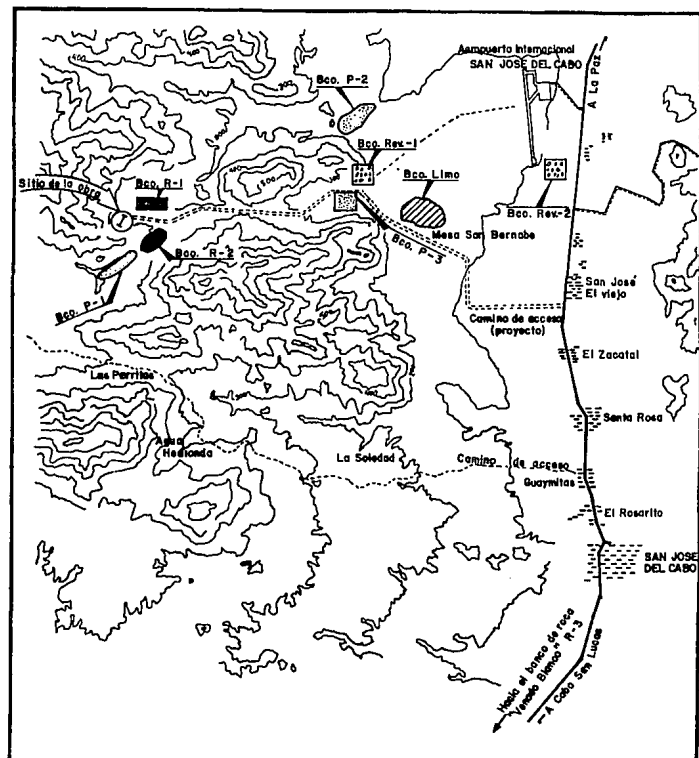
ALUMNO: ESQUIVEL MALDONADO JORGE LUIS
NO DE CTA. 8306432-4

MEXICO
1994

ANEXO NO. 1

HOJA 7
DE 8





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

PROYECTO PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.
PLANO GENERAL DE BANCOS DE MATERIALES

ALUMNO: ESQUIVEL MALDONADO JORGE LUIS
NO. DE CTA. 8306432-4

MEXICO
1994

ANEXO NO. 2

HOJA : 1
DE : 3

DATOS GENERALES							
BANCO No.	EMPLEO	REGALIAS	Dist. al centro de gravedad del prov. (km)	ESPESOR (m)	VOLUMEN M ³	TRATAMIENTO PROBABLE	
P-1	CONCRETOS (ARENA)	PROPIEDAD PRIVADA	1.0	—	3.0	80,000	NINGUNO
P-2	CONCRETOS (ARENA)	PROPIEDAD PRIVADA	8.0	—	3.0	80,000	NINGUNO
P-3 "BALLENA"	ESTRUCTURA CAMINOS	PROPIEDAD PRIVADA	0.05	—	2.0	3,000	NINGUNO
REV-1 SN. LAZARO	REVESTIMIENTO		0.8	0.30	2.0	12,000	ADICION DE AGUA
REV-2 AEROPUERTO	REVESTIMIENTO	FEDERAL	9.1	0.30	2.0	20,000	ADICION DE AGUA
R-1 EL QUEMADO	CONCRETOS	PROPIEDAD PRIVADA	0.5	2.0		85,000	EXTRACCION CON EXPLOSIVOS TRITURACION Y CRIBADO
R-2	CONCRETOS		0.8	2.0		80,000	EXTRAC. CON EXPLOSIVOS TRITURACION Y CRIBADO
R-3 VENADO BLANCO	AGREGADOS GRUESOS	PROPIEDAD PRIVADA	25.0	—	—	2,000	NINGUNO

BANCO DE AGREGADOS				
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL		BANCO DE ARENAS PARA CONCRETOS		ESTRUCTURA CAMINOS
		No. 1	No. 2	No. 3
PORCIENTO RETENIDO EN LA MALLA No. 4		15.47	15.20	4.15
PORCIENTO QUE PASA LA MALLA No. 4 (4.75)		84.53	84.80	95.85
DENSIDAD		2.47	2.46	2.50
HUMEDAD EN %				
ABSORCION EN %		2.08	2.10	1.75
PERDIDA POR LAVADO EN %		1.0	1.0	4.80
CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA COLORIMETRIA		INF. AL LIMITE	INF. AL LIMITE	INF. AL LIMITE
COMPACTAD RELATIVA EN %				
PESO VOL. SUELTO KG/M ³		1494	1486	1510
PESO VOL. COMPACTADO KG/M ³		1577	1575	1630
ANALISIS GRANULOMETRICO EN %	RETENIDO MALLA 2.36 mm (No. 8)	24.92	21.52	11.68
	RETENIDO MALLA 1.18 mm (No. 16)	40.24	44.68	19.80
	RETENIDO MALLA 0.59 mm (No. 30)	21.16	22.02	42.08
	RETENIDO MALLA 0.297 mm (No. 50)	7.86	8.28	13.58
	RETENIDO MALLA 0.149 mm (No. 100)	4.24	3.74	8.10
	PASA POR MALLA 0.149 mm (No. 100)	1.78	1.76	4.80
MODULO DE FINURA		3.69	3.69	2.99

* PARA CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS DEL CAMINO DE ACCESO A LA PRESA (Este banco lo está explotando una Compañía Particular).

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"		
PROYECTO PRESA "SAN LAZARO", B.C.S.		
DATOS GENERALES DE BANCOS DE MATERIALES		
ALUMNO: ESQUIVEL MALDONADO JORGE LUIS NO. DE CTA. 8306432-4		
MEXICO 1994	ANEXO NO. 2	HOJA: 2 DE: 3

MATERIAL PARA REVESTIMIENTO DE CAMINOS Y PERMEABLE			
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL		BCQ No. REV-1 SN. LAZARO	BCQ No. REV-2 AEROPUERTO
POR CIENTO RETENIDO ACUMULADO EN LA MALLA ABERTURA EN mm.	76.2 (3")		
	38.1 (1½")	2.87	
	19.1 (¾")	8.80	0.45
	4.76 (No.4)	12.97	14.50
POR CIENTO QUE PASA LA MALLA ABERTA EN mm.	4.76 (No.4)	87.03	85.50
	0.074 (No.200) Referida al total de la muestra	16.71	5.68
	0.074 (No.200) Referida al material que pasa la malla No.4	19.20	6.84
LIMITE LIQUIDO	%	23.3	—
LIMITE PLASTICO	%	14.5	—
PESO VOLUM. MAX.	Kg/m ³	2120	2100
HUMEDAD OPTIMA	%	11.0	8.8
HUMEDAD NATURAL	%	4.0	4.0
CLASIFICACION (SUCS)		CL	

R O C A				
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	BANCO No. 1 EL QUEMADO	BANCO No. 2	BANCO No. 3 VENADO BLANCO	BANCO No. 4
CLASIFICACION PETROGRAFICA	GRANITO	GRANITO	GRANITO	

NOTA: EL BANCO DE ROCA No.2 SE CONSIDERA COMO BANCO ADICIONAL EL CUAL AUN NO HA SIDO ESTUDIADO.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"			
PROYECTO PRESA "SAN LAZARO", S.C.B.			
DATOS GENERALES DE BANCOS DE MATERIALES			
ALUMNO: ESQUIVEL MALDONADO JORGE LUIS NO. DE CTA. 8306432-4			
MEXICO 1984		ANEXO NO. 2	HOJA: 3 DE: 3

v

PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA
CORTINA EMPLEANDO CCR.

V.- PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA EMPLEANDO CCR

Después de la experiencia que se obtuvo en los proyectos realizados en México en cuanto al método constructivo del concreto compactado con rodillo, día con día se han obtenido mejores resultados en la aplicación del mismo.

En el proceso constructivo del concreto compactado con rodillo, la colocación del concreto se efectúa dispersando horizontalmente el concreto en capas continuas de grandes áreas, en lugar de construirse verticalmente en grandes bloques monolíticos independientes. Por lo tanto, la planeación para construir una presa de concreto compactado con rodillo, es sensiblemente distinta que para la construcción de presas de concreto convencional.

V.1.- MATERIALES

El proceso de la cortina se inicia desde la planificación y preparación anticipada de: los materiales que intervienen tanto en la elaboración del concreto compactable como de la obra en general; los trabajos preliminares, así como la construcción de caminos de acceso necesarios para el buen funcionamiento del ciclo de construcción de la cortina.

El procedimiento constructivo en forma continua que se utiliza para la colocación del CCR, requiere de la producción de grandes cantidades de agregados que fácilmente podrían ser del orden del 50% del total del material que será necesario para la construcción de la cortina, antes de que esta actividad sea iniciada, debido a que el índice de uso de los agregados, puede rebasar el índice de producción de los mismos. Sin embargo, si se apilan grandes

cantidades de agregados, que a la vez son pre-enfriados para su uso posterior, el material que ocasionalmente se produce fuera de las especificaciones, se puede mezclar con el material aceptable para que la mezcla resultante sea más homogénea de acuerdo a las especificaciones y no haya mermas durante la obra.

Una vez elaborados, los agregados son apilados en los sitios ya establecidos en los bancos de materiales que se indican en el anexo No. 2, los cuales se encuentran relativamente cercanos al lugar donde fue instalada la planta mezcladora, pensando en los tramos de acarreo, las vueltas, etc., para que el equipo de carga pueda operar con rapidez, eficiencia y seguridad.

El transporte de materiales pétreos del banco a la planta mezcladora es llevado a cabo mediante camiones de volteo que apilan los materiales en los sitios previamente señalados, cercanos a las tolvas alimentadoras de la planta mezcladora, que se distribuye y localiza de tal forma que minimice los requerimientos de energía, ya sea que el concreto compactable se transporte por bandas o en camiones de volteo, de manera que se reduzca también las distancias de acarreo, la elevación vertical y la exposición de la mezcla fresca al sol cuando ésta vaya a ser transportada al sitio de colocación.

Cabe mencionar que la carga de combustible, el cimbrado y el embalsamado de los componentes empotrados, etc., se deben programar y planificar para que se termine la mayor parte del trabajo antes de empezar a elevar el concreto compactable durante los cambios de turno o paros de la cuadrilla de colocación. Todo vehículo y personas innecesarias deben mantenerse fuera de las áreas de colocación y vías de acceso del equipo.

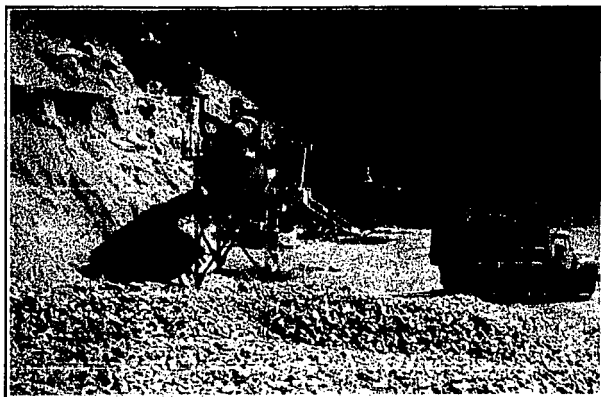


FIGURA 5.1.1. A-1).- PLANTA DE TRITURACION Y CRIBADO PARA LA ELABORACION DE AGREGADOS, BANCO DE ROCA "EL QUEMADO". PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

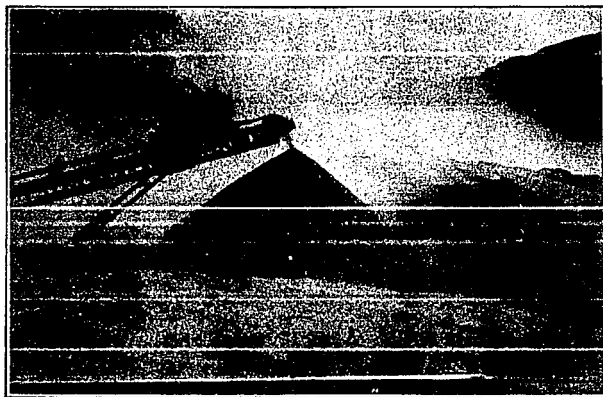


FIGURA 5.1.1. A-2).- APILADO DE AGREGADOS, BANCO DE ROCA "EL QUEMADO", PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

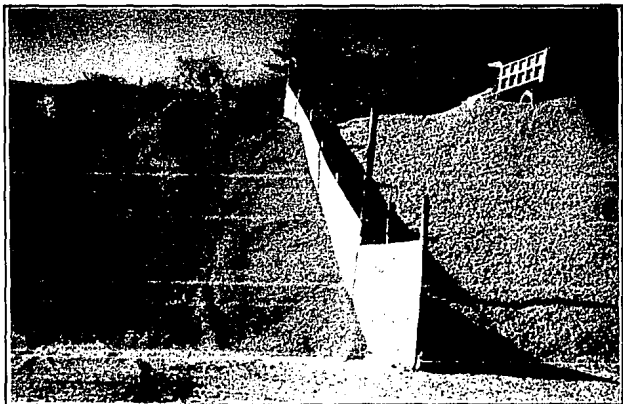


FIGURA 5.1.1. A-3).-
CLASIFICACION DE AGREGADOS
UTILIZANDO MAMPARAS QUE
IMPIDEN LA MEZCLA DE UN
TAMANO CON OTRO.
PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

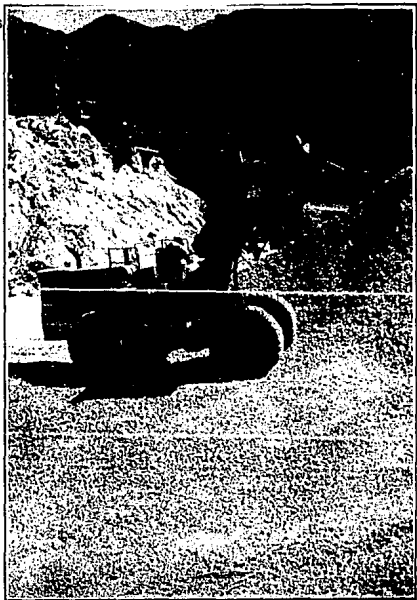


FIGURA 5.1.1. A-4).-
CARGA Y TRANSPORTACION
DE AGREGADOS A LA PLAN-
TA MEZCLADORA DE CON-
CRETOS.
PRESA SAN LAZARO, B.C.S.



FIGURA 5.1.1. B).- ELABORACION DE ARENA EXTRAIDA DE UN DEPOSITO NATURAL EN EL CAUCE DEL ARROYO "EL GUAJE". PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

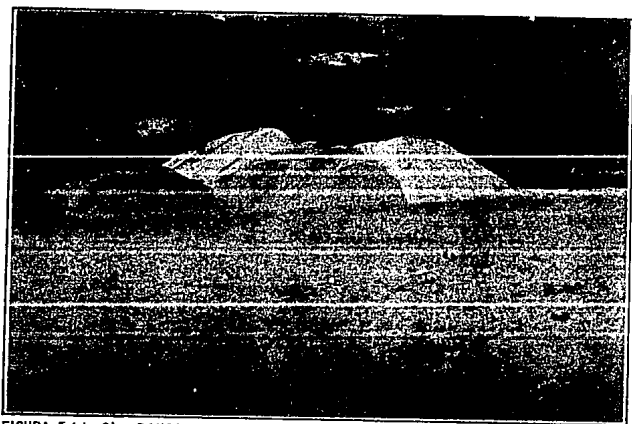


FIGURA 5.1.1. C).- BANCO DE LIMO, EL MATERIAL ES APILADO Y POSTERIORMENTE ES SOMETIDO A UN PROCESO DE LIMPIEZA PARA SU USO. PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

V.2.- MEZCLADO

El equipo para elaborar la mezcla de concreto sin revenimiento debe cumplir diseños y características específicas, pues el producto final será una mezcla homogénea, donde todos los ingredientes, grava, arena, cemento, agua y aditivos, según sea el caso, han sido incorporados de acuerdo a la dosificación especificada. El mezclado se proporciona generalmente por dos ejes longitudinales horizontales que giran en forma continua; cada eje tiene acoplado en toda su longitud una serie de paletas o aspas, con cierto ángulo de inclinación que proporciona al material un mezclado enérgico. La forma y disposición de las paletas son diseñadas precisamente para obtener mezclas homogéneas y altos rendimientos, la vida útil de estas piezas intercambiables es del orden de 115,000 m³.

Para la construcción de la presa "San Lázaro", el equipo de mezclado se selecciona de acuerdo al tipo de obra, volumen de concreto a producir y a la distancia de acarreo, pues en el mercado existe una serie de plantas con diferentes rendimientos, de acuerdo a las necesidades de cada proyecto. Tal es el caso de la planta mezcladora fabricada por Davis Pugmill, Inc., que se muestra en la figura 5.2.1. La producción de esta planta varía de 50 a 750 ton/hr según las necesidades. Es importante mencionar que los agregados deben estar al pie de la obra como ya se había señalado anteriormente, pues la alimentación debe ser constante, de esta forma es necesario tener un cargador frontal, para abastecer las tolvas de los agregados, figura 5.2.2.

Para dar una máxima rigidez estructural y un mejor alineamiento en la planta de mezclado tipo Pugmill, se han utilizado dos ejes tubulares gemelos

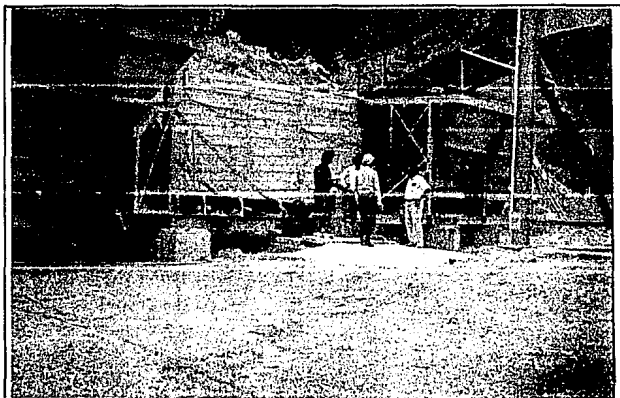


FIGURA 5.2.1. A).- PLANTA DE MEZCLADO CONTINUO TIPO "PUGMILL", SISTEMA DE TOLVAS DOSIFICADORAS DE AGREGADOS. PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

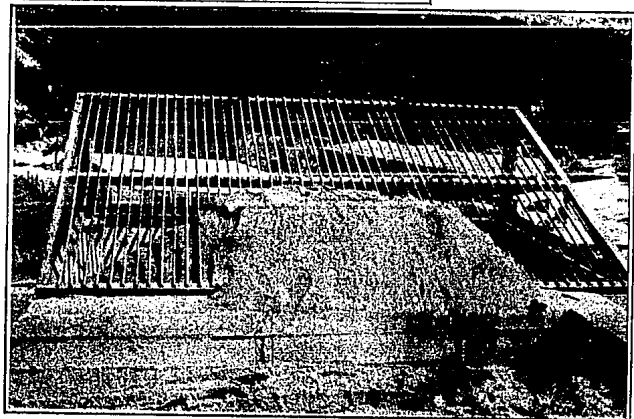


FIGURA 5.2.1. B).- PLANTA DE MEZCLADO CONTINUO TIPO "PUGMILL", DESPUES DE SER DOSIFICADOS LOS AGREGADOS Y EL CEMENTO, SON TRANSPORTADOS POR MEDIO DE BANDAS HASTA EL DISPOSITIVO DE MEZCLADO. PRESA SAN LAZARO, B.C.S.



FIGURA 5.2.1. C).-
PLANTA DE MEZCLADO CONTINUO
TIPO "PUGMILL", DISPOSITIVO DE
MEZCLADO Y TOLVA RECEPTORA
CON COMPUERTA QUE INICIA E -
INTERRUMPE EL SUMINISTRO DEL
CONCRETO COMPACTABLE AL CA-
MION DE VOLTEO,
PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

FIGURA 5.2.2.-
ALIMENTACION DE TOLVA PARA
LA DOSIFICACION DE LIMO, --
PLANTA DE MEZCLADO CONTINUO.
PRESA SAN LAZARO, B.C.S.



independientes de sección cuadrada con un eje redondo soldado en los extremos. Cada eje cuenta con 18 paletas, 36 en total, las que también están soldadas al eje tubular, la parte final de la paleta es intercambiable, están moldeadas con 2.5 cm. de espesor de acero aleado con cromo. El agua se dosifica mediante un sistema de riego con flujo ajustable, lo que permite proporcionar una humedad uniforme a los materiales mientras pasan. La acción enérgica de los ejes gemelos del mezclador impulsan la mezcla al extremo opuesto donde el concreto es recibido por una banda transportadora que lo conduce a una tolva receptora que cuenta con una compuerta que le permite retener la mezcla durante el tiempo que tarda la tolva en llenarse, mientras el camión que esperaba su turno se coloca bajo la tolva para ser llenado de concreto sin revenimiento, figura 5.2.1. (c).

El sistema de dosificación continua por peso que realiza la planta mezcladora Pugmill es de gran importancia, debido al estricto control que se requiere en la dosificación del concreto compactable, a consecuencia de la sensibilidad de éste material a las variaciones en el contenido de cemento y agua, por lo que se deberá mantener un control preciso en la dosificación de los materiales pétreos, cemento y agua que especifica el proyecto (ver capítulo IV) en cuanto a concreto compactable y de liga se refiere, ya que estos últimos determinan la obtención de buenos resultados en el innovador método constructivo y el proyecto en general.

V.3.- TRANSPORTE Y COLOCACION

El transporte del concreto compactable se realiza en camiones de volteo con capacidad de 6-7 m³, figura 5.2.1. (c), la carga se inicia precisamente en la

tolva receptora de la planta de mezclado, procurando que la caída de la mezcla no sea muy alta para evitar el problema de la segregación.

Los recorridos como ya se había mencionado, son relativamente cortos, lo que significa una integración del sistema de mezclado, transporte y colocación rápido y con tan poco remanejo que evitara una desecación en la mezcla cuando se tienen temperaturas altas.

Las condiciones ambientales y de colocación entre otras, afectan los límites razonables de tiempo para estas operaciones, pero una regla general es que la colocación se deberá hacer en un lapso de 10 minutos después del mezclado, la dispersión en un lapso de 10 minutos después de haberlo colocado y la compactación en un lapso de 10 minutos después de esparcirlo.

En algunas zonas de la cortina será necesario el empleo de bandas transportadoras que faciliten la colocación del material, cuyo diseño permita el movimiento y la colocación del concreto compactable continuamente sobre toda la superficie del colado, la banda transportadora principal requiere tener una tolva de retención temporal para que la planta mezcladora Pugmill pueda operar y descargar sin interrupción mientras espera el vehículo de acarreo. Los vehículos de acarreo esencialmente se quedan en la presa en todo momento y cargan desde esta tolva asegurándose que los camiones de volteo siempre tengan una carga fresca de concreto compactable disponible evitando operaciones de arranque-paro en la planta mezcladora.

En la construcción del camino de acceso que permitirá mantener el ritmo de elevación de la presa, figura 5.3.1. se consideró la posibilidad de elevar los

caminos durante los periodos de paro, al mismo tiempo que se está dando mantenimiento al equipo. El último tramo del camino, antes de entrar a la zona del colado, tiene en la superficie, grava para limpiar los neumáticos e impedir la contaminación de la superficie del concreto compactable con material recogido por los neumáticos de los camiones.

Antes de la operación de la colocación de la primera capa, la base correspondiente a la cimentación es limpiada de diversas partículas de materiales que se encuentran sobre ella, para esto se requiere la utilización de un compresor de aire que a manera de chiflón remueva las partículas y posteriormente se realice un riego de agua para evitar la pérdida de humedad en el concreto compactable a consecuencia de la absorción de humedad que ejerce la capa anterior por efectos de hidratación figuras 5.3.2 y 5.3.3.

El acarreo del concreto compactable que realizan los camiones de volteo deberá hacerse lo más cercano posible a su ubicación final figura 5.3.4. El material se debe vaciar al colado nuevo que se está colocando no en el que se va a cubrir. Esto permite re trabajar las áreas ligeramente segregadas de material vaciado al ir empujándolo hacia adelante. Debido a su consistencia típicamente seca, la segregación puede ser crítica si el material se vacía en grandes pilas. Como regla general, hay que limitar la altura a 1 metro, porque de lo contrario, los agregados más grandes van a rodar al fondo de la pila. Si la motoconformadora hace una dispersión cuidadosa, se puede remezclar gran parte de la segregación que podría ocurrir aún con pilas pequeñas. Si accidentalmente ocurriera que los agregados gruesos se rodaran hacia la capa anterior, el material se debe palear a mano y lanzar a la capa de concreto compactable que se está esparciendo.



FIGURA 5.3.1.- VISTA PANORAMICA DE LA OBRA.
PRESA SAN LAZARO, B.C.S.



FIGURA 5.3.2. LIMPIEZA DE LA BASE DE CONCRETO CONVENCIONAL UTILIZANDO -- CHIFLON DE AIRE-AGUA A PRESION, MOMENTOS ANTES DE INICIAR LA COLOCACION DEL CONCRETO COMPACTABLE. BORDO DE PRUEBAS, PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

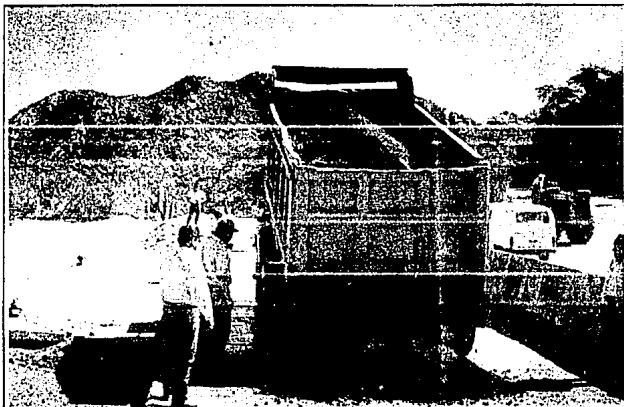


FIGURA 5.3.3. CAMION DE VOLTEO DESCARGANDO CONCRETO COMPACTABLE PARA CONFORMAR LA PRIMERA CAPA, DE C.C.R.. BORDO DE PRUEBAS, PRESA SAN LAZARO, B.C.S.



FIGURA 5.3.4. A).-
SUMINISTRO DE CONCRETO COM-
PACTABLE PARA LA CONFORMA-
CION DE LA NUEVA CAPA.
BORDO DE PRUEBAS,
PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

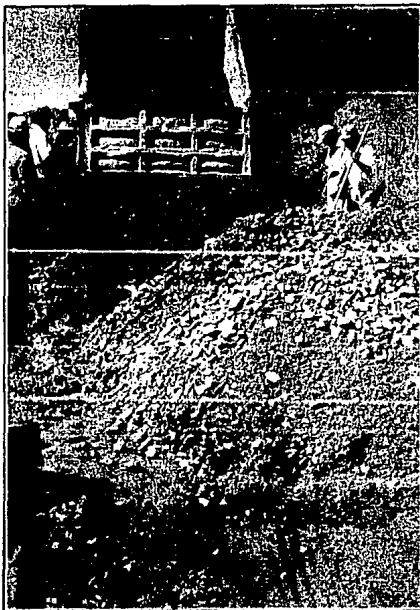


FIGURA 5.3.4. B).-
EL CONCRETO COMPACTABLE ES
DESCARGADO EN PEQUEÑAS PILAS
CONSECUTIVAS QUE PERMITEN UNA
MEJOR TRABAJABILIDAD DE LA
CAPA QUE SE VA A COLOCAR,
BORDO DE PRUEBAS.
PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

El concreto compactable fresco es dispersado y nivelado en capas de 30 cm. (figura 5.3.5.), el equipo de dispersión debe dejar una superficie plana (diseños horizontales o la pendiente requerida) antes de iniciar la compactación. Los bordes de los escalones entre los pasos adyacentes de la cuchilla de la motoconformadora, pueden resultar en una distribución dispareja del esfuerzo de compactación y en una calidad variable del concreto compactable. Como regla general, es más importante tener una superficie plana lisa para compactar en el menor tiempo posible que tener una nivelación exacta y retrasar el compactado. Las tolerancias típicas de los grosores de las capas son del orden de ± 50 mm. figura 5.3.6.

Los beneficios que puede ofrecer una capa más gruesa o más delgada significa que: en una capa gruesa se tengan menos juntas entre colados y menos trayectorias posibles para la filtración, pero las más delgadas permiten que las juntas se cubran más pronto con un mejor potencial de cohesión.

Los neumáticos de la motoconformadora presentan algunas desventajas. derrapan y rasgan el concreto compactable cuando tratan de empujar demasiado material y precompactan el material bajo los neumáticos. Por lo que se utiliza un cargador frontal para que extienda el material de tal forma que la motoconformadora no tenga que empujar demasiado, figura 5.3.7. En las zonas de precompactación posteriormente se llena con material adicional durante la operación de esparcido. Prevalece la inquietud de que el vibrocompactador pueda montarse sobre estas zonas precompactadas y puentear parcialmente sobre el material que queda entre los neumáticos.



FIGURA 5.3.5.- MOTOCONFORMADORA DISPERSANDO EL CONCRETO COMPACTABLE HASTA EL SITIO EXACTO.
BORDO DE PRUEBAS. PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

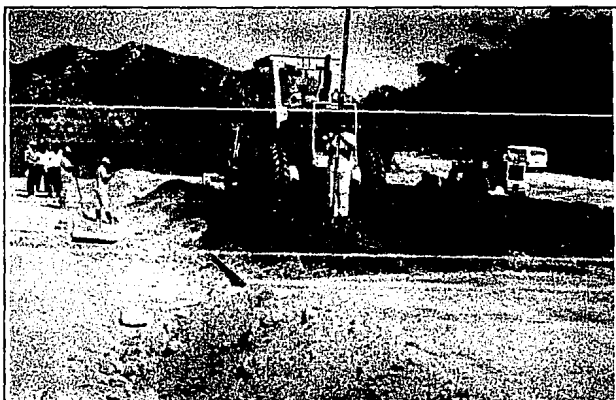


FIGURA 5.3.6.- CONTROL DE NIVELACION DE LA CAPA DE CONCRETO COMPACTABLE EN DESARROLLO.
BORDO DE PRUEBAS. PRESA SAN LAZARO, B.C.S.



FIGURA 5.3.7.- EL CONCRETO COMPACTABLE ES DISPERSADO INICIALMENTE POR UN CARGADOR FRONTAL, EVITANDO ASI, UNA SOBRECMPACTACION EN LA CAPA OCASIONADA POR EL PASO DE LOS NEUMATICOS DE LA MOTOCONFORMADORA AL EMPUJAR DEMASIADO EL MATERIAL, BORDO DE PRUEBAS, PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

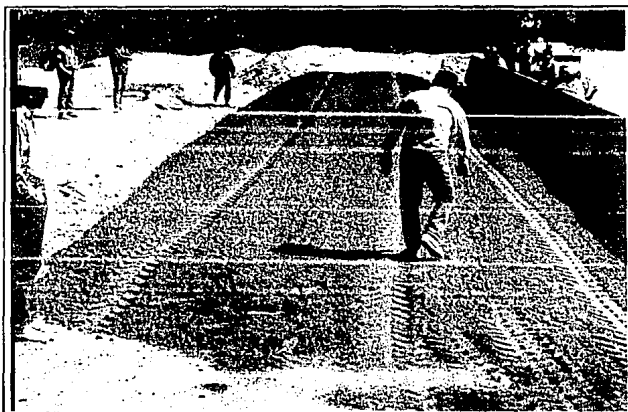


FIGURA 5.3.8.- CAPA DE CONCRETO COMPACTABLE ANTES DE SER SOMETIDA AL ESFUERZO DE COMPACTACION, BORDO DE PRUEBAS, PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

Para el acabado final la cuchilla de la motoconformadora se puede ajustar para que llegue más allá de las huellas de las ruedas a ambos lados para que ni el equipo ni el operador queden en la orilla de un colado en el talud de aguas abajo. La niveladora también resulta útil cuando se especifica una zona angosta de concreto compactable de mejor calidad para áreas como las que se encuentran en la orilla exterior corriente abajo. El equipo de acarreo no podrá vaciar la mezcla en esta área limitada, pero la motoconformadora puede esparcir el material vaciado más allá de sus áreas designadas figura 5.3.8.

V.4.- COMPACTACION

La compactación se inicia tan pronto como sea posible después de que el concreto compactable se encuentre esparcido. Esta actividad no debe rebasar un lapso de 10 minutos en finalizar.

Se ha usado y probado otros equipos y métodos de compactación con diversos resultados. Debido a la consistencia seca del concreto compactable, la fuerza dinámica que ejercen los rodillos vibratorios es fundamental para lograr el grado de compactación requerido.

De la gran variedad que existe en equipos de compactación, el vibrocompactador que tiene las siguientes especificaciones, ha demostrado ser de los más efectivos para compactar mezclas de concreto sin revenimiento, en la construcción de presas figura 5.4.1.

ANCHO DE LA OLLA	66 a 96 pulgadas (1.67 a 2.44m)
DIAMETRO DE LA OLLA	48 a 66 pulgadas (1.22 a 1.67 m)
PESO ESTATICO	21,000 LB-min. (9,526 kg)
FUERZA DINAMICA	350-550 LB por pulgada de ancho de la olla (6.3-9.8 kg por mm de ancho de la olla)
VELOCIDAD	1.5 MPH max. (0.67 metros por segundo)
POTENCIA DE LA MASA EXCENTRICA	125 HP min.
FRECUENCIA	1,800 VPM min.

La densidad máxima es uno de los parámetros que se debe controlar en cada capa que sea compactada. Las características de los agregados juegan un papel muy importante en éste punto, ya que de ellos depende el contenido de humedad óptima de la mezcla, que se determina con base a consideraciones de manejabilidad para una compactación adecuada que dé como resultado una densidad máxima. Si la humedad está por arriba o por abajo de este nivel, la densidad tiende a disminuir, de igual forma, la sobrecompactación o la falta de compactación también puede llevar a una densidad más baja, figura 5.4.2.



FIGURA 5.4.1.- VIBROCOMPACTADOR INICIANDO SU ACTIVIDAD EN LA CAPA DE CONCRETO -
COMPACTABLE YA COLOCADA.
BORDO DE PRUEBAS. PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

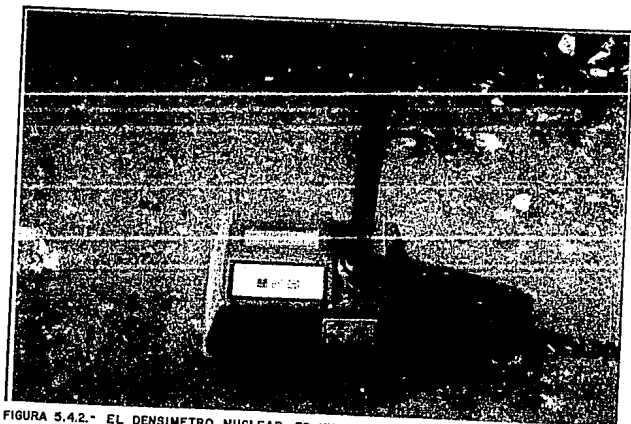


FIGURA 5.4.2.- EL DENSIMETRO NUCLEAR, ES UN EQUIPO QUE EN 60 SEG. PROPORCIONA
EL VALOR DE LA DENSIDAD SECA, HUMEDA Y EL PORCENTAJE DEL CON-
TENIDO DE HUMEDAD DE LA CAPA QUE ES MUESTREADA UNA VEZ YA
COMPACTADA.
BORDO DE PRUEBAS. PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

El contenido de humedad del orden del 5% de peso seco se ha utilizado con buenos resultados tanto en la manejabilidad de la mezcla como en la densidad y resistencia de la misma.

La vibrocompactación del concreto sin revenimiento se realiza en franjas longitudinales, traslapando el rodillo 40 cm. con la franja anterior como se aprecia en la figura 5.4.3.. La primera pasada se efectúa con el rodillo sin vibración, posteriormente de 3 a 6 pasadas con la aplicación de vibración se logrará la densidad máxima alcanzable.

El espesor de cualquier capa de concreto compactado con rodillo debe ser de por lo menos dos veces el tamaño máximo del agregado que se esta utilizando. La superficie con la mezcla fresca debe esparcirse uniformemente para que el rodillo produzca una fuerza de compactación uniforme bajo todo lo ancho del rodillo.

Es evidente que cada mezcla de concreto compactable tendrá su propio comportamiento característico y el contenido de humedad para su compactación. Esto dependerá de la temperatura, humedad, tiempo, plasticidad de los finos de los agregados, graduación general y agregados del tamaño máximo. En general, las mezclas de concreto sin revenimiento se deben compactar en una superficie relativamente lisa de textura cerrada. El material no se debe "pegar" al rodillo del compactador, ni se debe desarrollar humedad libre en la superficie, ésto indicaría que se está desarrollando una presión nociva en los poros dentro de la mezcla y un contenido excesivo de humedad.

En áreas estrechas y adyacentes a las cimbras, en afloramientos de rocas, etc., el compactador apisonador de pezuña tipo Wacker es el más adecuado, es móvil y puede producir una alta energía de impacto con buena densidad. Sin embargo, generalmente no deja una superficie lisa y no resulta apropiado cuando se apisonan grosores excesivos de concreto compactable, figura 5.4.4.

De esta forma el procedimiento constructivo del concreto compactado con rodillo es llevado a cabo hasta conformar el cuerpo de la cortina en su totalidad.



FIGURA 5.4.3.- EL VIBROCOMPACTADOR REALIZA DE 3 A 6 PASADAS PARA OBTENER EL GRADO DE COMPACTACION OPTIMO REQUERIDO.
BORDO DE PRUEBAS. PRESA SAN LAZARO, B.C.S.



FIGURA 5.4.4.- LA UTILIZACION DE COMPACTADORES MANUALES ES IMPORTANTE, SOBRE TODO EN AQUELLAS ZONAS EN LAS QUE EL VIBROCOMPACTADOR NO PUEDE LLEGAR DEBIDO A LAS DIMENSIONES DE SU RODILLO.
BORDO DE PRUEBAS. PRESA SAN LAZARO, B.C.S.

CONCLUSIONES

En la construcción de presas del tipo de gravedad, desde sus inicios se ha tratado de obtener nuevas técnicas que conlleven a realizar proyectos de mejor calidad con una disminución tanto en su costo, como en el tiempo de ejecución. Es así como, a principios de la década de los años setentas, se propuso el empleo de un material para la construcción de presas de éste tipo, al que se le llamo suelo-cemento. Después de haber transcurrido media década, las investigaciones realizadas y las crecientes mejoras, que tuvo ésta novedosa técnica, dio como resultado, la utilización de un nuevo procedimiento constructivo, en el que se requería el manejo de un concreto sin revenimiento que se coloca con maquinaria para movimiento de tierras al que se le llamo más tarde concreto compactado con rodillo.

La utilización de este procedimiento constructivo creció rápidamente, aumentando cada vez más el número de países que adoptan esta tecnología, así como, la aportación de nuevas experiencias en el conocimiento del material y su aplicación e incrementando la cantidad de proyectos en los que se decide el uso del CCR.

En México, la construcción de la presa La Manzanilla marco la pauta en la que se inicio la etapa de desarrollo de ésta tecnología en nuestro país, enriqueciendo el acervo en cuanto a obras hidráulicas se refiere.

En la presa La Manzanilla, fue también de valiosa ayuda, la construcción de un bordo de pruebas en el que se formularon las especificaciones de construcción y se ensayaron mezclas y equipos.

Las ventajas que ofreció éste procedimiento constructivo, de inmediato se dió a conocer tal como:

- El ahorro obtenido al reducir el consumo de cemento que era del orden de 125 kg/m³ de concreto compactado con rodillo. En tanto que para un concreto convencional se requería la utilización de el doble de la cantidad de cemento antes mencionada, lo que venia a repercutir directamente en el costo de la obra.
- Los requisitos de colocación continua y la reducción de tiempos muertos, hace que el procedimiento constructivo del CCR una vez iniciado, brinde una considerable reducción del 50% en el tiempo de ejecución de la obra.

Las ventajas y experiencias que se han obtenido de los proyectos realizados en México, aunados a las investigaciones ya realizadas en otros países, ofrece amplias perspectivas para continuar empleando el CCR con mayor seguridad y eficiencia.

Una de las principales características representativas de la mezcla que integran los materiales que se utilizan en el procedimiento constructivo del CCR, es la consistencia que se requiere para obtener una eficiente manejabilidad y trabajabilidad del concreto compactable. Los materiales deben cumplir especificaciones y requisitos mínimos, con objeto de obtener un producto de calidad.

La existencia de bancos para la explotación de materiales pétreos en la localidad de la obra, son fundamentales para tomar la decisión de utilizar el procedimiento constructivo del CCR.

En los agregados gruesos, el proporcionamiento depende de los resultados de la unión de huecos entre sus partículas, el área de la superficie y la forma de las partículas. La segregación de los agregados se incrementa al aumentar el tamaño máximo y la proporción. Mientras que, la compactación se incrementa con agregados de formas redondeadas y cúbicas, y disminuye con los de formas planas.

En los agregados finos, el contenido de huecos fluctúa normalmente entre 34-42% de peso varillado en seco, el cual será ocupado por el contenido de cemento, limos, agua y aire, lo que conforma la pasta o mortero que envolverá las partículas del agregado grueso.

La proporción de limos inorgánicos o cenizas volantes que se utilizan en la mezcla del concreto compactable, en cierta forma, trabaja como un sustituto del cemento y el agua que son economizados con éste procedimiento constructivo, dando una mejor manejabilidad al concreto sin revenimiento cuando se esté compactando.

El tipo de cemento que sea utilizado, tiene un efecto importante en cuanto a la obtención de resistencias altas a edades tempranas y a la velocidad de hidratación. Su selección se basa en los requisitos estructurales, la resistencia del concreto depende principalmente del proporcionamiento del agua y el cemento.

Las propiedades que posee el concreto compactado con rodillo están directamente relacionadas con las propiedades y características de los materiales que sirven para la producción del concreto compactable, ya que de éstas dependerá el diseño de la dosificación de la mezcla. Sin embargo, la relación agua-cemento es uno de los principales factores a que estarán sujetas las propiedades del CCR, por lo tanto, también de ésta relación dependerá el ahorro que se logre obtener del procedimiento constructivo en cuanto al costo de la obra.

El procedimiento constructivo del CCR, no es un procedimiento al cual se le deba tener cierta desconfianza; tanto en los resultados que se pueden obtener de él, mismos que ya se han comprobado en las experiencias realizadas en varias obras en diferentes países; y mucho menos que se tenga en un concepto de problema su utilización. Por el contrario, el procedimiento constructivo del CCR, para quienes han tenido la experiencia de conocer éste procedimiento, se han percatado que si la obra tiene una planeación adecuada en toda su amplitud, ésto redituará al proyecto los beneficios prestablecidos para los cuales fue contemplado. Pero si en la obra, se tiene una mala planeación, si se carece de los recursos humanos, materiales y equipo, más aun, de un programa de flujo de efectivo que amortice el monto de la obra, y sus trámites legales en orden, no tendrá ningún tipo de ahorro en cuanto a costo y tiempo de ejecución de la obra, sino por el contrario, se hará acreedor de una serie de problemas que pueden afectar la terminación del proyecto y la obtención de los beneficios que se perseguían.

Si se toma en cuenta lo antes mencionado, el Ingeniero Civil comprobará que el proceso constructivo del CCR en la construcción de una presa de éste tipo es tan sencillo como la colocación de un terraplen, en el que las propiedades y

características del material utilizado son similares a las de un concreto convencional, en el que la clave fundamental radica en la dosificación del concreto compactable, en el lapso mínimo de tiempo para su transportación, colocación y compactación; y en la continuidad que a ésta actividad se le de, desde el inicio hasta finalizar la conformación de la cortina.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Cannon, R. El Concreto Compactado con Rodillo y el rolacreto en las presas. Revista IMCYC, Vol. 24, No. 183, México, D.F., agosto 1986. Pp. 13-22
- 2.- Figueroa Gallo, D. El Concreto Compactado con Rodillos (CCR) y su control de calidad. Memoria. Reunión Nacional de Laboratorios de Materiales de Construcción. San Luis Potosí, México 1987. 19 Pag.
- 3.- IECA. Curso sobre el Hormigón Compactado con Rodillo en Presas. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, España, 1989. 171 Pag.
- 4.- Informe Técnico del Comité 207 del ACI. Roller Compacted Concrete", American Concrete Institute, Walter H. Price Chairman. 1980
- 5.- Mosqueda Tinoco, A. Presas de Concreto Rodillado. Revista Ingeniería Hidráulica en México, Vol. 1, Núm. 1, II época, México, D.F., 1985. Pp. 26-37
- 6.- Nieto R., José. Tecnología del Concreto Compactado con Rodillos. Revista Construcción y Tecnología, Vol. 1, No. 5, octubre de 1988, México.
- 7.- CNA, Especificaciones Técnicas de Construcción para la Presa San Lázaro, B.C.S., Gerencia de Construcción, 1993.
- 8.- SARH, Estudio Hidrológico. Proyecto "San Lázaro", B.C.S. Dirección General de Grande Irrigación, Subdirección de Programas y Estudios Específicos, México 1984.
- 9.- CNA, Estudio de Materiales para la Construcción de la Presa San Lázaro, B.C.S., expediente técnico de la Gerencia de Proyectos de Irrigación, Subgerencia de Ingeniería Experimental, 1993.
- 10.- Schrader, Ernest K. Concreto para Cortinas Compactado con Rodillos. Revista IMCYC, Vol. 20, Núm. 139. México 1982. Pp. 43-49.