



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

“INGENIERIA CIVIL”

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: Caso Presa El Realito “

PROYECTO TERMINAL

PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA EN CONSTRUCCION

PRESENTA

ING. VENANCIO ARMANDO GUERRERO LANDEROS

ASESOR

M.I. LUIS CANDELAS RAMIREZ

México D.F. Diciembre del 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A mi Facultad de Ingeniería, por abrirme las
aulas nuevamente...*



Agradecimiento especial a la residencia general de CONAGUA del proyecto el Realito, San Luis Potosí por las facilidades para la realización de este trabajo.

Ing. Santiago Durhan Acevedo. Residente General.
Ing. Arturo Velázquez Turruiates. Supervisor de Control técnico
Ing. Armando Ramírez. Control de calidad

EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO Y SUS APLICACIONES: CASO PRESA EL REALITO

INDICE

1. INTRODUCCION.....	6
2.- QUE ES EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.....	11
2.1 TIPOS DE CCR.....	13
2.1.1 ALTERNATIVAS DEL CCR.....	13
2.2 TIPOS DE PRESAS DE CCR.....	14
2.3 PRESAS DE CCR EN MEXICO.....	16
2.3.1 PRESA LA MANZANILLA. LEON GUANAJUATO, MEXICO.....	17
2.3.2 PRESA EL ZAPOTILLO. JALISCO, MEXICO.....	19
2.3.3 PROYECTO BALUARTE PRESIDIO " PRESA PICACHOS " MAZATLAN SINALOA, MEXICO.....	20
2.3.4. PRESA ROMPEPICOS, CORRAL DE PALMAS EN SANTA CATARINA. NUEVO LEON, MEXICO.....	21
2.3.5 PRESA SAN LAZARO LOS CABOS, BAJA CALIFORNIA SUR, MEXICO.	22
2.3.6 PRESA FRANCISCO J. MÚJICA. NUEVA ITALIA, MICHOACAN, MEXICO.....	24
2.3.7 PRESA REGULADORA AMATA SINALOA.	26
2.3.8 PRESA VINORAMAS. (ING. JUAN GUERRERO ALCOCER).MUNICIPIO DE CULIACÁN SINALOA. MEXICO.....	28
2.3.9 PRESA TRIGOMIL. GENERAL RAMÓN CORONA MADRIGAL.JALISCO, MEXICO.....	30
2.3.10 PRESA PANALES, JALISCO MEXICO.	33
2.3.11 PRESA REGULADORA, DERIVADORA Y CENTRAL HIDROELECTRICA "SAN RAFAEL" NAYARIT, MEXICO.....	35
2.4 USO MUNDIAL DEL CCR EN PRESAS.....	42
2.4.1 PRESA URUGUA-I) EN LA PROVINCIA DE MISIONES.ARGENTINA.....	44
2.4.2 LA PRESA DE LA BREÑA II, ESPAÑA.....	46
2.4.3 PROYECTO HIDROELECTRICO PALOMINO, REPUBLICA DOMINICANA.....	49
2.4.4 PRESA TASHKUMYR, RUSIA.DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.....	52
2.4.5 PRESA PIRRÍS, COSTA RICA. EN CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.....	53
2.4.6 PRESA RALCO EN CHILE.....	56
2.4.7 LA PRESA MIEL-I, COLOMBIA, CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.....	61
3. CARACTERISTICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR).....	66
3.1. CARACTERISTICAS.....	66
3.1.1. CARACTERISTICAS GENERALES.....	66
3.1.2. EL CONTENIDO DE CEMENTANTE (CEMENTO + PUZOLANA) DEL CCR.....	68
3.1.4 CONTENIDO DE AGUA.....	69
3.1.5 CLASIFICACION DEL CCR.....	70
3.1.6 PROPIEDADES DEL CCR.....	70
3.1.7 RESISTENCIA DEL CCR.....	71
3.1.8 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.....	71
3.1.9 RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	72
3.1.10 RESISTENCIA AL CORTANTE.....	73
3.1.11 CAPACIDAD DE DEFORMACION.....	73
3.1.12 CAMBIOS VOLUMETRICOS.....	74
3.1.13 ELASTICIDAD.....	74
3.1.14 FLUENCIA.....	75
3.1.15 PERMEABILIDAD.....	75
3.1.16 POROSIDAD.....	76
3.1.17 DURABILIDAD.....	77
3.1.18 JUNTAS DE CONTRACCIÓN.....	77
3.1.19 PARÁMETROS A TENER EN CUENTA EN EL CCR.....	78
3.1.20 VENTAJAS DEL SISTEMA.....	78
3.1.21 VENTAJAS FRENTE A LAS PRESAS DE MATERIALES SUELTOS.....	79

3.1.22 DESVENTAJAS.....	80
3.2 CAPACIDAD DE ADHERENCIA ENTRE CAPAS DE CCR EN PRESAS.....	84
3.2.1 ANTECEDENTES.....	84
3.2.2 DESARROLLO.....	84
3.2.3 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN.....	84
3.2.4 CILINDROS ELABORADOS EN EL LABORATORIO.....	85
3.2.5 ENSAYOS DE TENSIÓN DIRECTA.....	85
3.2.6 ENSAYOS DE COMPRESIÓN.....	86
3.2.7 ENSAYOS DE TENSIÓN INDIRECTA.....	86
3.2.8 PERFORACIONES DEL PROYECTO MIEL I.....	86
3.2.9 CONCLUSIONES.....	88
3.3 CONTROL DE CALIDAD.....	88
3.3.1 AGREGADOS.....	89
3.3.2 RELACIÓN DE PRUEBAS AL CCR, EN ESTADO FRESCO.....	90
3.3.3 ADECUACIÓN.....	90
3.3.4 MUESTREO.....	91
3.3.5 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL CCR.....	91
3.3.6 MEDICIÓN DEL TIEMPO VEVE.....	91
3.3.7 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE.....	91
3.3.8 CALCULO DE LA DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA SIN AIRE (TAFD).....	92
3.3.9 FABRICACIÓN DE CILINDROS.....	92
3.3.10 PROCEDIMIENTO.....	92
4. APLICACIONES.....	93
4.1 UTILIZACION EN PRESAS.....	93
4.1.1 USOS DE LAS PRESAS DE CCR.....	93
4.1.2 REPARACIONES RÁPIDAS.....	94
4.1.3 ATAGUÍAS DE CCR.....	94
4.1.4 EL USO DEL CCR EN LA CONSERVACIÓN DE PRESAS DE TIERRA.....	95
4.1.5 PAVIMENTOS DE CCR.....	95
4.1.6 BACHEO DE VÍAS UTILIZANDO CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.....	96
4.1.7 DISEÑO DE LA MEZCLA PARA BACHEO.....	96
4.1.8 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL BACHE.....	97
4.1.9 REPARACIÓN DE LOS BACHES.....	97
4.1.10 CONCLUSIONES.....	98
4.2 PROCESOS CONSTRUCTIVOS.....	98
4.2.1 INTRODUCCION.....	98
4.2.2 FABRICACION.....	102
4.2.2.1 PRODUCCION DE AGREGADOS Y LOCALIZACION DE LA PLANTA.....	102
4.2.2.2 PLANTAS DE PRODUCCIÓN DEL CONCRETO.....	102
4.2.2.3 MEZCLADO DE CCR.....	102
4.2.2.4 MEZCLADO INTERMITENTE CON MEZCLADORA DE TAMBOR.....	103
4.2.2.5 MEZCLADORAS CONTINUAS.....	103
4.2.2.6 CAMIONES MEZCLADORES COMUNES.....	104
4.2.2.7 PLANTA PUG MILL.....	104
4.2.3. TRANSPORTE.....	104
4.2.3.1 SELECCIÓN DE EQUIPO.....	105
4.2.3.2 METODOS DE TRANSPORTE.....	105
4.2.3.3 TRANSPORTE INTERMITENTE.....	106
4.2.3.4 EQUIPO SIN AGITACION.....	106
4.2.3.5 EQUIPO CON AGITACION.....	106

4.2.3.6	TRANSPORTE CONTINUO CON BANDAS.....	106
4.2.3.7	CANALETAS POR VACÍO.....	108
4.2.3.8	TRANSPORTE POR TUBERÍA.....	108
4.2.4	CONSIDERACIONES PARA LA SEGREGACION.....	109
4.2.5	COLOCACION.....	109
4.2.6	PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE UNA COLADA.....	110
4.2.7	COLOCACION Y DISTRIBUCION.....	111
4.2.7.1	COLADO INTERMITENTE.....	112
4.2.7.2	COLADO CONTINUO.....	112
4.2.8	CAPAS INCLINADAS.....	112
4.2.9	TIEMPO DE COLOCACIÓN.....	114
4.2.10	JUNTAS DE CAPAS.....	115
4.2.10.1	JUNTAS HORIZONTALES.....	116
4.2.11	TRATAMIENTO DE LA JUNTA DE LAS CAPAS.....	116
4.2.12	JUNTAS DE CONTRACCION.....	117
4.2.13	CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS.....	117
4.2.14	CIMBRAS Y PARAMENTOS.....	118
4.2.15	FORMAS PREFABRICADAS.....	118
4.2.16	COLOCACIÓN DE LA FORMALETA.....	119
4.2.17	COMPACTACION.....	119
4.2.18	SELECCIÓN DE RODILLO.....	120
4.2.19	PASADAS MINIMOS Y ESPESORES DE CAPA.....	120
4.2.20	CURADO Y PROTECCIÓN.....	123
4.2.21	GALERIAS Y DRENAJE.....	124
4.2.22	CONTROL DE CAMPO.....	125
4.2.23	CONCLUSIONES.....	126
4.3	DISEÑO DE MEZCLAS.....	126
4.3.1	PROPIEDADES.....	126
4.3.2	DISEÑO.....	127
4.3.3	MATERIALES.....	127
4.3.3.1	CEMENTO.....	127
4.3.3.2	AGREGADOS.....	127
4.3.3.3	ADICIONES EN EL CONGLOMERANTE.....	129
4.3.3.4	CENIZA VOLANTE.....	130
4.3.3.5	CEMENTO CON ALTOS VOLÚMENES DE ESCORIA.....	131
4.3.3.6	FINOS MANUFACTURADOS.....	131
4.3.3.7	ADITIVOS.....	131
4.3.4	CRITERIOS DE DISEÑO DEL CCR.....	132
4.3.5	DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA.....	133
4.3.6	PRUEBAS.....	134
4.3.7	TIPOS DE MEZCLAS.....	134
4.4	BORDO DE PRUEBA.....	135
4.5	DIAGRAMA DE FLUJO PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CCR.....	137
4.6	PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA UNA PRESA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO "CCR".....	140
4.7	PROCESO CONSTRUCTIVO EN PAVIMENTOS.....	140
4.7.1	DISEÑO.....	140
4.7.2	DISEÑO DE LA MEZCLA.....	140
4.7.3	MATERIALES.....	141
4.7.3.1	CEMENTO.....	141
4.7.3.2	AGUA.....	141
4.7.3.3	ADITIVO.....	142
4.7.4	DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA.....	142

4.7.5	PRUEBA Y SECCIÓN DE PRUEBA.....	143
4.7.6	TRANSPORTE.....	143
4.7.7	PAVIMENTACIÓN (TENDIDO).	143
4.7.8	COMPACTACIÓN.	144
4.7.9	JUNTAS.....	140
4.7.10	JUNTAS LONGITUDINALES DE CONSTRUCCIÓN (JUNTAS DE CARRILES).....	140
4.7.11	JUNTAS TRANSVERSALES.....	145
4.7.112	CURADO Y PROTECCIÓN.....	145
4.7.13	UTILIZACION.....	147
5.- CASO PRACTICO “PRESA DE ALMACENAMIENTO EL REALITO”.....		148
5.1	ANTECEDENTES.....	143
5.2	CONSTRUCCION.....	150
5.2.1	BORDO DE PRUEBA.	150
5.2	RESULTADOS OBTENIDOS DEL BORDO DE PRUEBA	154
5.2.3	COLOCACION DE MATERIALES EN LA CORTINA.....	155
5.2.4	BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO.....	156
5.2.4.1	BANCOS DE DEPOSITO TEMPORAL.	156
5.3	CONCRETOS UTILIZADOS.....	157
5.3.1	CONCRETO CONVENCIONAL.	158
5.3.2	CEMENTO.	158
5.3.3	ALMACENAJE.....	158
5.3.4	ADITIVOS PARA CONCRETO.	159
5.3.5	TRANSPORTE.....	160
5.3.6	SUMINISTRO DE AGUA PARA CONCRETO CONVENCIONAL Y CCR.	160
5.3.7	AGREGADOS PARA CONCRETO CONVENCIONAL.	160
5.3.8	AGREGADOS PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR) Y DE LIGA.	161
5.3.9	CLASIFICACION.....	162
5.4	FABRICACION, TRANSPORTE Y COLOCACION DE CONCRETO CONVENCIONAL.	163
5.4.1	MUESTREO Y PRUEBAS DE LABORATORIO DE CAMPO.	164
5.4.2	MEZCLADO.....	164
5.4.3	TRANSPORTE.....	164
5.4.4	COLOCACION.	164
5.4.5	FORMAS PREFABRICADAS DE CONCRETO.	166
5.4.6	COLOCACION CON BOMBA.....	168
5.4.7	TEMPERATURA DE COLOCACION.....	168
5.4.8	HILADAS DE CONCRETO.....	168
5.4.9	VIBRADO DEL CONCRETO CONVENCIONAL.	169
5.5	FABRICACION, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO Y DE LIGA.	169
5.5.1	CONCRETO DE LIGA.....	169
5.5.2	PROPORCIONAMIENTO.	171
5.5.3	MUESTREO Y PRUEBAS DE LABORATORIO DE CAMPO.	171
5.5.4	MEZCLADO.....	172
5.5.5	TRANSPORTE.	172
5.5.6	COLOCACION.....	173
5.5.6.1	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE MEZCLADO Y COLOCACION.....	175
5.5.6.2	TEMPERATURA DE COLOCACION.	175
5.5.7	COMPACTACION DEL CCR Y CONCRETO DE LIGA.	175
5.5.8	JUNTAS “FRIAS”, DE CONSTRUCCION Y DE CONTRACCION EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.	179
5.5.8.1	JUNTAS FRIAS.....	179
5.5.8.2	JUNTAS DE CONSTRUCCION.....	179
5.5.8.3	JUNTAS DE CONTRACCION.....	180
5.6.	FORMACION DE LA GALERIA Y ACCESO DENTRO DE LOS CONCRETOS COMPACTADO CON RODILLO Y DE LIGA.....	180

5.7. CURADO Y PROTECCION DE CCR, DE LIGA Y DEL CONCRETO CONVENCIONAL.....	181
6. CONCLUSIONES.....	184
Anexo 1 CONTROL DE CALIDAD DURANTE LA CONSTRUCCION DE PRESAS DE CCR.....	188
Anexo 2 IDENTIFICACION DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO EN EL CCR, UN VIEJO PROBLEMA RESUELTO A TRAVES DE UNA NUEVA TECNOLOGIA.....	202
Anexo 3 DISEÑO DE MEZCLAS DE CCR UTILIZANDO CONCEPTOS DE .COMPACTACION DE SUELOS	209
Anexo 4 PAVIMENTANDO CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR).....	215
Anexo 5 ESPECIFICACIONES DE PRESA REGULADORA AMATA SINALOA DE (CCR).....	217
Anexo 6 PROYECTO SAN RAFAEL, NAYARIT, MEXICO. ESPECIFICACIONES PARA CCR.....	233
Anexo 7 PROCEDIMIENTO DE CONTROL PARA LA FABRICACION, TRANSPORTE, COLOCACION, TENDIDO, COMPACTADO Y CURADO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR).....	242
7. BIBLIOGRAFIA.....	246

1. INTRODUCCION



Fig.1.1 PRESA DE CCR, LONGTAN, CHINA

Considerado como uno de los avances mas grandes que ha tenido la tecnología del concreto aplicada al diseño de presas, el Concreto Compactado con Rodillo, comúnmente llamado CCR por sus iniciales, representa una buena alternativa gracias a algunas ventajas como son rapidez en la construcción y el contenido muy reducido de cemento, lo que condiciona una opción bastante económica a la hora de comparar costos finales de obra.

Actualmente el Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es una técnica que se está empleando alrededor del mundo para la construcción principalmente de presas y la reparación de éstas.

La construcción de CCR originalmente se considero y evoluciono como un medio para diseñar y construir cortinas de costo mas bajo y que su construcción se pudiera hacer con rapidez. Se tomo en cuenta como una alternativa de costo mas bajo para las cortinas de tierra y de relleno rocoso. Sin embargo, tan pronto como se estuvieron considerando y usando como alternativa para las cortinas de concreto convencional, una de las primeras propuestas para la construcción de una cortina de CCR se recomendó que se aplicaran los principios de tierra estabilizada con cemento al colado de un terraplén con material granular en bruto enriquecido con cemento, con la aplicación de equipo grande para movimiento de tierra y compactación. Este material estabilizado con cemento tendría que incrementar la resistencia al corte, permitiendo de esta manera una reducción importante de la sección transversal de la cortina, en comparación con una cortina típica de terraplén.

Bajo la denominación de concretos compactados (CCR) se engloba una serie de mezclas de cemento y agregados seleccionados, con un contenido de agua suficiente reducido para permitir su compactación con rodillos.

La rapidez de la puesta en obra, el relativamente bajo contenido de cemento y la utilización de aditivos minerales (cenizas volátiles, filler calizo, residuos mineros, etc.), explican el motivo por el cual este material es económicamente interesante para la industria de la construcción.

En el desarrollo de esta tecnología y del diseño de las mezclas CCR han surgido dos filosofías, la filosofía de Suelos o Geotécnica y la de Concreto que se basan en optimizar la unión de dos conceptos muy usados en la construcción de vías: El Suelo-Cemento, donde se considera al CCR como un suelo procesado o una mezcla de agregados enriquecidos con cemento, cuyo diseño se basa en las relaciones de humedad y densidad que puede ser tratado como un suelo procesado desde la fase de diseño hasta su colocación y la realización de los ensayos de campo del material, haciendo uso de equipos y procedimientos familiares a la Mecánica de Suelos, y por otro lado, el Concreto Pobre, donde el CCR se define como una concreto cuya resistencia y otras propiedades dependen de la relación agua/cemento establecidos en ensayos anteriores y que después de colocado el CCR debe ser curado y tratado como si fuera un concreto convencional.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Cabe indicar que en los primeros, el nombre de concretos compactados se reserva para las mezclas con un contenido de cemento del mismo orden que el de los concretos vibrados para pavimentos, entre 280 y 330 kg/m³ habitualmente, mientras que aquéllas con dosificaciones más reducidas reciben diversas denominaciones: gravas cemento, concretos magros, bases tratadas con cemento, etcétera.

Por el contrario, en las presas se incluyen bajo el término de concretos compactados todos los tipos de mezclas, tanto los de mayor como los de menor dotación de conglomerante.

En ambos casos se trata, en definitiva, de obtener unos materiales que una vez endurecidos presenten características similares a las de los concretos convencionales vibrados, pero en cuya puesta en obra puedan utilizarse los equipos y métodos de construcción de terraplenes y presas de materiales sueltos (motoniveladoras, rodillos, etc.), cuyo rendimiento es muy superior al de la ejecución con cimbra.

No obstante, los concretos compactados para pavimentos muestran unas diferencias muy marcadas respecto a los empleados en presas, a aquéllos se les exige, por ejemplo, que una vez compactados cumplan unas exigencias de regularidad superficial que son irrelevantes en las presas; mientras en estas últimas se imponen unas condicionantes de impermeabilidad, tanto del material en sí, como de las uniones entre las distintas capas, que carecen de importancia en los pavimentos, por ello, ambos tipos de aplicación deben analizar por separado.

Las aplicaciones más comunes de esta técnica son aquellas en las que se pueden construir en una o varias capas con una gran relación superficie/espesor, como en los pavimentos y las presas.

HISTORIA Y EVOLUCION

La construcción en el mundo de presas en concreto convencional, con una altura superior a 15 m, presentan un descenso del 22 % desde 1950 hasta 1982; esta tendencia descendente se atribuye a la construcción de presas en materiales sueltos o enrocado, debido al perfeccionamiento de los equipos capaces de mover grandes volúmenes de material, compactar tierras y material granular con rendimientos más elevados, bajando los costos de la construcción en serie y mecanizada.

Por consiguiente, en los años 60 es una necesidad el diseño de presas de gravedad en concreto, combinando las ventajas de utilizar en lo posible los grandes equipos de la puesta en obra (transporte y colocación) de las presas de materiales sueltos con las ventajas del concreto como materiales de construcción, dando origen a lo que es hoy el Concreto Compactado con Rodillo, material de aplicación más rápida, seguro y económico.

La primera colocación del CCR se realizó en la presa de escollera de Shihmen (Taiwan) en 1960 -1961, para la ejecución del núcleo con una dosificación por metro cúbico de 120 kg de conglomerante con sustitución del 50 % en peso por cenizas volantes, cuya mezcla una vez extendida se compactó con el paso de los camiones de transporte, ya que no se consideraba compactar con rodillo vibratorio.

En los años 1961-1965 se construyó la presa Alpe Gera en Italia con una altura de 175m, colocando un concreto continuo por capas de 70 cm. de un estribo a otro utilizando 115kg de conglomerante por m³ de concreto compuesto por un 40% de clínker de Portland, 57% de escoria básica granulada y 3% de yeso, usando arido del río con un tamaño máximo de 13cm. se colocaron 1800 000 m³ de CCR sin refrigerar, alcanzando una temperatura máxima de 34°C, el cual se extendió con bulldozer y se compactó con batería de vibradores montados sobre bulldozer, aun no con rodillo vibratorio, alcanzando un ritmo de colocación de 7000 m³ diarios y 147 000 m³ en un mes, con una planta de amasado con capacidad para producir 400 m³/h de concreto. Las juntas se cortaron con cuchilla mecánica antes de la compactación. El paramento de aguas arriba se impermeabilizó con una chapa de acero que sirvió de formaleta .

En estos mismos años los canadienses construyeron los estribos de la presa de gravedad Manicougan 1, con una altura de 18m, utilizando 10,000 m³ de un CCR pobre y continuo en el centro, otra mezcla con alto contenido de conglomerante aguas arriba y bloques de concreto aguas abajo.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Ya en la década de los setenta el Concreto Compactado con Rodillo comenzó a emplearse como tal, ya con la utilización de rodillo vibratorio para su compactación. Fue dado a conocer en conferencias de la Engineering Foundation, dictadas en Asimolar, California, entre los años 1970 y 1972.

En la conferencia, titulada “Construcción económica de Presas de Concreto”, cuando Robert W. Cannon presentó la ponencia “Construcción de Presas de Concreto Usando Métodos de Compactación de Tierra”. Posteriormente en 1972, en el simposio “Nuevos Métodos de Mezclado y Colocación de Concreto”, celebrado en Dallas, Texas, Cannon mostro los resultados positivos de pruebas aplicadas a concreto transportado por camiones, extendido por un cargador frontal y compactado con rodillo vibratorio.

Pero es quizás hasta los años de 1974 y 1975 en la construcción de la presa de Tarbela en Pakistán, cuando hace su ingreso el CCR como un material competitivo en la construcción de presas, en la cual se colocaron mas de 2.5 millones de m³ de CCR. La construcción inicial fue la sustitución de una escollera de protección, seguida de la reparación del cuenco amortiguador y de la contrataguia. El transporte del concreto se realizo con dumpers y traillas, y la compactación se hizo con rodillo vibrante.

Asimismo, el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos de América realizo extensos estudios de factibilidad sobre este material, el cual también fue probado en Japón. Pero no fue hasta 1982 que se dio fin a la presa William Creek, en Oregón, E.U., que se construyo una presa hecha exclusivamente con CCR con lo cual se generalizo su uso siendo la primera presa en este sistema en el mundo.

Con base a las experiencias descritas anteriormente, varios ingenieros en la decada de los ochenta proponen el uso del CCR como una alternativa rapida, economica, tecnicamente apta y segura para la construcción y rehabilitación de presas. Desde entonces cada vez son más las obras en que se evalúa y se decide por el CCR como el mejor material para la conformación de presas, aceptandose en todo el mundo como el método para la construcción de presas de mediana altura, hasta finales de 1992 se habían construido aproximadamente cien presas CCR en 17 países diferentes.

UNA DE LAS PRIMERAS PRUEBAS Y USOS DEL CONCRETO MASIVO CCR FUERON LOS SIGUIENTES:

1972; Cannon informo acerca del uso de concreto pobre con agregado de tamaño máximo de 75 mm, compactado con rodillo vibratorio, en un proyecto de la Tennessee Valley Authority (TVA).

1973; El U.S Army Corps of Engineers estudio secciones de prueba de varios métodos de construcción RCC, cerca de la presa de Lost Creek en Oregón.

1974 a 1982; Se usaron mas de 2.5 millones de metros cúbicos de CCR en la presa de Tarbela, Pakistán, para una obra de rehabilitación después que la cortina fue sujeta al llenado del vaso.

1976; en la Bellefonte Nuclear Plant de la TVA, se usaron 6000 m³ de CCR para levar la base del edificio de la turbina.

1978; Los japoneses estuvieron entre los primeros en usar el CCR para la construcción de cortinas a gran escala. Se uso para el cuerpo principal de la presa de Shimajigawa.

1982; En los Estados Unidos, la primera construcción de una cortina a plena escala de CCR fue la presa de Willow Creek en Heppner, Oregón. Construida por el U.S Army Corps of Engineers, en esta cortina de 50 m de altura se colocaron alrededor de 330000 m³ de CCR en menos de 7 meses.

1987; El U.S Bureau of Reclamation (USBR) completo la presa del Upper Stillwater en UTA, con 1.1 millones de metros cúbicos de CCR.



Fig. 1.2 PRESA ALPE GERA,ITALIA 1965

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

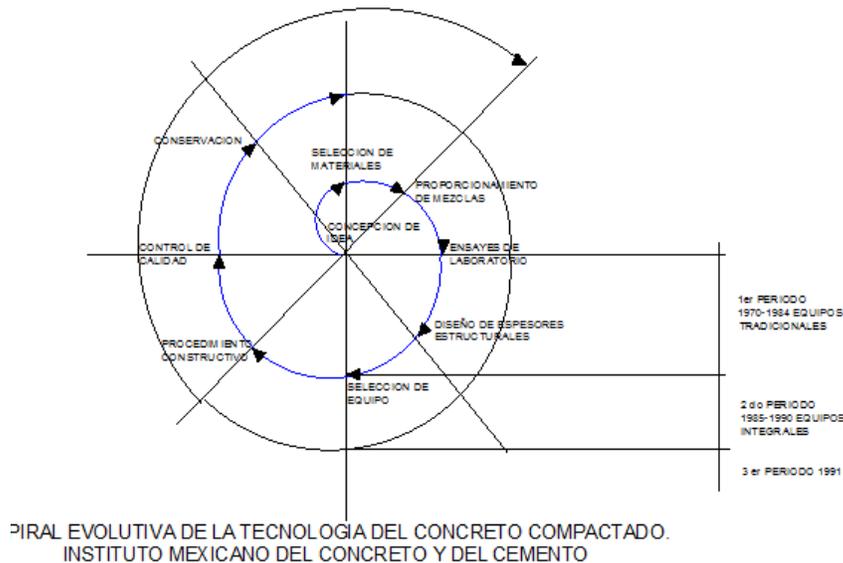


FIG. 1.3 ESPIRAL EVOLUTIVA DE LA TECNOLOGIA DEL CCR.

HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL CCR EN PAVIMENTOS.

Fundamentalmente, el diseño y construcción del pavimento de CCR surgió del uso a largo plazo de la tierra estabilizada con cemento y la base tratada con cemento (CTB. cement-treated base) para la capa de base de los pavimentos. En la década de 1970, los ingenieros canadienses en la British Columbia avanzaron hacia el uso de agregado grueso en la mezcla, con contenidos relativamente elevados de cemento, para formar una base de mayor calidad. El paso siguiente fue usar este CCR como un pavimento completo, sin otra capa de acabado.

El primer uso se hizo en un patio de clasificación de troncos en Caycuse, en la isla de Vancouver, en 1976. Esto probó tener gran éxito al resistir las cargas en extremo pesadas y la abrasión del equipo de explotación forestal, aun cuando se construyó sobre una mala subrasante. Desde entonces, se han utilizado los pavimentos de CCR para numerosos pavimentos de servicio pesado en el oeste de Canadá.

El primer uso moderno del pavimento de CCR en Estados Unidos se hizo en una instalación de prueba con mucho éxito, para un camino de servicio en la USA. Army Waterways Experiment Station en Vicksburg, Mississippi, en 1975. El primer pavimento significativo de CCR en E.U. fue una gran área de estacionamiento para tanques y otros vehículos de oruga en Ft. Hood, Texas, en 1984. Estos fueron seguidos por varios pavimentos de servicio pesado en diversas bases militares y numerosos pavimentos comerciales de tráfico intenso, en particular en áreas de muelles y patios de carga intermodal, construyéndose para manejar cargamentos en contenedores y el equipo de carga en extremo pesado que se requiere para manejar esos contenedores.

Dos de los proyectos más grandes de pavimentación con CCR se construyeron durante el periodo 1989-1990:

1) Carreteras y lotes de estacionamiento para vehículos a oruga, con un área total de 324000 m², en Ft. Drum, cerca de Watertown, New York, y

2) Carreteras y lotes de estacionamiento, con un área total de 405000 m², para la nueva planta de producción Saturn División de la General Motors Company, cerca de Spring Hill, Tennessee. Todos estos pavimentos de CCR se han estado comportando con bastante éxito. En otros países en todo el mundo se ha sacado ventaja del pavimento de CCR para numerosas aplicaciones.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

La utilización del concreto compactado con rodillo en gran escala comienza con la pavimentación de superficies destinadas al acopio de grandes troncos en la Columbia Británica, Canadá, en 1976. Se elige este pavimento por su elevada capacidad de soporte y probabilidad de larga vida de servicio.

A partir de 1980 esta técnica es utilizada en Estados Unidos, Francia, China y Escandinavia. El cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. ha utilizado 185.000 m³ de concreto compactado con rodillo en los primeros 5 meses de 1985 y la demanda de este tipo de concreto para obras viales sigue creciendo.

Se está utilizando como subbase de un pavimento de concreto convencional, como capa inferior de un pavimento compuesto de dos capas de concreto adheridas, como base para capas asfálticas superficiales, como base para un pavimento de bloques de concreto y para pavimentos de banquetas.

CRONOLOGIA DEL CCR EN PAVIMENTOS

1865 –Escocia, primer pavimento de CCR. La técnica prevaleció por 50 años.

1914- Se continuó utilizando la compactación con rodillo pero para el proceso constructivo de bases estabilizadas con cemento.

1970-los pavimentos modernos de CCR se construyeron en Europa para caminos de bajo volumen de tránsito.

1970- los pavimentos modernos de CCR se construyeron en Europa para caminos de bajo volumen de tránsito.

1975- EUA construye patios de maniobras de bases militares.

1976 –Canadá los empleo para tránsito pesado, en industrias forestal

1980-Francia, Noruega, Suecia, Finlandia, Bélgica, Dinamarca, Alemania, España, Japón y Argentina construyen pavimentos de CCR en cantidades considerable.

1980 –Chile, Venezuela, Uruguay, México, Colombia, Islandia, Eslovenia, Nueva Zelanda, Sudáfrica y Ecuador construyen pavimentos de CCR en menor escala o en tramos experimentales.

1991- En Ecuador, particularmente, el uso de pavimentos de CCR ha ido ganando interés tanto en vialidad urbana como en instalaciones industriales.

2002- En Costa Rica el ICCYC adquiere la primer pavimentadora para colocar CCR.

2002-04 – El grupo Holcim construye un total de 60 000 m² de pavimentos de concreto compactado con rodillo en Costa Rica.



PRESA JIANGYA

Fig. 1.4 LA MAQUINARIA EMPLEADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTE TIPO DE PRESAS ES LA MISMA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS DE TIERRA.

El CCR se considera como una alternativa en la construcción de presas por su bajo costo y rápida construcción en comparación con las presas de tierra enrocamiento o de concreto convencional, siempre y cuando el sitio de colocación cuente con el acceso y suficiente espacio, para los equipos de transporte, colocación, tendido y compactación del mismo CCR.

2.- QUE ES EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO



Fig.2.1 CONCRETO DE CONSISTENCIA SECA, REVENIMIENTO CERO

El CCR es un concreto con características muy similares al concreto convencional en cuanto a su comportamiento estructural y apariencia, pero con diferencias importantes en las características de la mezcla y en su proceso de fabricación y colocación. En el proceso constructivo se busca altos rendimientos, similares a los obtenidos en los movimientos masivos de materiales sueltos. Dado que se trata de una estructura muy masiva y de alto volumen, se requiere diseñar una mezcla de concreto con bajos calores de hidratación y en la que sea controlado el fisuramiento por su enfriamiento posterior.

Para lograr el objetivo anterior, el diseño de mezcla del CCR debe tener el menor contenido de cemento posible que se cumpla con el requerimiento estructural y una consistencia seca. Se emplean materiales cementantes de lenta generación de resistencia y calor, principalmente las puzolanas. En su fabricación es usual el enfriamiento previo del agua y de los agregados. Su transporte y colocación se hace con los equipos convencionales para los movimientos de tierra.

El concreto compactado con rodillos (CCR) es un concreto pobre de consistencia seca, de revenimiento cero, es una mezcla homogénea de agregados, cemento y un contenido de agua suficientemente bajo como para permitir su compactación en la obra con rodillos vibratorios que se coloca de forma continua y también se pueden emplear materiales cementantes suplementarios, tales como ceniza volante.

Es decir, el concreto Compactado con Rodillo (CCR) es un material que por su dosificación y consistencia difieren del concreto convencional, y técnica puesto que su manejo requiere un procedimiento diferente al utilizado en el concreto convencional.

Puede ser simplemente definido como un concreto especial que es compactado con un rodillo vibratorio o equipos de compactación de placa. ; Concreto que, en su estado no endurecido, soportara un rodillo mientras se esta compactando".

Este concreto es más que un nuevo material; es un nuevo método de construcción con el cual se obtienen beneficios específicos. En estado fresco presenta una consistencia seca y una relación entre sus materiales constituyentes tal que hace posible la circulación de los equipos vibratorios de compactación antes de que se endurezca la mezcla.

Las aplicaciones para el CCR se dividen en dos categorías: estructuras de control de agua (presas) y pavimentos. Aunque el mismo término se usa para describir ambos los tipos de uso de concreto, el diseño y los procesos de construcción son diferentes.

Se define el concreto compactado con aplanadora (CCR, Soller-compacted concrete) como: "concreto que se compacta por medio de compactación de rodillos".

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

En esencia, las propiedades del CCR endurecido son las mismas que las del concreto de cemento Pórtland colado en forma convencional y el producto endurecido en su lugar debe considerarse sencillamente como "concreto". El equipo que se usa para el transporte, colado y compactación del CCR consta de un equipo de alta capacidad usado para la construcción de obras de tierra y para la construcción de pavimentos de asfalto. Se requiere mucho menos mano de obra para la construcción con CCR que para la construcción con concreto convencional

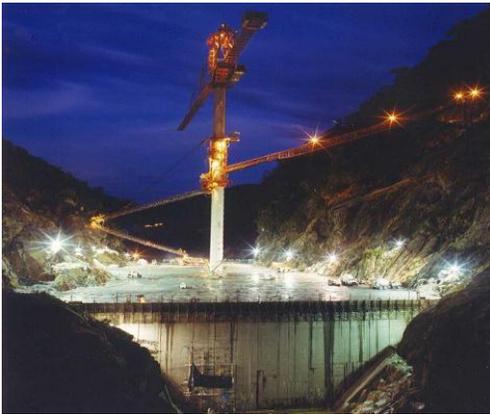


Fig. 2.2 PROYECTO HIDROELECTRICO MIEL I, COLOMBIA



Fig. 2.3 INSPECCION AL TACTO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE CCR

El concreto compactado con rodillo es una técnica de la ingeniería para construir obras civiles tales como presas y pavimentos utilizando un concreto no convencional. Consiste en emplear mezclas de concreto con un contenido de cemento similar (60 – 400 kg / m³), aunque ligeramente menor, al del concreto convencional vibrado, con un tamaño máximo del agregado grueso no superior a 19 mm., pero con una relación agua/cemento muy baja (0.25-0.40) que lo hace muy seco, sin revenimiento en el cono de Abrams, de trabajabilidad tal que se consolida por vibración externa por medio de rodillos vibratorios.

El mezclado se realiza con mezcladoras convencionales, mezcladoras continuas o, en algunos casos, camiones mezcladores de tambor basculante.

Dentro de sus características principales podemos encontrar una mayor resistencia en sus propiedades mecánicas con una presencia menor de cemento y además el beneficio de poder instalar grandes volumen en un periodo de tiempo corto. En el, los agregados juegan un papel importante en los costos ya que deberán considerarse que estén cerca de la zona que cumplan las exigencias, que minimicen los vacíos en la mezcla y por lo tanto, la cantidad de mezcla (cemento, puzolanas y agua) necesaria para alcanzar las exigencias a compresión.

Este tipo de concreto es de muy baja fluidez, no medible mediante el ensayo de asentamiento de cono, por lo que es posible utilizar rodillos vibratorios para su compactación.

Con respecto al concreto convencional para pavimentos, el CCR tiene alrededor de un 3% menos de cemento; un 10% menos de agregado grueso; un 15% más de agregado fino; 0.10 menos de relación agua/ cemento; y aproximadamente la mitad menos de agua.

La teoría del CCR se basa en optimizar la unión de dos conceptos muy usados en la construcción de vías: El Suelo-Cemento, donde se considera al CCR como un suelo procesado o una mezcla de agregados enriquecidos con cemento, cuyo diseño se basa en las relaciones de humedad y densidad, y por el otro lado, el Concreto Pobre, donde el CCR se define como un concreto cuya resistencia y otras propiedades dependen de la relación agua/cemento establecidas en ensayos anteriores.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

2.1 TIPOS DE CCR

Se han empleado dos tipos generales de construcción con CCR:

1.-CCR "masivo" de bajo contenido de cemento, para la construcción de cortinas de presas y otras estructuras masivas (muros de retención, estanques de colchón hidráulico, diques, etc.), en donde la alta resistencia no es un requisito.

2.- CCR de contenido de cemento relativamente alto, para pavimentos y revestimientos similares en donde la resistencia es crítica y en donde la superficie debe soportar la abrasión del tráfico.

Aun cuando los dos tipos de construcción se mencionan como CCR y aplican muchas de las mismas técnicas de construcción, en realidad no están mas relacionadas que el concreto masivo convencional y el pavimento de concreto convencional. Los dos tipos en realidad dependen de equipo de construcción de alta calidad y los dos tipos se compactan con rodillos vibratorios de acero, pesados y de tambor dual. Sin embargo, como las mezclas usadas y los procedimientos de construcción que se aplican son tan diferentes, es recomendable analizar cada tipo de CCR por separado.



FIG. 2.4 EN EL MUNDO SE USAN DISTINTAS NOMENCLATURAS PARA EL CONCRETO COMPACTADO:

RCC (Roller Compacted Concrete) en USA

RDLC (Roller dry lean concrete) en Inglaterra

RCD (Roller Compacted Dam) en Japon

BCR (Beton Compacte au Rouleau) en Francia

HCR (Hormigon Compactado con Rodillo) en España

Coloquialmente, todos ellos se conocen por Rollcrete.

2.1.1 ALTERNATIVAS DEL CCR

El CCR ha tenido 3 alternativas en desarrollo:

1.-El CPSCR (RDLC en inglés): es un material de relleno de bajo costo, ofrece la máxima economía posible, resistencia, durabilidad satisfactorias y con sistema constructivo continuo utilizando la compactación con rodillo.

2.-El PCCR (RCD): sus características son casi iguales al concreto pobre convencional usado en las zonas centrales de las presas.

3.-El CCR (RCC): es un material denso, con gran contenido de pasta, es ejemplificado por un concreto con gran contenido de CCP.

El concreto compactado con rodillo (CCR) tiene una consistencia seca. Su trabajabilidad se consolida por la acción de rodillos vibratorios o equipos vibro-compactadores. La gran mayoría de los CCR tienen el aspecto de una tierra húmeda. Pueden contener cinco veces menos cemento que los concretos corrientes y se los define como CCR con bajo, mediano y alto contenido de cementante (desde 60 kg hasta más de 150 kg).

El tamaño máximo del agregado grueso, diseñado a la escala de las presas, en ocasiones apenas supera los 76 mm. En el otro extremo de la banda granulométrica, la cantidad admisible de material fino (pasa tamiz # 200 < 0.075 mm) puede llegar al 10% del peso seco de los agregados, de acuerdo con su plasticidad, lo que es un porcentaje inadmisibles en un concreto convencional.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Tiene una amplia aplicación en represas y en obras viales, como pavimentos urbanos y rurales, aeropuertos, pisos industriales, etc.

GEVR (CCR vibrable enriquecido con lechada)

El CCR vibrable enriquecido con lechada (grout-enriched vibrable RCC, o GEVR) es un desarrollo reciente que tiene el mismo objetivo que las presas todo CCR. Generado inicialmente en Jiangya, China (altura = 128 m, volumen de CCR = 1 060 mil m³), se ha empleado con posterioridad en cierto número de presas.

El objetivo del GEVR es introducir lechada en el CCR, antes y/o después de extendido, de forma que adquiera una trabajabilidad suficiente para ser vibrado con vibradores internos. De esta manera, el CCR se modifica para producir realmente un concreto de paramento o de interfaz. Éste puede utilizarse no solamente contra los cimbrados en los paramentos aguas arriba y aguas abajo, sino también contra los estribos. En este último caso, la lechada se extiende en primer lugar sobre el estribo, extendiéndose a continuación el CCR; posteriormente, se añade lechada adicional encima del CCR, y finalmente este último se vibra internamente contra el estribo.

La principal ventaja del GEVR respecto al concreto de interfaz tradicional (contra los estribos) o de paramento (contra el cimbrado aguas arriba y/o aguas abajo) es que no es necesario transportar otro concreto, sino solamente la lechada. La lechada puede ser bombeada o mezclada in situ. El uso del GEVR puede simplificar notablemente la construcción de las presas de CCR.

2.2 TIPOS DE PRESAS DE CCR



FIG. 2.5 LA MAYORÍA DE LAS PRESAS DE CCR SON DE TIPO GRAVEDAD

Las presas en CCR hacen parte de las presas de gravedad, solo que su denominación es por el tipo de concreto que utiliza la mayoría de las presas de concreto compactado con rodillo son de gravedad. A partir de los años setenta, la evolución del concepto de presa de concreto compactado ha seguido varias vías diferentes:

1.- Presas de mezclas pobres, con un contenido en pasta de 70 a 100 kg/m³, y con colocación de mortero de retorta entre capas. Se trata de una alternativa desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, cuyo primer ejemplo importante fue la presa de Willow Creek (Estados Unidos), finalizada en 1982. Varias presas brasileñas, como la de Jordao, 1996 (85 kg/m³ de conglomerante), han sido construidas con este tipo de mezclas;

2.- Presas de alto contenido de pasta, con dosificaciones de conglomerante entre 150 y 270 kg/m³, con una alta proporción de cenizas volantes. Ejemplos: Upper Stillwater (Estados Unidos, 1987), con más de un millón 125 mil m³ de concreto y una dosificación de 247 kg/m³ de conglomerante; Rialb (España, 2000), con 200 kg/m³, Beni Haroun (Argelia, 2000), con 225 kg/m³.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

3.-Presas de contenido medio de pasta, con dosificaciones intermedias, entre las de los dos grupos anteriores. La presa de Les Olivettes (Francia, 1987), con 130 kg/m³ de un cemento especial), o San Rafael (México, 1994), con 108 kg/m³ de conglomerante, son realizaciones de este tipo.

A estas categorías habría que añadir otras dos: las denominadas Roller Compacted Dams (RCD), concepto seguido en las presas japonesas, y las presas hard-fill.

La diferencia de las presas RCD con las anteriormente mencionadas no está en la dosificación de conglomerante (hasta el momento ha oscilado entre 120 y 130 kg/m³), sino fundamentalmente en los paramentos, que son de concreto vibrado tanto aguas arriba como aguas abajo, y en el método de puesta en obra. Se extienden espesores de 50-100 cm en diferentes subcapas, que se compactan de una sola vez, en lugar de hacerlo con cada una de las subcapas. Antes de realizar la compactación, se practican cortes en el concreto fresco cada 15 m, empleando un cuchillo vibrante, en los que se insertan inductores de grietas. Se asegura la unión entre capas mediante una limpieza cuidadosa de su superficie y la extensión de una capa gruesa (15 mm) de mortero de retorta.

La presa de Shimajigawa (1980) constituyó la primera aplicación de dicha técnica, con la que se han ejecutado hasta el momento más de una docena. El ejemplo más notable es la presa de Gassan (2001), con un volumen total de un 160 000 m³ entre concreto compactado y convencional.

Por su parte, las presas Hard-Fill están constituidas por un núcleo de materiales granulares estabilizados con cemento, protegido por un paramento de concreto vibrado, a las que se da una forma especial, con taludes 0,5:1 (H: V), para evitar que se produzcan tracciones incluso en las condiciones dinámicas más severas. Con ello, esta forma de presa resulta muy adecuada para un emplazamiento donde haya condiciones de cimentación relativamente débiles y la carga dinámica sea importante.

El cambio producido desde el CCR magro de bajo contenido de conglomerante de las primeras presas de este tipo hasta el CCR de contenido más elevado de conglomerante de las obra más recientes parece haberse estabilizado, y desde 1992 la proporción de presas construidas de acuerdo con las diferentes filosofías de diseño ha permanecido relativamente estable, tal y como se indica a continuación:

- presas de CCR de alto contenido en pasta (contenido de conglomerante =150 kg/m³), 47.92%.
- presas de CCR de contenido medio en pasta (contenido de conglomerante entre 100 y 149 kg/m³), 19%
- presas RCD (como las construidas en Japón), 16.72%
- presas de CCR de bajo contenido en pasta (contenido de conglomerante ~ 99 kg/m³), 12.9%
- presas hard-fill 1.5%

Se ha producido por tanto una evolución desde las presas de CCR de bajo contenido en pasta construidas a principios de los ochenta hacia las presas de CCR de contenido de pasta medio y alto. Las razones de la misma parecen ser cuatro.

- 1.- Un mayor conocimiento del comportamiento del CCR. Como consecuencia de los ensayos llevados a cabo sobre testigos tomados de presas finalizadas con diferentes tipos de CCR, se ha visto que se puede obtener un excelente comportamiento mediante el uso de contenidos de pasta elevados. Con ello, ha ido creciendo la confianza en el material.
- 2.- El aumento en el tamaño de las presas de CCR. Como consecuencia del tamaño creciente ha surgido la necesidad de mejores propiedades. Los CCR magros han mostrado un comportamiento in situ bastante inferior en cuanto a cohesión y resistencia a la tracción directa que los CCR de contenido elevado en pasta.
- 3.- El cambio en la utilización en las presas de CCR. Sólo unas pocas de las primeras presas de CCR se empleaban para producción de electricidad. A finales de los ochenta y comienzos de los noventa se empezaron a utilizar más presas de CCR con esta finalidad, en la cual el agua tiene que ser almacenada en todas las circunstancias. Esto requiere una mejora en la impermeabilidad del material y una confianza en esa impermeabilidad.
- 4.- Economía. Debido a las mejores propiedades del CCR de alto contenido en pasta con respecto a las de CCR magro, la sección transversal de una presa de gravedad puede reducirse, especialmente en aquellas zonas donde

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

haya actividad sísmica. A pesar del mayor costo del material, se ha comprobado que el costo total (es decir, volumen x por costo unitario del material, junto con la cimbra de paramentos, etc.) de una presa de CCR de alto contenido en pasta es frecuentemente más reducido que el de una presa equivalente de CCR magro con coeficientes de seguridad similares.

Parece haber una clara separación de las diferentes filosofías de diseño de las presas de CCR. Así, las RCD se han utilizado casi exclusivamente en Japón; mientras en lo que se refiere a las de bajo contenido en pasta, una proporción importante de las mismas se encuentra en Brasil, donde se ha puesto a punto un método adecuado para las condiciones particulares del país, en el que las cargas dinámicas son muy pequeñas o inexistentes y las puzolanas escasas. Las presas de CCR de alto contenido en pasta son las más usadas.

2.3 PRESAS DE CCR EN MEXICO

Al catalogo mundial de mas de 500 grandes presas de CCR, en las que se registran varias en nuestro país, se sumaran pronto seis nuevas presas mexicanas: El Realito, de 90 m de altura, sobre el rio Santa María, Guanajuato, para abastecimiento de agua a San Luis Potosí, cuya construcción se ha iniciado; El Zapotillo, de 130 m de altura, sobre el rio Verde, Jalisco, para abastecimiento de la ciudad de León, Guanajuato, y de 22 localidades de los altos de Jalisco, en proceso de licitación; Arcediano, en la confluencia de los ríos Verde y Santiago, para abastecimiento de Guadalajara, actualmente en estudio y que puede llegar a los 170m de altura; Picachos en el rio Baluarte de 80m, para riego de 22,000 ha en Sinaloa , Canhondo (Francisco J. Mujica) de 98 m, en el rio Cupatitzio (el Marques), para beneficio de 30000 ha, en Michoacán y Los Panales en el estado de Jalisco.

EJEMPLOS DE PRESAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN MEXICO					
NOMBRE/LUGAR	USO	ESTUDIO	CONSTRUCCION	ALTURA m	CLIENTE
LA MANZANILL, GUANAJUATO	W	1985	1986-1987	36	CNA
TRIGOMIL, JALISCO	I	1983	1984-1993	100	CNA
SAN RAFAEL, NAYARIT	R	1992	1993-1994	48	CFE
SAN LAZARO, BAJA CALIFORNIA SUR	W	1985	1985-1994	39	CNA
VINORAMAS, SINALOA	W	1991	1991-1994	50	CNA
LAS BLANCAS, TAMAULIPAS	W	1996	1998-1999	32	CNA
ROMPEPICOS, NUEVOLEON	F	2002	2002-2004	100	ESTATAL
AMATA, SINALOA	R	1996	2003-2004	30	CFE
PICACHOS, SINALOA	W	2006	2007-	85	CNA
TITAN, SONORA	H	2006	2007-	30	PRIVADA
EL REALITO, SAN LUIS POTOSI	W	2006	2007	90	CNA
LOS HILAMOS, GUERRERO	R	2005		30	CFE
ZAPOTILLO, JALISCO	W	2006		80-105	CNA
ARCEDIANO, JALISCO	W	2007		110	CNA
PEÑITAS, CHIAPAS (en canal de desvio)					
LOS PANALES JALISCO	I		2011	73	CNA
PEÑA CLORADA 1, COLIMA					

CNA=COMISION NACIONAL DEL AGUA, CFE= COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
F=FLOOD CONTROL, H=HYDROPOWER, I=IRRIGATION, W= WATER SUPPLY

Fig. 2.6 PRESAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN MEXICO

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

2.3.1 PRESA LA MANZANILLA. LEON GUANAJUATO, MEXICO

Presa de contención “La Manzanilla” en León, Gto. La primera de América latina construida con el sistema de Concreto Compactado con rodillo CCR.

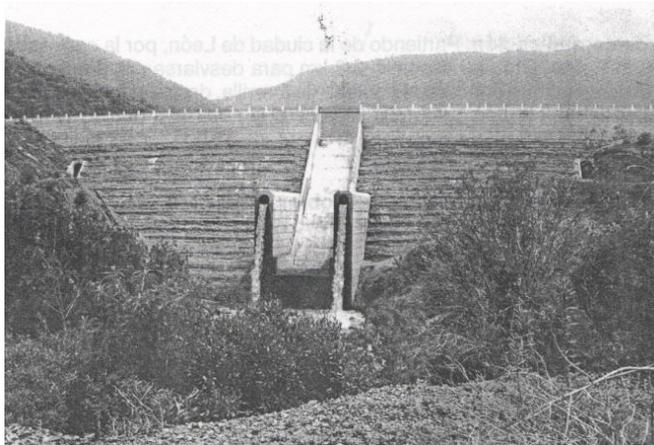


fig. 2.7 PRESA LA MANZANILLA, EN LEÓN GTO. MEXICO

La presa La Manzanilla esta ubicada sobre el arroyo de Ibarrilla, a unos 14 km al noreste de la ciudad de León, Guanajuato. Se destina fundamentalmente al control de avenida de la arroyo de Ibarra, para evitar inundaciones causadas a la ciudad de León.

2.3.1 .1 CORTINA

La cortina es del tipo gravedad de Concreto Compactado con Rodillo (CCR), tiene 150m de longitud por la corona, que es de 4m de ancho y se encuentra a la elevación de 1920 m, con un tramo central vertedor de 7.5m de longitud y altura máxima de 36m sobre el desplante. El paramento de aguas arriba es vertical desde la corona hasta la elevación 1904.25 y continua con talud de 0.15:1 hasta el desplante; aguas abajo el paramento es vertical desde la corona hasta la elevación 1915m y sigue con talud 0.8:1 hasta el fondo.

Una vez realizada la limpia y amacice de la roca en el desplante, se coló una capa de concreto convencional de $f'c=150$ kg/cm² de 1m de espesor mínimo para uniformizar la superficie e indicar la colocación del CCR, que se llevo hasta la elevación 1915m. De esa elevación hasta la corona, se construyo con concreto convencional. Se utilizaron 20 300m³ de concreto compactado con rodillo. El elemento impermeable de la cortina se encuentra en el paramento de aguas arriba, formado por una pantalla de concreto convencional de 50 cm de espesor entre el CCR y formas prefabricadas autosoportables de concreto que sirvieron como cimbra y forman la cara de aguas arriba.

A lo largo del cuerpo de la cortina se construyo una galería de inspección y drenaje de sección portal de 2m de ancho en la base y 3m de altura, provista de una canaleta en el lado de aguas arriba; tiene acceso por ambos lados con pendiente hacia el centro del cauce. La galería se destina a concentrar y desalojar las filtraciones que recibe de los drenes verticales de 10.16 cm (4”) de diámetro, espaciados 5m que penetran en la roca de 1 a 2 m.

La cortina esta provista en el lado de aguas arriba de un parapeto de concreto de 1m de altura y en el lado de aguas debajo de un barandal de tubo galvanizado de 6.24 cm (2.5”) de diámetro.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

2.3.1 .2 CARACTERISTICAS DEL CCR

El concreto compactado con rodillo, es un concreto con revenimiento cero, buena graduación de agregados, que se elabora en mezcladoras de producción continua (Pugmill), se transporta y coloca con maquinaria para terracerías.

La dosificación utilizada para un metro cubico fue 130 kg de cemento puzolanico, 109 lts de agua, 851 kg de arena y 1338 kg de grava con tamaño máximo de 76.2mm (3”), para obtener una resistencia en compresión de 100 kg/cm² a 90 días. Al principio se utilizó como agregado muy fino (filler) ceniza volante de Micare, que se sustituyó después por limo inorgánico poco plástico, ninguno de los cuales tiene efectos cementantes. La granulometría de la grava y la arena en su conjunto, se muestra en la figura anexa. Para lograr una buena unión entre las capas de CCR cuando se producía una junta fría (mas de 6 horas), se colocó una capa de 8 cm de concreto compactado con rodillo de liga, que es el mismo sin grava de 38.1mm (1 ½”) a (3”).

2.3.1 .1 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION

El concreto compactado con rodillo se produjo en mezcladora continua con paletas, dosificándose en peso, se transportó en camiones de volteo y se extendió con cargador frontal de llantas de hule en capas de 30 cm. compactadoras con rodillo liso vibratorio de 10 ton. Y se curó superficialmente con aspersión de agua 4 horas después de compactado. El control de compactación se realizó por medio de “calas”, aceptando pesos volumétricos mayores a 2 200 kg/m³. La galería se formó rellenando la sección con agregados sin cemento, que se compactaron conjuntamente con el CCR y después fueron retirados.

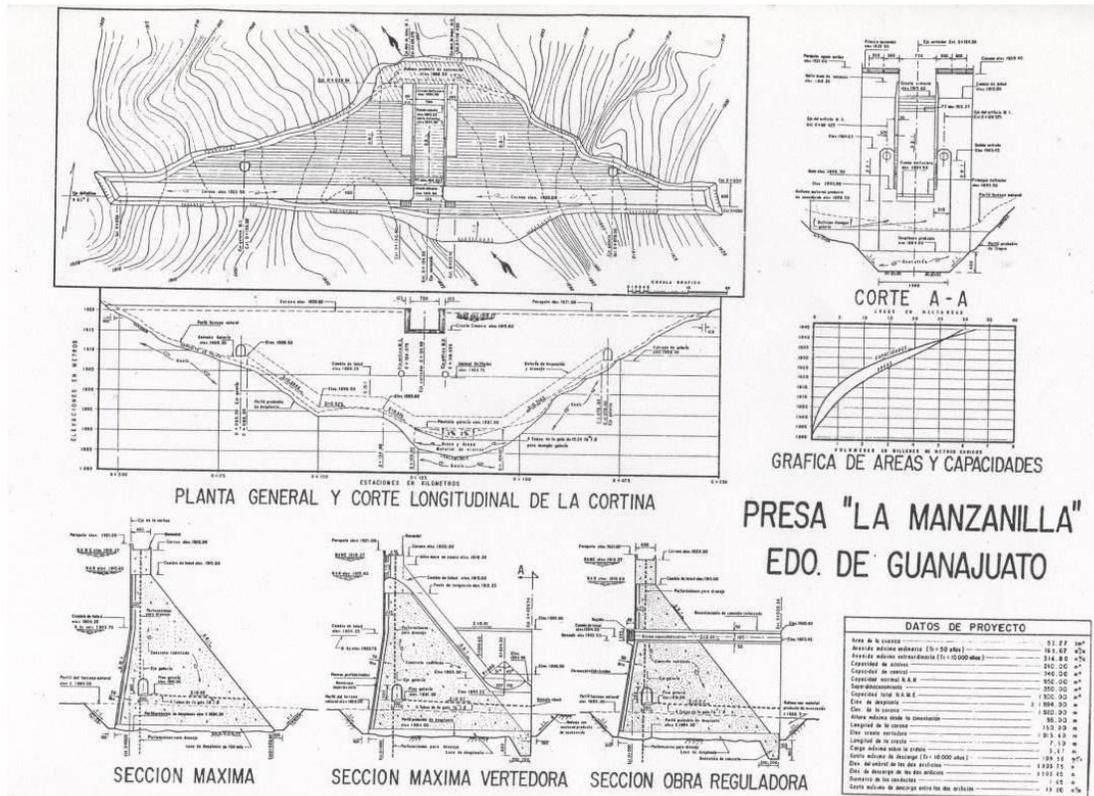


Fig. 2.8 PLANO PRESA LA MANZANILLA, LEON GTO. MEXICO.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

2.3.2 PRESA EL ZAPOTILLO. JALISCO, MEXICO.



Fig. 2.9 PRESA EL ZAPOTILLO

Diseño y construcción de una presa de gravedad, construida con Concreto Compactado con Rodillo con una planta en curva en coronación de 320 m y una altura sobre cimientos de 132 m. esta presa cerrara un embalse de 910 hm² de capacidad.



Fig. 2.10 ARREGLO GFENERAL

El cuerpo de presa (cortina) se cimienta unos 25 m bajo el cauce actual del río, el paramento aguas arriba es vertical y el paramento abajo se cimbrara para formar los escalones que tienen 0.75 m de base y 0.90 m de alto. Las tongadas de CCR seran de 30 cm, para cada tres tongadas formar un “ escalon “ en altura.

El volumen de concreto de la cortina de 1,100 ,000 m³.La obra de desvío se complementa con dos ataguías de CCR:

La ataguía de aguas abajo, la corona se ubicará en la elevación 1 559,85 msnm, el ancho de corona será de 5 m y la longitud de 65,91 m, el talud aguas arriba será vertical y el de aguas abajo será de 0.8:1.

La ataguía de aguas arriba, la corona se ubicará en la elevación 1 579,70 msnm, el ancho de corona será de 6,0 m y la longitud de 93,75 m. La ataguía de aguas arriba servirá como borde de prueba del CCR. La cortina es de tipo sección gravedad de eje curvo, con concreto compactado con rodillo (CCR) con una altura del desplante a la cresta vertedora de 132,00 m de altura, con una longitud de 271.14, el talud aguas arriba será vertical y el talud de aguas abajo será de 0,83:1, su corona estará a la elevación 1657,00 msnm en las laderas y en la parte central estará ubicada la obra de excedencias.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

2.3.3 PROYECTO BALUARTE PRESIDIO “ PRESA PICACHOS “MAZATLAN SINALOA, MEXICO



Fig. 2.11 PRESA PICACHOS

Presa de Almacenamiento, Ubicada a 42 km, de mazatlan.La obra de contención está conformada por la propia presa que es del tipo gravedad, de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) y de eje circular; en la parte central del cuerpo, aloja el vertedor del tipo libre, es decir, la cresta del vertedor no está controlada por compuertas, esto con el fin de dejar pasar los volúmenes excedentes generados por avenidas.



Volumen de CCR	385,000.00 m ³
Cortina	
Tipo	Concreto compactado con rodillo (CCR)
Elevación de la corona	134.30 msnm
Longitud de la corona en CCR y Convencional	319.00 m (incluye ancho del vertedor)
Ancho de la corona	7.4 0 m
Altura total al desplante	80.00 m
Elevación de desplante	55.00 msnm
Ancho máximo a nivel de desplante	80.00 m
Altura bordo libre	2.00 m

fig. 2.12 PROCESO DE CONSTRUCCION DE LA PRESA Y DATOS RELEVANTES

La corona de la cortina, incluyendo el vertedor, tiene una longitud de 319.00 m y una altura de 80 m. Su componente principal lo constituye un monolito de 385,000 m³ de concreto compactado con rodillo (CCR), construido en dos fases con el objeto de dar las condiciones, requeridas para el manejo del río, durante la época de lluvias.

2.3.4. PRESA ROMPEPICOS, CORRAL DE PALMAS EN SANTA CATARINA. NUEVO LEON, MEXICO. DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO



fig. 2.13 VERTEDOR DE PRESA ROMPEPICOS.

La Cortina Rompepicos, similar a la de una presa, Construida a base de Concreto Compactado con Rodillos para regular los flujos máximos o picos de grandes precipitaciones hasta en 72 hrs., evitando con esto que la capacidad del río Santa Catarina sea rebasada.

La construcción fue en el Cañón Corral de Palmas, ubicado a 20 kms. del centro de Monterrey, Aprovechando las paredes naturales del cañón Se diseñó una Cortina de tipo Piramidal con una altura de Cimentación de 40.00 mts. y 70.00 mts. de altura de pared o cortina, resultando en su base, 25.00 mts. de ancho y 240.00 mts en su parte alta o corona.

La construcción se programó en dos etapas, la Cimentación de 40.00 mts. de profundidad en Mayo del 2002 y. La segunda etapa, fue la construcción de la Pared de la Cortina de 70.00 mts. en 2003 y finalizando en Junio del 2004, siendo un total de 26 meses de construcción.



fig. 2.14 BANCO DE CENIZA VOLANTE



fig. 2.15 BULLDOZER EXTENDIENDO EL CCR EN BORDO DE PRUEBA



fig.2.16 VACIADO DE CCR EN TOLVA DEL AUGERMAX



fig. 2.17 POSY TRACK SOBRE ORUGAS CON ZAPATAS DE NEOPRENO EXTENDIENDO CCR EN LA CORTINA

2.3.5 PRESA DE CCR SAN LAZARO LOS CABOS, BAJA CALIFORNIA SUR, MEXICO

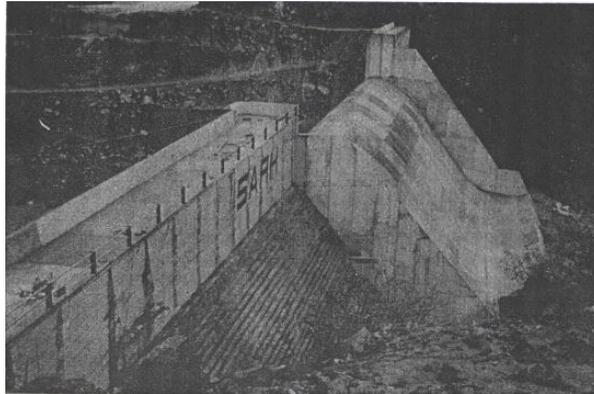


fig.2.18 PRESA SAN LAZARO. BAJA CALIFORNIA, MEXICO

Esta ubicada sobre el arroyo del mismo nombre, afluente del arroyo torrencial San José, en el extremo meridional del estado, municipio de los Cabos, BCS.

La presa tiene como objetivo regular las avenidas provocadas por eventos ciclónicos y proteger a los habitantes de San José del Cabo, además , favorecer la infiltración de los escurrimientos superficiales del arroyo para recarga del acuífero de San José; capacidad 10.7 millones de m³.

La obra consiste en una cortina de sección gravedad de concreto, eje recto, longitud 167m, altura máxima 37m; vertedor de cresta libre ubicado en la parte central de la cortina, capacidad 2580 m³/s; obra de desfogue al lado derecho del vertedor, capacidad media 1 m³/s, así como un desagüe de fondo, ambos de tubería de acero de 61 cm de diámetro.

2.3.5.1 CORTINA

Descripción. El cuerpo se construyo de concreto convencional hasta la elevación 278.4m, de esta elevación hasta la 296.95 m. de Concreto Compactado con Rodillo y continuar nuevamente con convencional hasta la corona; ambos tipos de concreto tienen resistencia $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$. La cortina tiene una longitud de 167 m y una altura máxima 37.2 m; se desplanta en la elevación 269.5 msnm y la corona esta a la elevación 305.7 , ancho 5 m, cuenta con un parapeto de concreto de un metro de altura en el paramento de aguas arriba y un barandal metálico al otro lado; el paramento de aguas abajo desde la corona hasta la elevación 300.7m es vertical y desde ahí hasta el desplante es de 0.8:1 , el talud de aguas arriba es vertical desde la corona hasta la elevación 296.95 y de ahí hasta el desplante es de 0.2:1.

El elemento impermeable de la cortina es una pantalla de concreto convencional de $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ de 0.5 m de ancho, colada entre el CCR y formas prefabricadas autosoportables de concreto reforzado de 0.6 x 0.9 m, que sirvieron como cimbra y forman la cara de aguas arriba.

La cortina cuenta con una galería sin revestir de sección portal de 2.5 por 3 m de alto, con piso a la elevación 280 m y acceso a ambos extremos para su inspección y drenaje desde el paramento de aguas abajo.

2.3.5.2 CARACTERISTICAS DEL CCR

Consistencia casi seca, sin revenimiento, granulometría de agregados controlada, elaborado con una mezcladora de paletas de producción continua (pug mil), transportada por medio de camiones de volteo y se coloco y compacto con maquinaria para terracerías. El proporcionamiento utilizado por metro cubico: cemento 100 kg, agua 950 lts,

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

limo inorgánico sin plasticidad 220 kg, arena 674 kg, grava tamaño 76.2mm (3”) 1286 kg, producto de trituración de granitos; el limo y la arena, se obtuvieron de depósitos en el cauce aguas arriba de la boquilla; la distribución de tamaños se muestra en la figura anexa. Para obtener una adecuada unión entre las capas de CCR cuando transcurría mas de 6 horas entre la colocación de dos capas y se formaba una junta fría, se colocó una capa de liga intermedia consistente en concreto compactado con rodillo, tamaño máximo de 1 ½”, mayor consumo de cemento y espesor de 8 cm.

2.3.5.3 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DEL CCR

El concreto compactado con rodillo se elaboró mediante dosificación en peso de los agregados, en una mezcladora continua ubicada en la ladera izquierda del vaso, cerca de la cortina; de este sitio hasta la cortina, el concreto se transportó en camiones de volteo convencionales; el material fue extendido en forma gruesa con cargadores frontales y su colocación se afinó con moto conformadora en capas con espesor de 30 cm. se compactó con 6 pasadas de rodillo vibratorio de 10 ton. De peso; cuando fue necesario, se realizó su curado con aspersión de aguas 4 horas después de compactado.

El control de la compactación se efectuó mediante determinaciones de peso volumétrico y contenido de agua con densímetro nuclear y “calas”, aceptando un peso específico húmedo mínimo de 2 350 kg/cm³; los valores medios de peso volumétrico corregido y contenido de agua 2 418.6 kg/cm³; los valores medios de peso volumétrico corregido y contenido de agua fueron 2 418.6 kg/cm³ y 6.29% respectivamente. La galería para inspección y drenaje se formó con un relleno de arena confinado con formas metálicas durante la colocación del CCR, se removió la grava arena y se retiraron las formas.

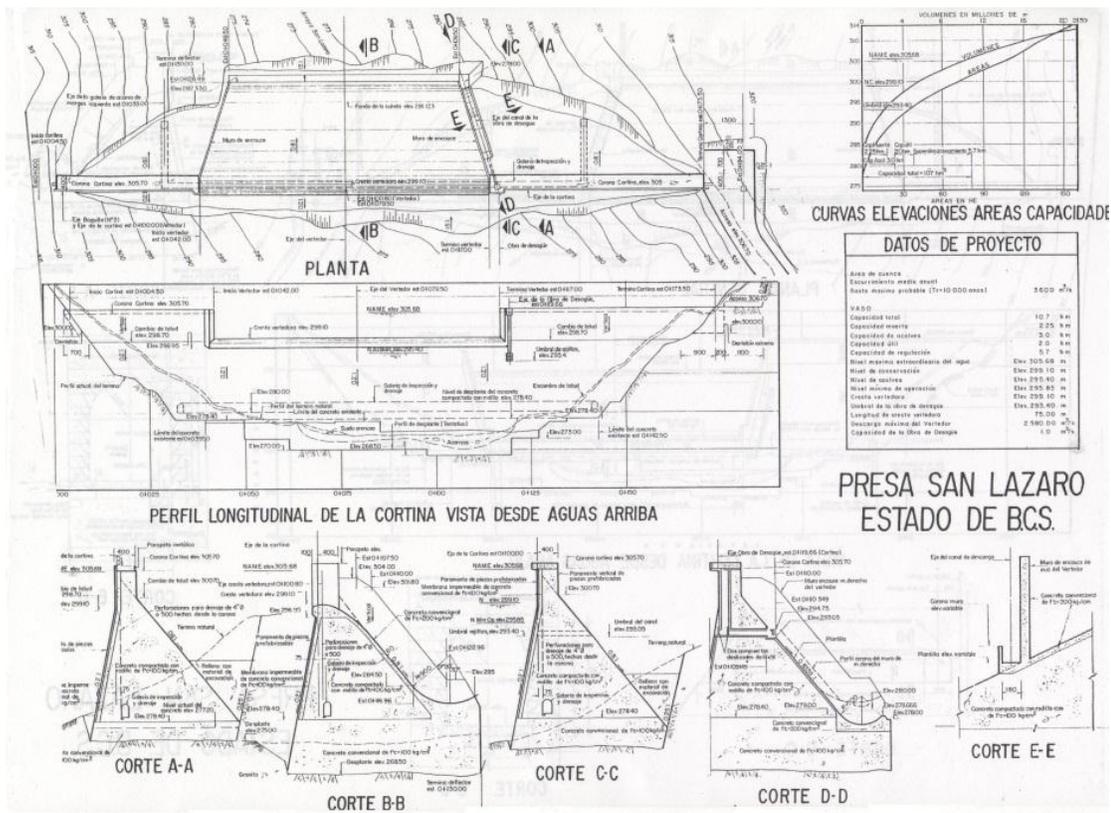


fig. 2.19 PERFILES Y SECCIONES DE LA PRESA SAN LAZARO.

2.3.6 PRESA DE CCR FRANCISCO J. MÚJICA. NUEVA ITALIA, MICHOACAN, MEXICO.



fig. 2.20 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE PRESA FRANCISCO J. MUJICA

La Presa Cañondo, conocida oficialmente como Presa Francisco J. Mújica se encuentra en los límites de los municipios de Mújica y La Huacana, en Michoacán, México. Es una obra de usos múltiples, cuyo principal objetivo es el riego agrícola.

Debido a la geología de la boquilla, se construyó una cortina mixta: un tramo principal de Concreto Compactado Rodillado (CCR), colocado en capas de 30 cm y compactado con rodillo, colocándose 367,000 m³ de CCR y 84,000 m³ de concreto convencional, que consumieron 39,000 toneladas de cemento. Otro tramo de la cortina se construyó de materiales graduados, con un corazón impermeable de arcilla y respaldos de enrocamiento, en la que se colocaron 290,000 m³ de materiales

Longitud de la cortina: 375 mts, Altura Máxima 90 mts, Capacidad máxima 100 millones de M3, se construyo del 2008 al 2010, en un periodo de suministro de 10 meses.

El diseño eficiente y cuidadoso del proporcionamiento y los agregados del CCR, optimó el uso de cemento logrando una mezcla con el más bajo contenido de cemento que se tenga documentado en el país. Con el objeto de verificar el comportamiento de la cortina, captar, controlar y desalojar probables filtraciones que pudieran presentarse; se construyó una galería alojada dentro del cuerpo de concreto de la cortina (de sección rectangular de 2.50 m de base por 3.00 m de altura). A través de la cual se realizaron perforaciones en piso y techo para captar las filtraciones.

2.3.6.1 CRITERIOS DE DISEÑO DE LA MEZCLA

El diseño estructural y las especificaciones técnicas establecieron lograr la resistencia de diseño de acuerdo a la zonificación establecida por la distribución de esfuerzos. Considerando el peso de la estructura, se debe tener una densidad mayor a 2,200 kg/m³. Utilizar los agregados disponibles en la obra. Optimizar el consumo de agua y cemento.

Para garantizar la resistencia se adoptó el Método de Mezclas Sucesivas, referido en la Guide pratique du beton, de G. Dreux. Con este método, utilizando un tamaño máximo de los agregados de 2" y la introducción de toba, se realizaron 44 combinaciones en laboratorio, determinando una mezcla optimizada con un consumo de cemento de 65 kg/m³, para una resistencia de 80 kg/cm² a los 180 días. Para la granulometría óptima se utilizó como punto de partida una curva de referencia similar a las del concreto convencional.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



Fig. 2.21 EJECCIÓN. GALERÍAS INCLINADAS EN PRESA FRANCISCO J. MUJICA

Fig. 2.21 EJECCIÓN. GALERÍAS INCLINADAS EN PRESA FRANCISCO J. MUJICA



Fig. 2.22 SE CONSTRUYÓ E INSTALÓ UN SISTEMA DE BANDAS TRANSPORTADORAS QUE PERMITIERON AGILIZAR EN EL ACARREO DEL CONCRETO, (75 METROS CÚBICOS POR HORA)

2.3.6.2 CONTROL DE CALIDAD

Se realizó un terraplén de prueba para confirmar los parámetros indicados. Utilizando la misma metodología y equipos en un simulacro en el núcleo de la presa. Se colocaron 11 capas de un espesor de 30 cm cada una y un volumen total de 565 m³ de CCR y 28.50 m³ de lechada. Se monitoreó la temperatura. se determinaron los siguientes parámetros: Aplicación del CCR en capas de 30 cm; Termopares para controlar temperatura, máxima encontrada 34°C; verificación de la compactación, 98.8% con 8 pasadas de rodillo; verificación de la compactación (cala gigante), 98.7%; verificación de la resistencia a compresión (7 días =60Kg/cm²; 28 días=84.5Kg/cm²; 56 días=98.99 Kg/cm²; 90 días=113.4Kg/cm²; 180 días=129.1Kg/cm²; Verificación de la densidad, 2,339 Kg/m³; porcentaje de humedad óptimo (Ww%), 6.33%). El parámetro principal a controlar en el CCR es su densidad. Determinando la densidad in situ, empleando densímetros nucleares, luego de la compactación.

2.3.6.3 RESULTADOS OBTENIDOS

En el diseño del CCR para el mayor volumen de la cortina, se logró una mezcla con 65 kilogramos de cemento por metro cúbico, para la resistencia de 80 kg/cm², estableciendo un ahorro del 28% en el consumo de cemento, con respecto al promedio a nivel nacional. La resistencia característica a compresión del CCR ($f'c$) fue de 8,0 MPa a los 180 días. Los límites para el control de la calidad de la producción del CCR atendieron criterios como: un coeficiente de variación admisible de 18%; el número de valores menores que la resistencia característica ($f'c$) fue un máximo de 20%



Fig. 2.23 EL VERTEDOR DE EXCEDENCIAS ESTÁ ALOJADO EN LA PARTE CENTRAL DE LA CORTINA DE CCR. TIENE UNA LONGITUD DE 112 M Y CAPACIDAD DE DESFOGUE DE 5,002 M³/S, CORRESPONDIENTES A UNA AVENIDA MÁXIMA DE 10,000 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO.

2.3.7. PRESA REGULADORA AMATA SINALOA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR).



Fig.2.24 PRESA AMATA SINALOA, MEXICO.

Ubicada en Sinaloa a unos 75 km de Culiacan,
 Uso. Presa reguladora, parte del sistema hidrológico del río San Lázaro, para optimizar la operación de la central hidroeléctrica Comedero y ayudar en la irrigación.

Datos generales:

Presa de Gravedad de CCR, Altura de 30 m, Longitud de la cresta, 218m,

Volumen de CCR utilizado: 45,000 m³

Proporcionamiento utilizado para la mezcla de CCR por cada 1m³ producido de la Presa Reguladora Amata Septiembre 2004

Cemento.	120 Kg.
Grava de 2" a ¾".	502.96 Kg.
Gravarena de ¾" a malla 100.	1565.55 Kg.
Limo.	199.09 Kg.
Agua.	22.54 Lts.
Aditivo.	1.2 Lts.

Temperatura Ambiente. 28 °C.

Temperatura del Agua de mezcla. 16 °C.

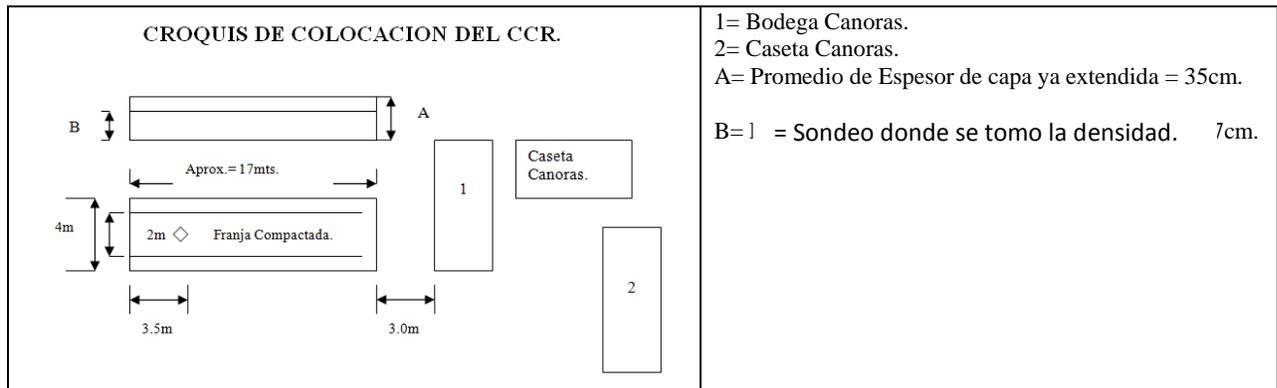
Temperatura del CCR. 29 °C.

Planta de CCR de Pavimentos y Obras Industriales.

No. Viaje	No. Camión.	Hora Carga.	Hora Salida.	Hora Llegada.	Descarga Inicia.	Descarga Termina.	Ciclo min.	Observaciones.
1	S/N	18:35	18:39					
2	14	18:48	18:55		19:15	19:15	27	Paro 18:49 por falta de agregados, reinicio 18:53
3	10			19:10	19:19	19:19		
4	S/N			19:15	19:21	19:21		

FIG. 2.26 REGISTRO DE CONTROL DE CCR

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



Inicia Extendido a las 19:23 hrs.
 Termina Extendido a las 19:32 hrs.
 Tiempo total de Extendido = 9min.
 Equipo para Extender = Motoconformadora CAT 124

Inicio de Compactación a las 19:36 hrs.
 Termina Compactación a las 19:50 hrs.
 Tiempo total de Compactación = 14min.
 No. de Pasadas = 8 con Vibrocompactador (pasadas vivas).

Densidades tomadas con Densímetro Nuclear.
 Densidad a 25cms = 2331 Kg/m³
 Densidad a 15cms = 2364 Kg/m³
 Densidad a 5cms = 2357 Kg/m³
 Densidad promedio = 2350.67 Kg/m³

Resultados de pruebas de laboratorio del IIC de la U.A.N.L.
 γ max.= 2396 Kg/m³
 Peso Volumétrico = 2351 Kg/m³
 Se hicieron 2 cilindros de CCR.

FIG.2.27 PRUEBAS Y TIEMPOS DE CCR

2.3.8 PRESA VINORAMAS. (ING. JUAN GUERRERO ALCOCER). MUNICIPIO DE CULIACÁN SINALOA. MEXICO

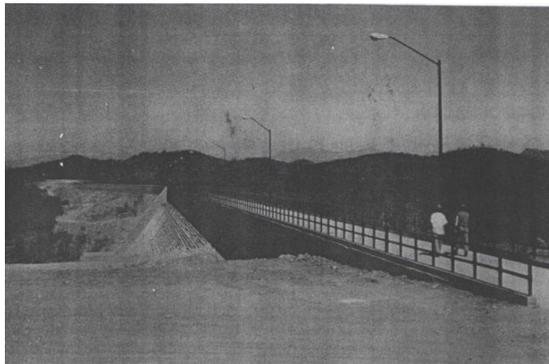


Fig.2.25 PRESA VINORAMAS

Esta ubicada a 34 km de la ciudad de Culiacán, Sin.

La Presa se concibió para proteger algunas colonias de la ciudad de Culiacán asentadas en las márgenes del río Tamazula. además, se utilizara para riego de 1200 ha. Y permitirá la recarga del acuífero.

La presa consta de una cortina de sección gravedad de Concreto Compactado con Rodillo , longitud 807 m y un dique inmediato, sección igual, longitud 195m; altura máxima 50 m sobre el cauce, ancho en la corona 4m; una estructura de control de, capacidad de desfogue 215m³/s; obra de toma en el lado izquierdo de la cortina, capacidad de operación 1.6m³/s; vertedor ubicado sobre la parte central de la cortina, cresta libre, longitud 15m, capacidad 654 m³/s.

La cortina y Dique son de concreto compactado con rodillo, longitud 807 y 195 m respectivamente, de sección gravedad con un ancho de corona de 4 m a la elevación 178 m.

La altura máxima de la cortina es de 50 m: paramento vertical aguas arriba, aguas abajo otro tramo vertical de 5 m desde de la corona y continua con un talud 0.8:1.

Se utilizo concreto convencional $f'c=100$ kg/cm² para la restitución de la excavación en la zona del cauce y hasta la elevación 143.9m, así como en la regularización del área de desplante de la cortina y dique. A partir del nivel anterior se inicio la colocación del concreto rodillado 50 cm debajo de la elevación de la corona que también fue de concreto convencional.

El elemento impermeable de la cortina y del dique esta formado por una pantalla de concreto convencional de $f'c=100$ kg/cm², espesor 50 cm entre el CCR y formas prefabricadas autosoportables de concreto armado de 60 por 90 cm, las que sirvieron como cimbra y forman la cara del paramento de aguas arriba de las estructuras.

2.3.8.1 CARACTERISTICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

Colocado en capas de 30 cm, es de consistencia casi seca, revenimiento nulo, granulometría de los agregados controlada, que se elaboro en una mezcladora de paletas de producción continua (pug mill). Se transporto a la cortina por medio de bandas y camiones de volteo, fue colocado y compactado con maquinaria para terracerías. El proporcionamiento utilizado para un metro cubico fue: cemento puzolanico (llp) 110 kg. Agua 79 litros, limo inorgánico 100kg, arena 665 kg y grava (3 ") 1 487 kg, tamaño máximo 7.6 cm. Distribución mostrada en la fugura anexa. Los agregados fueron obtenidos del cauce del río aguas abajo del eje de la boquilla y se requirió triturar parte de la gravas.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Para lograr una adecuada unión entre las capas del CCR cuando transcurrían mas de 6 hrs desde su colocación y ocurría una junta fría, se colocó una capa de concreto de liga de 5 cm. que es el mismo CCR, con grava tamaño, (1 ½”). Este último tipo de concreto se utilizó en los cinco metros en la parte superior de la cortina y dique.

2.3.8.2 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION CON CCR.

El concreto compactado con rodillo fue elaborado con dosificación en peso de los agregados, en una mezcladora continua ubicada en la parte superior de la ladera izquierda; de este sitio hasta la zona del cauce fue movilizada con bandas y de la descarga de estas fue llevada en camiones de volteo.

El control de la compactación se realizó por medio de determinaciones de peso volumétrico húmedo y el contenido de agua con densímetro nuclear, aceptando un peso específico mínimo de 2 280 kg/m³. Los valores medios de peso volumétrico y contenido de agua fueron 2 354 kg/m³ y 8.1 % respectivamente. La galería para inspección y drenaje se formó con un relleno de arena confinada en formas metálicas, durante la colocación del CCR, las que se retiraron al alcanzar el concreto la resistencia apropiada. En la parte superior de la cortina, con ancho de 4 m, se utilizó una pavimentadora para distribuir el CCR con tamaño máximo de gragados de (1 ½”).

2.3.8.3 MODIFICACIONES AL PROYECTO

Sustancialmente solo se realizaron dos modificaciones al proyecto original; la primera, fue el cambio de la estructura de control que originalmente consistía en una escotadura en la cortina por un ducto rectangular. La zona excavada para construir una cubeta disipadora del diseño original fue rellena con concreto convencional $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$; la segunda consistió en construir los 5 m superiores de la cortina y dique con CCR en vez de usar concreto convencional. Esto se realizó con objeto de lograr mayor rapidez en la construcción, así como por motivos económicos. Para formar el paramento seco, se coló previamente por etapas un muro de concreto reforzado de 0.4m de espesor, anclado al cuerpo de la cortina; en el paramento mojado se continuó el mismo sistema, losas prefabricadas y pantalla de concreto convencional.

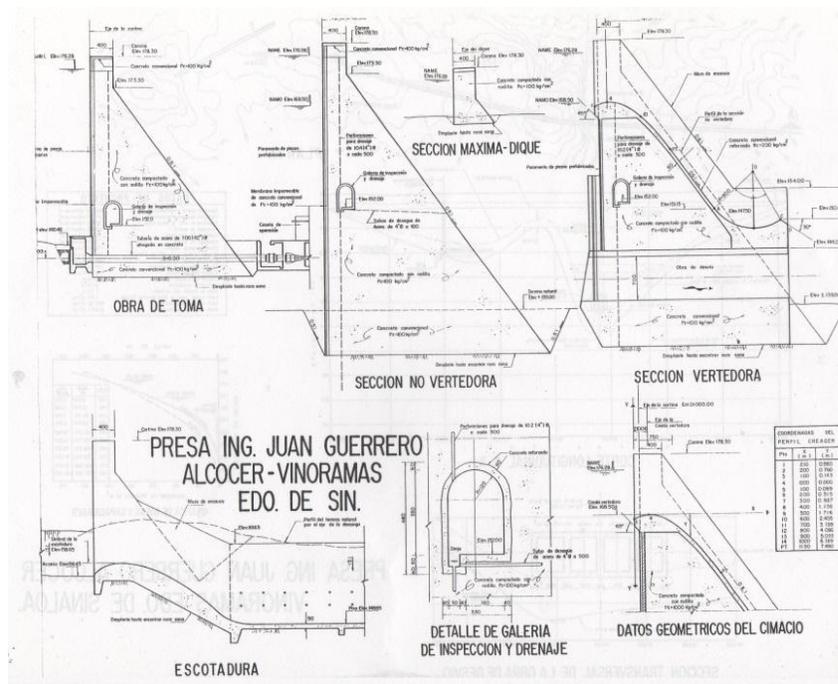


FIG.2.26 CORTES Y SECCIONES DE PRESA ING. JUAN GUERRERO ALCOCER " VINORAMAS"

2.3.9 PRESA TRIGOMIL. GENERAL RAMÓN CORONA MADRIGAL.JALISCO, MEXICO

La presa de Almacenamiento Trigomil se localiza sobre el rio Ayuquila, aproximadamente 15 km aguas debajo de la presa Tacotan, encontrándose al oeste del poblado Unión de Tula, Jalisco.

El objetivo principal del proyecto es consolidar y ampliar el Distrito de Riego “El Grullo. Autlán “ y adicionalmente, controlar las avenidas del rio Ayuquila, en el tramo Tacotan-Trigomil.

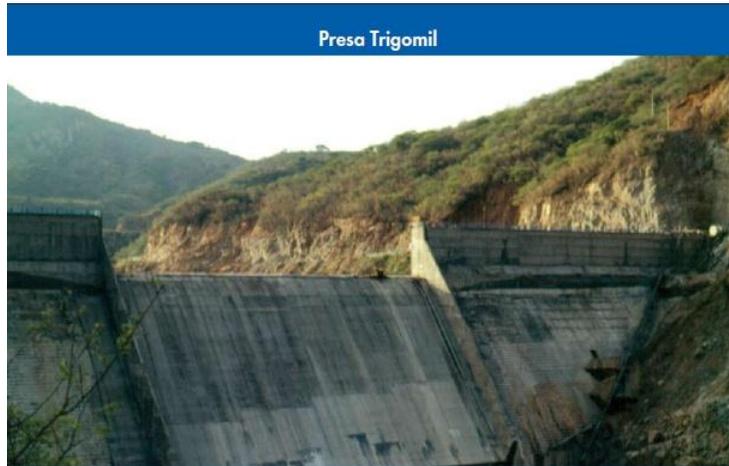


FIG. 2.27 PRESA TRIGOMIL. GENERAL RAMÓN CORONA MADRIGAL.JALISCO, MEXICO

2.3.9.1 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA:

En la construcción de la cortina se utilizó Concreto Compactado con Rodillo y fue la segunda vez que se empleó esta técnica en nuestro país y la de mayor altura en el mundo cuando fue construida. La resistencia de CCR que se utilizó es de 150 kg/cm². Se levantaron 2 ataguías, para obturar el almacenamiento de 324 millones de m³ de agua. La presa Trigomil ha sido diseñada para tener una capacidad de almacenamiento de 324 millones de metros cúbicos de agua, extraída del rio Ayuquila y para dar paso, por su cresta vertedora, a un gasto de 3,655 metros cúbicos por segundo. Las dimensiones de las ataguías de aguas arriba son 40 m de longitud, ancho medio de 15 m y altura de 7 m; y aguas abajo, 25 x 12 x 3 m.

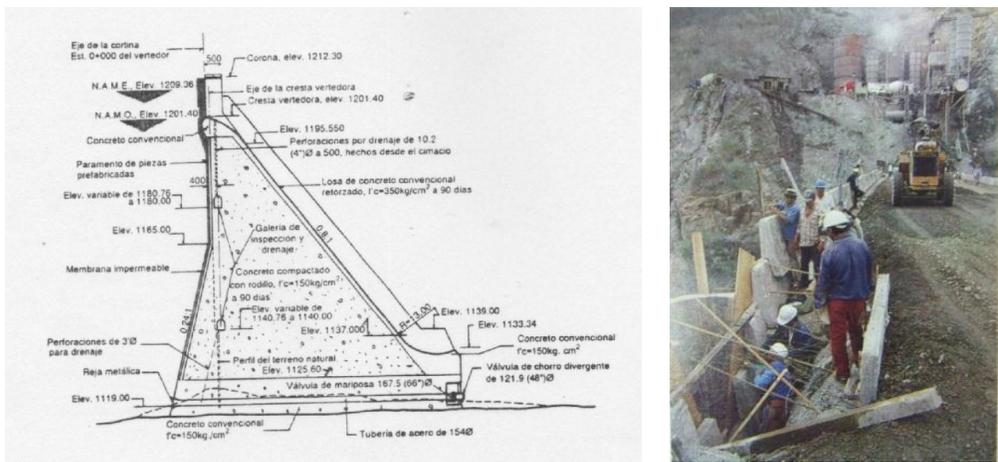


FIG.2.28 SECCION Y COLOCACION DE FORMAS PREFABRICADAS

2.3.9.2 CORTINA

La presa consta de una cortina sección gravedad de concreto compactado con rodillo (CCR), la segunda construida en el país con este procedimiento, con una altura desde el desplante de ciento siete metros; una longitud también en metros de 250 y un ancho de corona de 5.8m. El paramento aguas arriba es vertical hasta la elevación de 1 165 msnm. Y de esta elevación hasta su desplante cambia a un talud de 0.24:1. El paramento de aguas arriba es vertical hasta la elevación 1 202.15 msnm. Y desde esta elevación hasta su desplante tiene un talud de 0.8:1.

Las galerías en los niveles inferiores en las laderas izquierda y derecha quedaron comunicadas por otras que atraviesan la cortina. Cuyos accesos son por aguas abajo. Las galerías permiten extraer los gastos de filtraciones y para inspección. Una vez terminada la limpia y amacice de la roca en la zona del cauce, se colaron monolitos de concreto masivo de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ hasta la elevación 1212.00 msnm, 30 cm debajo de la corona.

El elemento impermeable de la cortina se localiza en el paramento aguas arriba, formando una pantalla de concreto convencional de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ entre el CCR y formas prefabricadas autosoportables de concreto de 0.6 x 0.9 m, que sirvieron como cimbra durante la construcción y forman la cara de aguas arriba; la pantalla tiene un espesor mínimo de 1.5 m entre las elevaciones 1 125.6 y 1 151 msnm., 1.00 entre esta última y la 1 176 msnm y 0.5 de la anterior hasta la corona. Entre las laderas y el CCR, se colocó concreto convencional con un ancho mínimo de 0.5m y la misma resistencia que en la pantalla impermeable.

2.3.9.3 CARACTERÍSTICAS DE CCR

El Concreto compactado con rodillo es un concreto con revenimiento cero, granulometría de gregados controlada que se elaboró en una mezcladora de producción (Pugmill), se transportó por medio de bandas y tubería de acero, se colocó y compactó con maquinaria para terracerías.

El proporcionamiento utilizado para un metro cúbico fue de 148kg de cemento tipo II, 127 lts. De agua. 47 kg de ceniza volante de MICARE si propiedades cementantes y 2091 kg de grava con arena con tamaño de agregado de 76.2 mm (3”).

Para obtener una buena unión entre las capas del CCR cuando se producía una junta fría (mas de 6 horas), se colocó en toda la superficie, una capa de 8 cm de concreto compactado con rodillo de liga, que es el mismo CCR sin grava de 1 ½ a 3”. Los agregados fueron obtenidos mediante trituración del pórfido granítico.

2.3.9.4 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN CON CCR.

El concreto compactado con rodillo se elaboró dosificando el peso de los agregados en una mezcladora continua de paletas con capacidad para 300 ton/h, ubicada en la ladera izquierda a la elevación de la corona; de este sitio a la cortina, se transportó inicialmente el CCR por medio de una tubería de acero de 61cm de diámetro, colocada sobre la ladera, que con frecuencia se obstruyó, por lo que se modificó a un sistema de tubos verticales con tolvas de descarga y bandas transportadoras horizontales; de la descarga de este sistema al sitio final de colocación, se utilizaron camiones de volteo de 10 m³ de capacidad, se extendió con cargadores frontales, en capas de 30 cm y se compactó con seis pasadas de rodillo liso vibratorio de 10 ton de peso. Cuando fue necesario, se curó superficialmente con aspersión de agua 4 hrs. Después de compactado.

El extendido se llevó a cabo con un tractor D5 y la compactación con un compactador vibratorio CA-25 o similar. La planta ya mencionada producía, asimismo, el concreto de liga y de la capa intermedia, que se colocaba utilizando el mismo sistema antes descrito.

Con un sistema de bombatanque elevado, conducción por tubería y manguera con rociador fino en el extremo, se hacía el riego de humedecimiento y el curado continuo. Por su parte, mediante un soplete de aire-agua se efectuó la preparación de juntas frías, de acuerdo con lo ya señalado. Una vez elaborado el C.C.R., se procedía de inmediato a

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

transportarlo con camiones de acarreo para concreto seco. Se le conducía al silo donde se iba a colocar, para ser tendido con un tractor sobre neumáticos, en capas de veinticinco o treinta centímetros de espesor, uniformemente en toda el área de la cortina y siguiendo una misma dirección, para su posterior compactación con rodillo liso vibratorio de diez toneladas aproximadamente. Fue necesario tender concreto convencional, de un espesor de unos ocho centímetros y que sirve de liga entre capas, con el fin de obtener una optima compacidad y eliminar zonas de filtraciones en el concreto, antes de colocar la capa siguiente. El proceso descrito se repitió hasta llegar al nivel señalado por el proyecto

El control de la compactación se realizo por medio de “ calas “, aceptando pesos volumétricos húmedos mayores a 2 380 kg/m³, obteniendo un promedio general de 2 393 kg/m³ con un contenido de agua de 5.9 %. Las galerías para inspección y drenaje se formaron rellanando la sección con grava que se compacto simultáneamente con el CCR y después se retiro por excavación.

Una vez terminada la cortina, se perforaron drenes verticales de 10 cm (4”) de diámetro con separación de 10.00 m desde la corona y cimacio hasta la galería a la elevación 1 180 msnm., de esta a la galería inferior (elev. 1140 msnm) y de esta ultima hasta penetrar en la roca de cimentación, con una longitud total de 1 845m.

El empleo de Concreto Compactado con Rodillo, para la construcción de esta presa en nuestro país, hizo posible abatir costos de construcción al utilizar menores volúmenes de materiales y reducir los tiempos de ejecución.

Ciente:

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Empresa que realizó la obra:

Ingenieros Civiles Asociados (ICA).

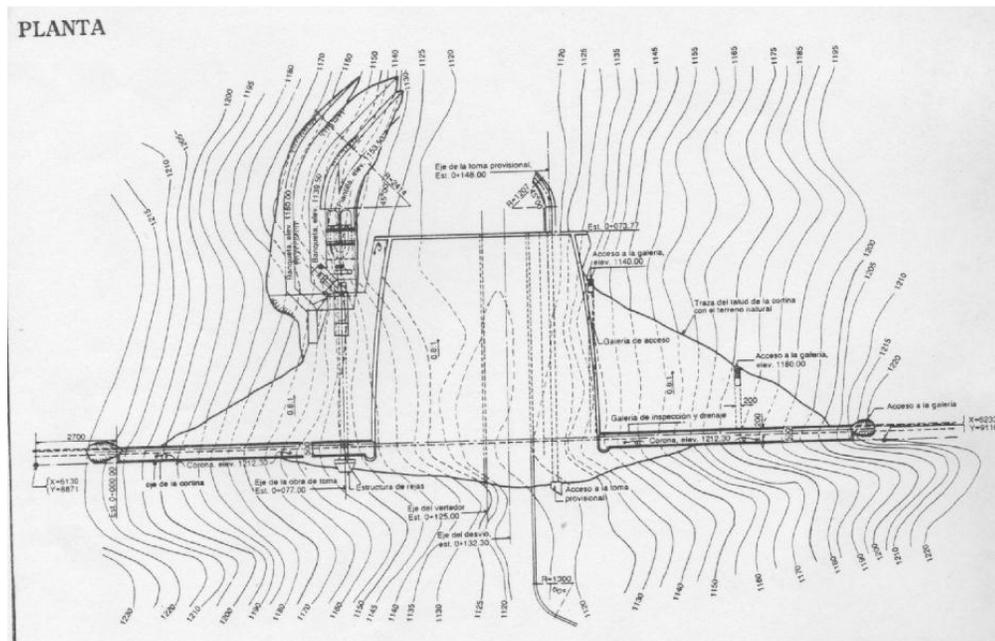


FIG 2.29 PLANTA DE CORTINA

2.3.10 PRESA PANALES, JALISCO MEXICO. DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

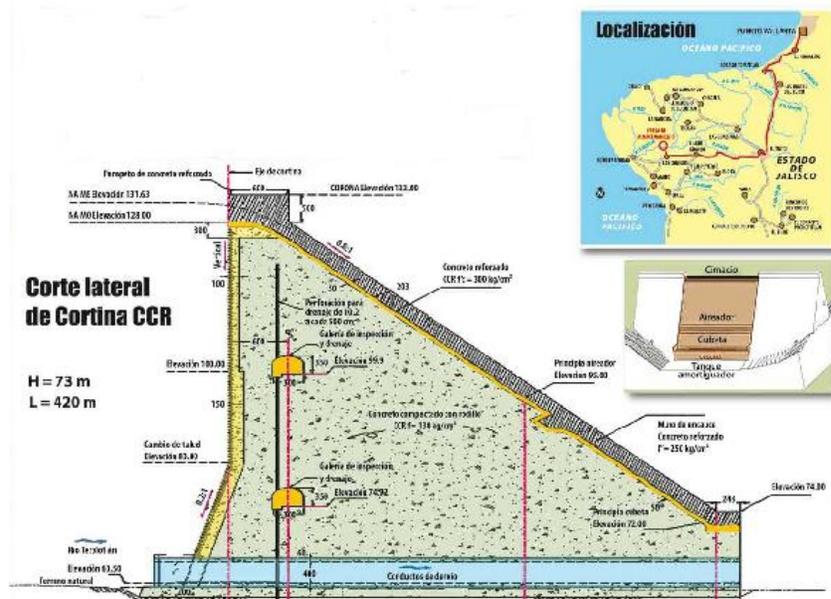


FIG 2 .30 PRESA LOS PANALES, JALISCO MEXICO.

GENERALES DATOS

Nombre de la Obra: Presa de Almacenamiento “Los Panales”
 Tipo de Obra: Obra Hidraulica
 Pais: Mexico
 Fecha de inicio de la Obra: 3 de enero de 2011
 Fecha de terminacion de la Obra: 30 de septiembre del 2013
 Estado: Jalisco
 Ubicación: Cabo Corriente, Jalisco
 Cliente: CONAGUA (Comision Nacional del Agua)

2.3.10. 1 DESCRIPCION

Construccion de la presa de almacenamiento con la que se aprovecharan las aguas que corren por el Rio Tecolotlan para el riego de cultivos diversos de 6,993 hectareas en poblados del municipio de Cabo Corriente. El proyecto considera tener un almacenamiento de agua de aproximadamente 82,612 metros cubicos utiles.

2.3.10. 2 CORTINA

Del tipo gravedad masiva de concreto compactado con rodillo CCR. Cuenta con paramento inclinado al desplante de la cortina hasta la elevación 83.00 msnm con un talud de 0.2:1, continuando con un paramento vertical hasta la elevación 128.00 msnm

2.3.10. 3 CONCRETO RODILLADO (CCR)

Para la construcción del concreto compactado con rodillo con características de agregado máximo de 3” y revenimiento cero, se ha previsto la colocación de monolitos de 4,500m³ por turno, correspondientes a longitudes de 60 m por 50 de ancho y espesor de 1.5 m. para lograr esta producción, el concreto se fabricara con un estabilizador de altas especificaciones para rendimientos mayores a 5000 metros cúbicos por turno. El transporte del concreto se realizara por medio de bandas fijas y en el lugar de deposito con bandas retractiles, el tendido se ejecuta con apoyo de tractor sobre orugas, colocando capas de concreto de 30 cm de espesor y con el uso de compactadores vibratorios que garantizan las especificaciones del proyecto.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Es importante mencionar que una vez iniciado el proceso constructivo del concreto rodillado, su colocación debe ser continua ya que solo se permite tener juntas frías con un máximo de 6 horas. Lo anterior representa el mayor reto en la colocación del concreto, para lograr cumplir con la calidad requerida y el tiempo de entrega solicitado. Conforme se avance en la colocación del concreto rodillado se estarán colocando en la cara de aguas arriba las formas prefabricadas de concreto hidráulico; en la cara aguas abajo se deberá la geometría de proyecto para construir el vertedor.

2.3.10.4 OBRAS DE EXCEDENCIA (VERTEDOR)

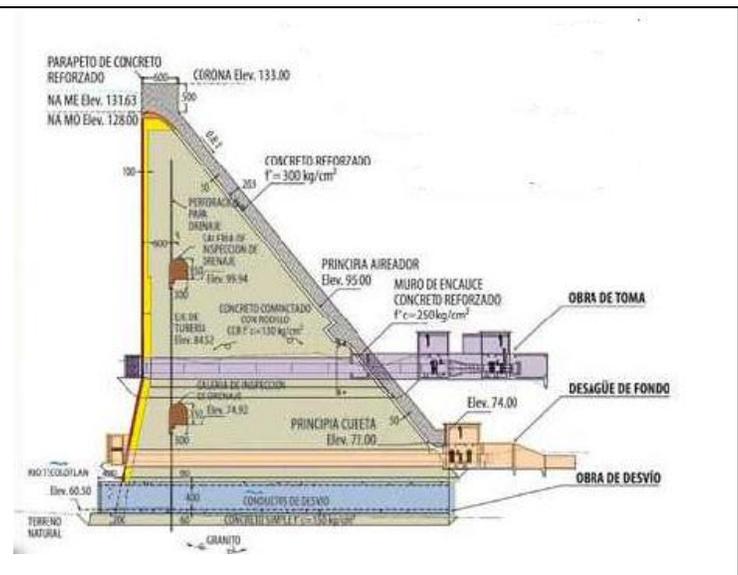
Vertedor de excedencias de cresta libre con cimacio tipo Creager, con una capacidad de 1,660 m³/s, 120 m de longitud de cresta, con una carga de 3.63m; alojado al centro de la cortina. La obra cuenta con aireador, cubeta deflectora y muros de encauce de concreto reforzado.

2.3.10.5 OBRA DE TOMA

Del tipo tubería a presión, localizada sobre la margen izquierda de la estructura en la estación 0+085 del eje de la cortina cuyo umbral se encuentra en la elevación 83.70m. Constituida por una estructura de rejillas y tuberías de acero de 152.4 cm (60 ”) con una bifurcación en la parte final de esta, con un diámetro que disminuye desde las 60” hasta las 42”, en cada uno de los dos ramales, pudiéndose dar un gasto de hasta 4.0 m³/s por cada uno.

FIG 2.31 VOLUMENES PRINCIPALES DE LA OBRA

Concepto	Unidad	Cantidad
Excavaciones	M3	138,300
Acero de refuerzo	Ton	602
Concreto hidráulico varias resistencias	M3	66,600
Concreto compactado con rodillo	M3	496,000
Formas prefabricadas	piezas	32,800
Perforación de barrenos	m	6,800
Inyección lechada de cemento	H.e	400



2.3.10.6 DESAGÜE DE FONDO

Del tipo tubería a presión localizada sobre la margen derecha de la estructura en la estación 0+290 del eje de la cortina. Constituido por estructura de entrada donde están alojadas las rejillas y cuyo umbral se encuentra a la elevación 68.7m. En esta estructura inicia una tubería de acero de 121.9 cm (48 ”) ahogada en concreto; en el extremo de aguas debajo de esta tubería se localiza la estructura de descarga, para instalar el juego de válvulas que permitan el control del gasto de salida.

2.3.10.7 OBRA DE DESVÍO

Con base en el análisis hidrológico, el gasto de diseño para la obra de desvío es de 950 m³/s para un periodo de retorno de 50 años, por lo que se determinó que dicha estructura fuera un grupo de conductos de sección cuadrada de 4.20m de base por 4m de altura, cuya plantilla corresponde a la elevación 60.5 m pasando por el cuerpo de la cortina. Para lograr el cierre del conducto, se hará por medio de obturadores, constituidos por agujas metálicas y un marco de acero, manejados mediante una viga de enganche, maniobrados con polipasto de operación manual, de preferencia en época de estiaje; el cierre definitivo de estos conductos se logrará con un tapón de concreto.

2.3.11. PRESA REGULADORA, DERIVADORA Y CENTRAL HIDROELECTRICA “SAN RAFAEL” NAYARIT, MEXICO



FIG. 2.32 PRESA SAN RAFAEL, NAYARIT MEXICO

El proyecto de la presa San Rafael es un presa de sección gravedad de Concreto Compactado con Rodillo con una altura de 47.5 y una longitud de corona de 230 m, se localiza sobre el río Santiago, a 16.8 Km aguas abajo del proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, Su objetivo es el de cambiar el régimen de la descarga de agua de la central, al requerido para el riego de una superficie de 124,100 hectáreas localizadas en las márgenes del río Santiago y el de San Pedro, hasta donde se extenderán los beneficios de la regulación ofrecida por el embalse de Aguamilpa.

Compañía Contratista :BUFETE INDUSTRIAL.
Cliente: Comisión Federal de Electricidad
Año de construcción: 1994.

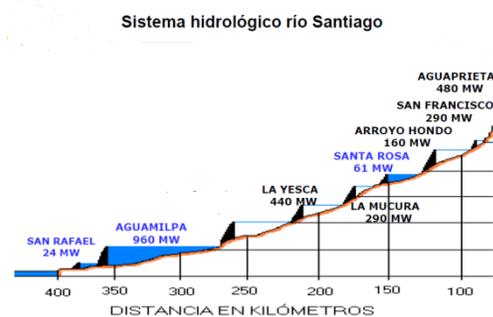


FIG. 2.33 SISTEMA HIDROLÓGICO RIO SANTIAGO



FIG. 2.34 PANORÁMICA DE CONSTRUCCIÓN

El eje de proyecto san Rafael se eligió considerando las características geológicas y topográficas de un conjunto de siete sitios analizados desde ambos puntos de vista.

2.3.11.1 FABRICACION

Para la fabricación del concreto compactado con rodillo CCR, se emplearan como base el material obtenido del banco de aluvión se san Rafael, una vez seleccionado (tamizado) y eliminados los tamaños superiores a 3", que además será complementado con un 25% mínimo de agregados obtenidos por trituración, y al que se añadirá arena y limo en las proporciones necesarias para cumplir con las especificaciones requeridas. La fabricación se combinara en una planta dosificadora por volúmenes, excepto para el cemento, cuya dosificación se realizara mediante pesada. La planta será de fabricación continua, de modo que el material fabricado tenga una uniformidad adecuada y garantice las producciones requeridas, este ultimo aportado se muestra como fundamental debido a la

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

modificación sufrida en la especificación que se refiere al tiempo transcurrido entre la fabricación de la mezcla y el inicio de su compactación, que a pasado de 90 min. A 45 min. La planta dosificadora será del tipo SAM-602 con producciones, punta de 600 ton/Hora y medias de 450-500 Ton./hora.

2.3.11.2 TRANSPORTE.

Una vez fabricada la mezcla de la planta dosificada, el transporte al cuerpo de la cortina se efectuara mediante bandas transportadoras tipo (Rotec) estas bandas estarán formadas por tramo de 7.6 m. que transportara el CCR desde la salida de la planta y lo enviara a un banda continua de 91.5 m. de longitud, esta ultima se dispondrá de modo que no interfiera los trabajo en las zonas de excedencias, para lo cual es imprescindible disponer de un cambio de dirección en planta con otra banda de 32 m. de longitud que permita alcanzar la cortina en el extremo de contacto de CCR con la obra de excedencias.

Esta última banda tendrá su origen en la elevación 60 y su final a la elevación necesaria, en función de la evolución en alzado de la cortina, teniendo como elevación mínima la 49 y como máxima la 72. Con esto se consigue que las máximas inclinaciones de la banda 32 no sobrepasen los 228, que es un valor usualmente recomendado como máximo para un trabajo de cintas transportadoras.

Esta cinta de 32 m. de longitud termina sobre la vertical de la coronación de la cortina, descargando sobre otra banda de 274 m3 de long. Que recorre la cortina longitudinalmente, sobre la coronación se colocara un distribuidor montado sobre orugas, que deja el concreto directamente sobre el punto de colocación evitando así las necesidades de emplear camiones para distribuir el material. De este modo se consigue evitar el movimiento de vehículos de ruedas sobre el CCR de manera que se eliminan los problemas de contaminación, que frecuentemente se producen en esas condiciones y se disminuye el No. De equipos circulantes sobre la cortina y a medida de la sección va subiendo “Va asiéndose critico” debido a las dimensiones del espacio disponible.

Este distribuidor permite el acceso del CCR a todo el cuerpo de la presa facilitando las labores de extendido.

2.3.11.3 COLOCACION

Una vez depositado el material sobre el cuerpo de la cortina se procede a su extensión en capas, de modo que una compactada tenga un espesor de 30 cm. el extendido se realizara mediante un tractor sobre orugas del tipo Caterpillar de 5 o de 6, este procedimiento se ha mostrado muy útil en la ejecución de un gran numero de presas de este tipo ya que presenta la ventaja de de presentar una superficie de apoyo disminuyendo las presiones ejercidas sobre el CCR, y evitando así daños en las capas ya compactadas, además como este procedimiento permite manejar volúmenes importantes en tiempos cortos y con un apoyo topográfico adecuado, permite terminaciones adecuadas en las capas extendidas.

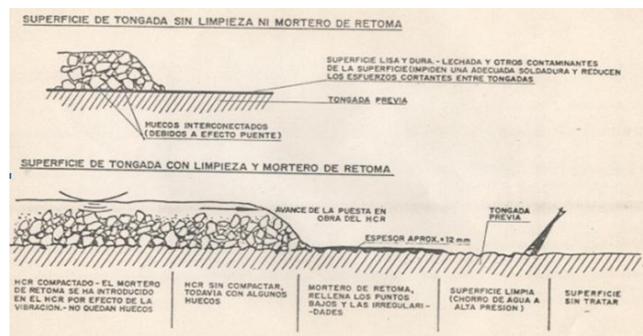


FIG. 2.35 SUPERFICIE DE TONGADA CON LIMPIEZA Y SIN LIMPIEZA, CON Y SIN MORTERO DE RETOMA

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El extendido se ejecutara por secciones longitudinales (según el eje longitudinal de la cortina), con anchos compresivos entre 6 y 8m. que se traslaparan entre si 40 cm. se deberá ser en forma continua para evitar la deformación de juntas frías, la longitud de estas secciones estará condicionadas por aspectos fundamentales.

-la longitud del tramo disponible, ya que en las zonas bajas de la cortina no tendrán toda la longitud de la misma, en función del perfil de cimentación resultante.

- Evitar la formación de juntas frías tanto de capaz, de una misma Tongada, como entre Tongadas sucesivas.

_ deberá evitarse el viraje brusco del equipo de extendido sobre capas de concretos frescos con objeto de no producir daños en las mismas.

2.3.11.4 COMPACTACION

Una vez terminado el extendido, se procede a la compactación de CCR para ello se emplearan rodillos lisos vibratorios.

El numero de pasadas se determinara en función de los ensayos que se realice de modo que se garantice la consecución de la densidad requerida, la primera y la ultima pasada deberán darse con baja vibración o sin ella. La primera pasada sin vibración permite un primer sellado de la capa, que colabora a disminuir las perdidas de humedad, la ultima pasada sin vibración, permite mejorar la terminación de la capa, ofreciendo un mejor apoyo para la siguiente.

En los puntos de difícil acceso para el rodillo, bien por proximidad a los paramentos cimbrados, bien por proximidad a las laderas, la compactación deberá realizarse empleando métodos alternativos, bien con rodillos manuales o con pisones neumáticos.

Las tongadas una vez compactadas, deberán quedar con una pendiente transversal hacia aguas abajo (es decir en dirección transversal a la cortina), de modo que permitan la rápida evacuación del agua, con lo que el drenaje del área de trabajo será fácil. Como orientación, hasta que se concreten los resultados por el laboratorio, puede considerarse como normal que el rodillo de 4 pasadas dobles con vibración y una doble vibración.

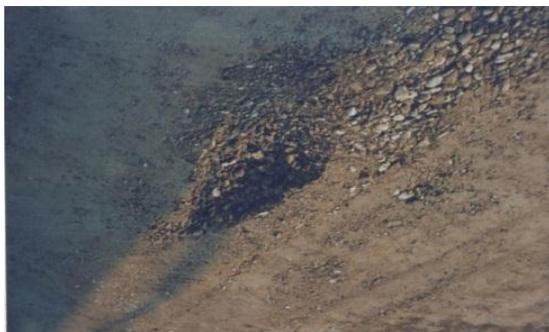


FIG. 2.36 SUPERFICIE DE CCR EN PROCESO DE COMPACTACION

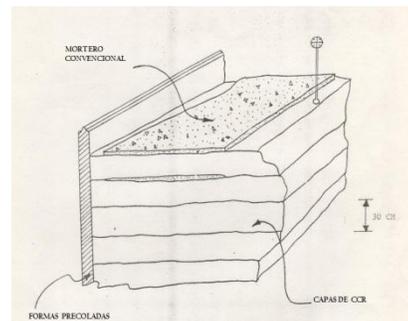


FIG. 2.37 CAPAS DE CCR CON MORTERO DE LIGA

2.3.11.5 JUNTAS FRIAS

Según las especificaciones, se considerara que se forman juntas frías:

-Entre los concretos consecutivos transcurra un tiempo superior a 36 horas.

-El factor de madurez sea superior a 500º Hora

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Cuando se produzca alguna de estas situaciones se procederá al tratamiento de la junta, de acuerdo a las prescripciones indicadas en el proyecto, comprendiendo básicamente los siguientes trabajos.

-Limpieza de la superficie con chiflón de Aire-Agua

- Extensión de una capa de concreto de liga

- Extensión de la Tongada de CCR

2.3.11.6 REPARACIONES

Cuando por alguna razón se cause daño a la superficie de concreto compactado y el grado de avance del fraguado en el concreto sea tal que resulte dudosa la reintegración y compactación de ese concreto, la zona de concreto dañado deberá removerse, formando caja, y ser posteriormente laterales de esta caja se deberá colocar mortero de liga, para recibir al CCR. Las líneas que forman la caja deberán ser, siempre que sea adecuado, unas paralelas y otras perpendiculares al flujo del agua del río

2.3.11.7 RESPONSABILIDADES

2.3.11.7.1 SUPERINTENDENTE GENERAL DE CONSTRUCCION.- es el responsable de la implementación de este procedimiento de obra.

2.3.11.7.2 SUPERINTENDENTE TECNICO Y/O DE PRODUCCION.- tendrá la responsabilidad de disponer de los equipos y del personal adecuado para la fabricación, transporte, colocación y curado de concreto incluyendo los equipos topográficos para controlar geoméricamente la disposición de cimbras, juntas y espesores de tongadas. Así mismo es el responsable de no colocar nuevas capas de CCR hasta no tener aprobada la capa precedente y de solicitar la colocación de una nueva capa al departamento de control de calidad, una vez confirmada la aceptación de esta tendrá en cuenta las limitaciones indicadas para la consideración de junta fría entre capas.

2.3.11.7.3 CONTROL DE CALIDAD.- Es el responsable de conocer la evacuación de los componentes y de la dosificación empleada en la elaboración del concreto, así como de la adecuación de los equipos de fabricación, transporte y colocación del concreto mediante los oportunos controles y/o calibraciones, periódicas, también es responsable de la realización de los ensayos de consistencia, densidad, resistencia y de coordinar con los equipos de control y vigilancia del cliente el seguimiento de los controles a realizar sobre los concretos.

2.3.11.7.4 JEFE DE INGENIEROS O SU DESIGNADO

Es el responsable de la aplicación de este procedimiento en todos sus apartados dentro de lo cual solicitará y recibirá los reportes de las pruebas emitidas por laboratorio para aplicar las medidas preventivas, correctivas y/o darle seguimiento a los trabajos.

2.3.11.7.5 TOPOGRAFO. Es el responsable dentro de este procedimiento, la realización y verificación de todo trazo, nivel y seccionamiento necesario para la ejecución de los trabajos objeto de este procedimiento.

2.3.11.8 EQUIPOS

2.3.11.8.1 PLANTA DE CONCRETO.- Periódicamente con una frecuencia mínima una vez al mes o antes si es necesario, se realizara una calibración de la planta con especial atención a las básculas de pesaje de cemento y agua. La báscula de cemento deberá garantizar una precisión del 1.5% en el rango de utilización habitual, y la de agua de 1%.

2.3.11.8 .2 EQUIPOS DE LABORATORIO

-Prensa de Rotura de probetas.- Al menos una vez cada 3 meses se realizara la calibración de la misma.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

-Equipos TROXLER de determinación de densidades.- deberá contratarse con determinaciones hechas con el método de la Arena una vez cada 15 días.

-Balances de laboratorio.- Para balances con precisiones de 1 gramo o menores, se calibran con pesas patrones una vez al mes, para balances de mayor sensibilidad la calibración se realizara 1 vez cada 15 días.

-Aparatos de topografía.- una vez cada 3 m3ses, se hará un circuito de comprobación y ajuste del equipo.

2.3.11.9 DOSIFICACION (COMPONENTES)

Los componentes se controlaran de acuerdo del procedimiento del control de componentes del concreto redactado para este proyecto.

La dosificación de agregados será como indica su curva granulométrica este comprendida dentro de los límites indicados en la ACI-270, para tamaño máximo de 3”, para lo que será, necesario garantizar la adición de los agregados necesarios, en especial arena gruesa y limos. La dosificación decidida deberá ajustarse cuantas veces se precise, con objeto de revisar las desviaciones que puedan surgir como consecuencia del empleo de material en forma única (todouno).

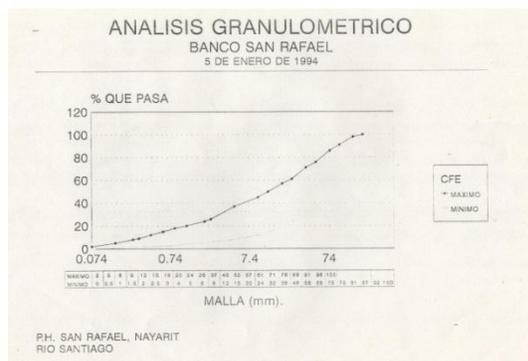


FIG. 2.38 ANALISIS GRANULOMETRICO

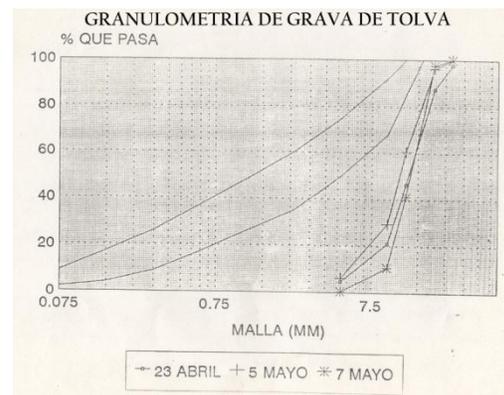


FIG. 2.39 GRANULOMETRIA DE GRAVA DE TOLVA

2.3.11.10 AREA DE ENSAYE

Se ejecuto un bordo de prueba, de dimensiones indicadas en el proyecto cuya localización se sugiere coincida con un bloque de presa pero cuya situación definitiva debe decidirse en obra.

Con equipos y conclusiones obtenidos en el área de losa de ensayos, se colocara el concreto en el cuerpo de la cortina analizando los siguientes controles de seguimiento.

- Determinación de la composición de concreto por Deshidratación, con alcohol.
- Determinación de Humedad y peso volumétrico del CCR (TROXLER)
- -Determinación de densidad seca máxima en laboratorio.
- Obtención de probetas Cilíndricas con concreto fresco para la obtención de resistencias a compresión, tensión, módulos de elasticidad.
- Extracción de núcleos de concreto para determinación de resistencias, a compresión, tensión y modulo de elasticidad así como para la evolución de aspectos como segregación y adherencia entre capas de CCR.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

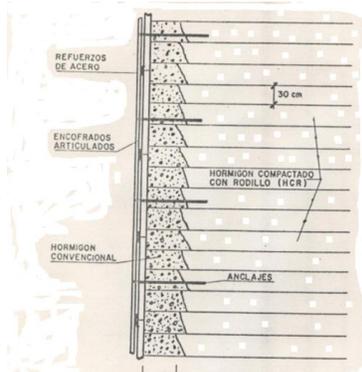


FIG. 2.44 CONSTRUCCIÓN DE PARAMENTO AGUAS ARRIBA

DEBE DE COLOCARSE UN MINIMO DE 90 CM DE CONCRETO CONVENCIONAL EN EL PARAMENTO AGUAS ARRIBA PARA OBTENER UNA BARRERA IMPERMEABLE Y UNA PROTECCION CONTRA EL HIELO-DESHELO. LOS METODOS DE EXTENDIDO Y COMPACTACION, SON LOS MISMOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION DEL CUENCO DEL VERTEDERO

Formas prefabricadas de concreto convencional para el paramento de aguas arriba y parte vertical del paramento de aguas debajo de la cortina de la sección gravedad

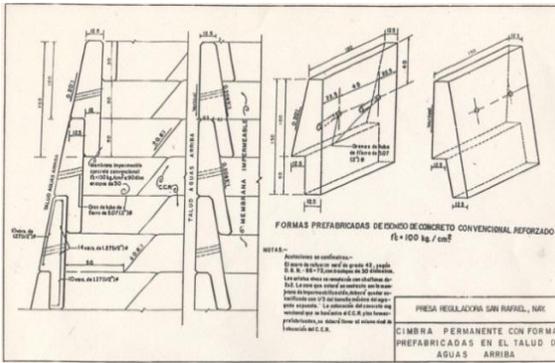


FIG. 2.45 CIMBRA PERMANENTE EN TALUD AGUAS ARRIBA

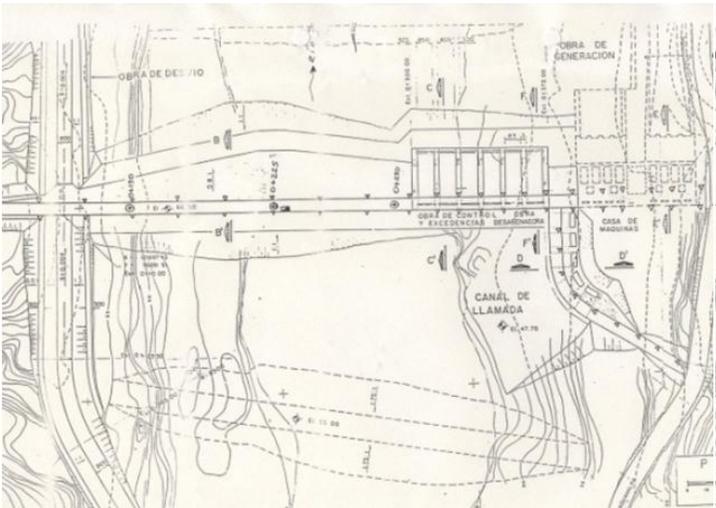


FIG. 2.46 PLANTA DE PROYECTO

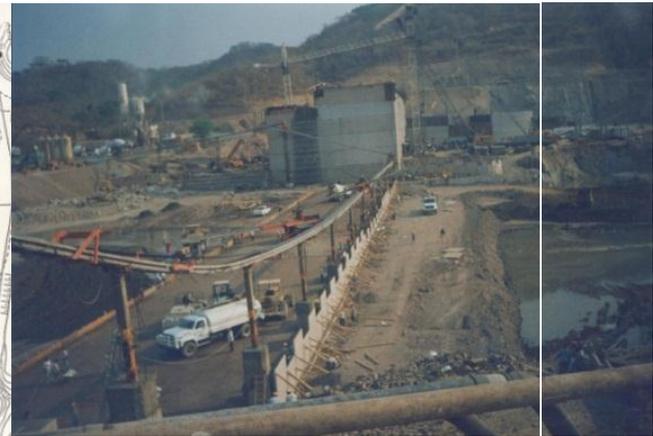


FIG. 2.47 PANORAMICA DE BANDA TRANSPORTADORA A LO LARGO DE LA CORTINA

2.4 USO MUNDIAL DEL CCR EN PRESAS

El uso de CCR en presas en el mundo ha mostrado un incremento importante durante los últimos años, Los Países como Japón, los Estados Unidos de América, Australia, Brasil e Inglaterra son los que están a la vanguardia en el desarrollo y uso del concreto compactado con rodillo.

La geografía mundial de los constructores de presas de CCR se repartía así hasta principios de 1999: China con 40, Japón 36, Estados Unidos 29 y España 21.

Una de las presas más altas del mundo es Miyagase en Japón, construida con la tecnología de RCD (Roller Compacted Dams). Una variedad de CCR muy particular utilizada en las presas japonesas que incluye altos contenidos de pasta y mortero de pega en todas las juntas entre capas y donde el espesor de estas es usualmente superior a los 70 cm.)

Miel-I es una presa Colombiana de mediano contenido de pasta que dejará muy atrás la altura de la presa japonesa.

Una nueva metodología para estudiar la hidratación del cemento en las entrañas de este concreto «seco» se desarrolló en Colombia, dirigido justamente a entender mejor el CCR. La tecnología de Energía Ultrasónica demostró sus bondades estudiando el fraguado del material y la generación de calor del mismo, bajo diferentes condiciones atmosféricas. Dentro del mismo contexto mundial la técnica se expuso en el Congreso Internacional de Grandes presas en Beijing en 1999 y próximamente será usada en Brasil, Chile y la propia China donde se propuso como norma para estudiar el CCR en estado fresco.

En la presa de Tamagawa en Japón. Los paramentos de aguas arriba y abajo se construyen con concreto convencional, en espesores de 3 m y 2,5 m, respectivamente, para asegurar durabilidad y estanquidad. Este concreto fue compactado en estado fresco con el compactado con rodillo, para obtener buena adherencia. El concreto compactado con rodillo fue extendido en tres capas de 250 mm cada una y luego compactado con 12 pasadas de un rodillo vibratorio de 7 t. El concreto contenía 91 kg. de cemento y 39 kg. de cenizas volantes por metro cúbico.

Para la adherencia entre capas horizontales se roció agua a presión y distribuyendo una delgada capa de mortero. Se ejecutaron juntas verticales de contracción a intervalos de 15 m a 18 m, cortando el hormigón fresco con una hoja vibratoria.

En Japón hay cinco presas de este tipo, siendo Tamagawa la más importante, con un volumen de un millón de metros cúbicos. En Norteamérica las presas de este tipo el concreto se extiende en capas de 250 mm a 300 mm y se compactan en ese espesor.

En la presa de Willow Creek se usó un concreto de 47 kg de cemento y 29 kg de cenizas volantes, por metro cúbico. No se realizó ningún tratamiento para la adherencia entre capas y aparecieron algunas pérdidas a través de las juntas horizontales. Estas pérdidas fueron decreciendo a medida que las grietas se rellenaron con el limo transportado por las aguas del río.



FIG. 4.2 PRESA WILLOW CREEK



FIG 4.3 PRESA TAMAGAWA

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

En proyectos posteriores se aumentó la cantidad de ligante; Así en la presa Upper Stillwater el hormigón tenía 70 kg de cemento y 170 kg de cenizas volantes por metro cúbico. Con máquinas de moldes deslizantes se colocó el concreto de los paramentos de aguas arriba y abajo. El tratamiento con mortero adherente en las juntas se aplica en los nuevos proyectos, por lo menos en las cercanías del paramento de aguas arriba.



FIG. 4.5 PRESA UPPER STILWATER, USA.

Actualmente los chinos estan comenzando la construcción de Lontang, una presa que no tendrá completamente vertical su cara aguas arriba pero que sobrepasará los 200 m de altura y pasará a ser la presa en CCR más alta construida en el mundo.

La técnica de terminado de la cara aguas arriba denominada CCR enriquecido comenzó a utilizarse en Australia (Cadiangullong, 43 m 1997-1998] pero tuvo su mayor aplicación en la presa de Jiangya (china, 131 m 1998-1999).



FIG. 2.48 PRESA PUEBLA DE CAZALLA, ESPAÑA

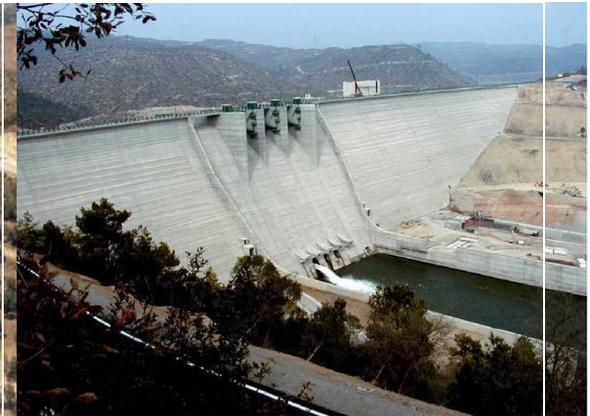


FIG. 2.49 PRESA RIALB. ESPAÑA

2.4.1. PRESA URUGUA-I) EN LA PROVINCIA DE MISIONES.ARGENTINA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)



FIG. 2.50 LA PRIMERA DE ESTE TIPO EN ARGENTINA.
ESTRUCTURA DE GRAVEDAD ALTURA 80 M.
LARGO DE CORONAMIENTO 687 M.
VOLUMEN TOTAL 600 000 M³
PARAMENTO AGUAS ARRIBA EN VERTICAL Y EL DE ABAJO
CON PENDIENTE 1 (VERT): 0.8 (HORIZ).

2.4.1.1 DESCRIPCION GENERAL DE LA PRESA

Esta presa cuenta con varias barreras de impermeabilización. La primera está constituida por una membrana de PVC de 2 mm de espesor, adherida a la cara posterior de los paneles premoldeados de 5,05 m x 2,20 m, que revisten la totalidad del paramento en contacto con agua. Los paños de PVC se sueldan por medio de calor, lográndose la continuidad de la membrana de toda la extensión del paramento.

Los paneles premoldeados que sirven de base y protección a la membrana de PVC se anclan a la capa de concreto convencional ubicada detrás de ellos y que constituye la segunda barrera impermeable. Esta capa de concreto convencional, es de 90 cm en los niveles inferiores, hasta los 50 cm en la parte superior de la presa.

En coincidencia con cada junta de contracción de este muro, separadas de 15 m a 20 m entre sí, se disponen dos cintas “water-stop” y detrás un dren de 10 cm de diámetro, conectado con la galería de inspección y drenaje donde de conducen las posibles filtraciones hacia el paramento de aguas abajo.

La tercera barrera es una mezcla de asiento de la superficie entre capas de CCR, inmediata al concreto convencional de aguas arriba y extendida en un ancho variable con la altura. La mezcla de asiento es 225 kg/m³ de cemento y un tamaño máximo de agregado de 19 mm.

Esta mezcla se distribuye sobre la superficie de la capa existente en un espesor de 2 a 3 cm aumentando la impermeabilidad de las juntas entre capas. Además les confiere mayor adherencia, necesaria para lograr las seguridades requeridas contra el deslizamiento.

El revestimiento del vertedero se ejecutará con concreto armado convencional en una etapa posterior a la construcción de la obra de CCR, y anclado al mismo convenientemente.

La terminación del paramento aguas abajo es escalonada de 40 cm de peralte igual a la de la capa de HCR.

- En zonas de vertedero, por debajo del salto de “esquí”, la terminación escalonada se ejecuta con concreto convencional para evitar problemas de erosión.

- En zonas fuera del vertedero, el escalonamiento se conforma directamente con CCR.

La galería de inspección y drenaje de 500 m, se ubica a 7,50 m del paramento aguas arriba.

2.4.1.2 METODO CONSTRUCTIVO

El CCR tiene de 60 kg/m³ de cemento y no incorpora ningún otro tipo de aglomerante.

El agregado grueso proviene de la trituración de la roca basáltica y tamaño máximo de 7,5 cm.

La arena es de trituración y de río. Con 100 litros de agua/m³ se obtiene una mezcla muy rígida con asentamiento nulo.

El bajo contenido de cemento en esta mezcla hace que constituya una experiencia piloto en el mundo.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

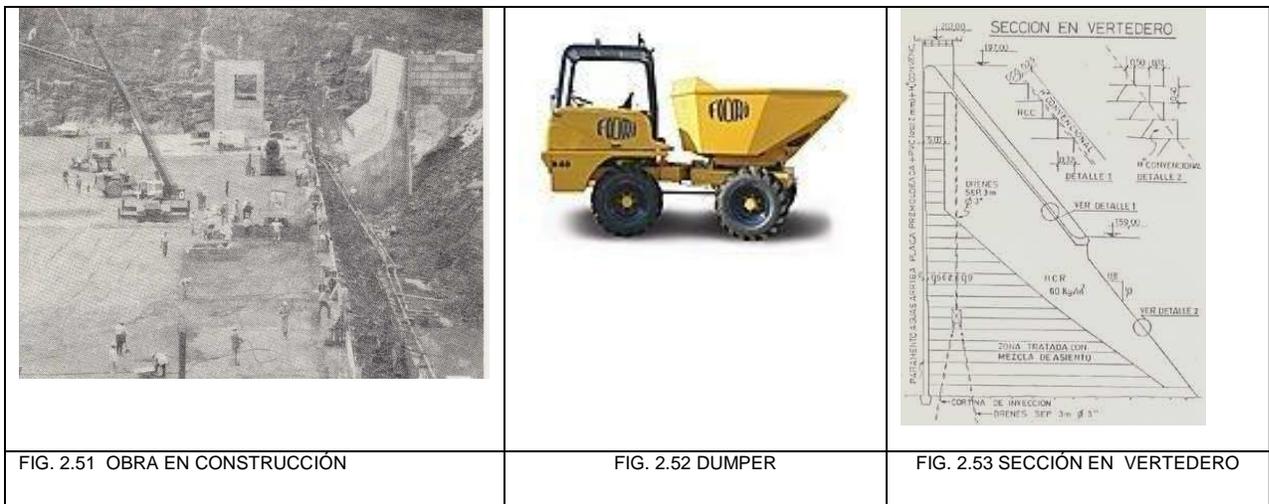
Se utiliza una planta de mezclado continuo, de 600 t/h. que incluye todos los sistemas de dosificación automática de cemento, agregados y agua.

Un sistema mixto compuesto por una cinta transportadora y “Dumpers” que circulan sobre el CCR lo transportan, la cinta transportadora cubre el primer tramo del recorrido total, extendiéndose desde la planta elaboradora hasta un punto del emplazamiento de la presa en margen derecha, donde descarga sobre las “Dumpers”.

En su recorrido la cinta con tolvas que evitan la segregación, en aquellos lugares en que por el cambio de dirección se pasa a otra cinta, y en la descarga final. También existe una tolva-pulmón a la salida de dos mezcladoras, capaz de compatibilizar una momentánea mayor reducción de la planta respecto a la velocidad de cintas.

Para prevenir la pérdida de humedad por los rayos solares o el exceso de agua por las lluvias, se ha dispuesto una cubierta en todo el recorrido de la cinta transportadora.

Una vez que la mezcla llega al fin de la cinta, se cargan los “Dumpers” que transportan hasta el lugar de la colocación, volcando siempre sobre el CCR fresco y no sobre la capa que le sirve de base. De esta manera se consigue una mayor uniformidad en los espesores, cuando el CCR se distribuye con la hoja de topadora.



Esta hoja de topadora distribuye el material y da los niveles con sistema de rayo laser.

El paso siguiente consiste en la compactación, mediante rodillo vibratorio, de la capa recién colocada. Alcanzando densidades después de un mínimo de 4 pasadas. Logrando densidades mayores a los 2.600 kg/m³ que superan los 2.400 kg/m³ requeridos. Las capas de 40 cm de espesor, deberán alcanzar una densidad sensiblemente uniforme en toda su altura. Para efectuar estas determinaciones se dispone en obra de un densímetro nuclear.

El concreto convencional del paramento aguas arriba se coloca recostado sobre los paneles premoldeados que actúan como encofrado. Seguidamente se coloca el CCR y se procede a la compactación del concreto convencional, por medio de vibradores neumáticos de inmersión. También se vibra la interface entre ambos hormigones de modo que haya una buena identificación entre ellos. El último término se compacta el CCR con pisones manuales en las proximidades de los paneles. Previo a la colocación de la capa siguiente se dispone, en el ancho de los cálculos, según el nivel, la mezcla de asiento que es producida en una planta de hormigón convencional y transportado por camiones mezcladores.

Una vez descargada se la distribuye por medios manuales hasta alcanzar el espesor deseado.

La galería de inspección y drenaje se construye dejando ocupado el lugar que le corresponde en cada capa por piedra triturada. Este material de relleno le da apoyo a los paños de encofrado que lo separan del CCR. Cuando la bóveda de la galería tiene la tapada suficiente se procederá a retirar el relleno que la ocupa.

2.4.2. LA PRESA DE LA BREÑA II, ESPAÑA



2.54 PRESA LA BREÑA II, ESPAÑA

2.4.2.1 DESCRIPCION

La presa de La Breña en la proximidad de la ciudad de Córdoba España, con sus 119 m de altura y un volumen de concreto compactado con rodillo (CCR) de 1,400,000 m³ de un total de 1,600,000 m³ de concreto, es la mayor presa de Europa de CCR.

El proyecto de esta presa se corresponde con un diseño moderno, conforme al estado del arte de las presas de CCR. Se ajusta a lo que en inglés se denomina “All-RCC dam”(presa todo CCR), lo que favorece el que se pueda considerar un “RCC-friendly design” (proyecto favorable para el CCR)

La Breña II es una presa de gravedad de planta recta, cuyo proceso constructivo es de vital importancia. Tiene un paramento aguas arriba con un talud 0,05h: v en los 79 m superiores, y 0,30h:1v en la parte baja, y un paramento aguas abajo escalonado, tanto en los estribos como en la rápida del aliviadero, con un talud teórico 0,75h:1v. Los escalones son de 1,20 m de altura.

La longitud de coronación es de 685 m, estando situada a la cota 184,00 m.s.n.m., y las juntas transversales dividen el cuerpo de presa en 26 bloques, de anchura variable entre 15 y 30 m. Se realizó un estudio térmico-tensional por elementos finitos para determinar, principalmente, la separación máxima entre juntas de bloques y las máximas tensiones de tracción verticales.

Con objeto de eliminar obstáculos al proceso constructivo del CCR, las conducciones de desagües de fondo y conductos para bombeo se han dispuesto en la parte baja de dos bloques en el pie de la ladera derecha, construidos con concreto vibrado previamente al CCR.

2.4.2.2 BORDO DE PRUEBA.

El Bordo de Prueba comprendió 12 capas de 0,30 m de espesor y con unas dimensiones netas en planta de 40x12 m. Si se añaden dos capas previas de nivelación y las rampas de acceso necesarias a cada capa, el volumen total de CCR empleado superó los 3.000 m³.

Bordo de Prueba coincidió en un periodo de climatología templada, con una temperatura media de 17 °C, un pico de 24 °C y una mínima de 11 °C.

Para minimizar el número de variables que pudieran dificultar la interpretación de los resultados, la dosificación del CCR se mantuvo invariable durante toda la construcción del Bordo de Prueba.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

La única diferencia fue que en la mitad de la losa las 6 primeras capas se ejecutó sin añadir aditivos, mientras que en la segunda mitad se añadieron diferentes aditivos al CCR: un retardador superplastificante (0,5% en peso sobre conglomerante total) en las capas 7 y 8 y un retardador (sin otra función) (0,8%) en las cuatro capas restantes. La única dosificación de CCR utilizada fue la obtenida a partir de un amplio programa de ensayos previos de laboratorio.

2.4.2.2 DOSIFICACION.

Esta dosificación, denominada CCR-220-40%C/40%F/20%L, tenía un contenido total de cementicios de 220 kg/m³, de los cuales 88 kg (40%) eran cemento Portland sulforresistente tipo CEM I/42,5 R-SR, 88 kg (40%) cenizas volantes de bajo contenido en cal y 44 kg (20%) filler calizo de muy alta calidad. Este filler calizo cumplía con la Norma Europea EN-197-1 para ser considerado como una adición mineral activa adecuada para ser añadida en fábrica al Clinker de cemento portland, para obtener un cemento tipo CEM II-L: su contenido en CaCO₃ y TOC (carbono orgánico total) eran, respectivamente, 99% y 0,11%. Los áridos fueron clasificados en tres tamaños de gravas, 50-25, 12,5-25 y 5-12,5 mm, más una arena 0-5 mm. El contenido de agua libre era de 110 kg/m³ para una consistencia VeBe de 12 segundos, en condiciones de temperatura de laboratorio.

Las doce capas del Bordo de Prueba se ejecutaron dejando tiempos de recubrimiento en el rango de 10 a 72 horas, simulando diferentes clases de juntas calientes, templadas y frías.

De la losa se extrajeron más de 70 m de testigos verticales de 120 mm de diámetro, a una edad de 90 días para obtener dos informaciones: por una parte, conocer el porcentaje de juntas bien soldadas entre capas y hacer una evaluación de las juntas no soldadas, para cada tipo de tratamiento de junta; y por otra, realizar ensayos de tracción directa en las juntas bien soldadas. Para esto último se tallaron, a partir de los testigos, un gran número de probetas con una junta bien soldada en el centro, y se prepararon para ensayar a tracción directa a una edad de unos 180 días, que era la de control de la resistencia

2.4.2.3 FABRICACION.

La Planta encargada de producir el CCR, se componía de dos plantas con una capacidad conjunta de 500 m³/h, contando cada una con dos amasadoras forzadas de eje horizontal de 4 m³. La capacidad total de ensilado de áridos era de 13.400 t, y la de conglomerantes (cemento, cenizas volantes y filler calizo) 6.000 t. Ello garantizaba una reserva equivalente a la producción de 3 días de hormigonado en punta, pues para la fabricación del CCR se empleaban, además de los 4 tamaños de áridos anteriormente mencionados, un total de 230 kg/m³ de conglomerante. Lo anterior implica que, dentro de la clasificación de presas de CCR, La Breña II queda claramente dentro del grupo de las de alto contenido en pasta.



FIG. 2.55 VISTA AÉREA DE LAS INSTALACIONES PARA FABRICACIÓN Y ENFRIAMIENTO DEL CCR



FIG. 2.56 VISTA GENERAL DE EQUIPO AUTOTREPANTE DE BANDAS TRANSPORTADORAS DE CCR

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

La central se completaba con sendas instalaciones de pre-enfriamiento del hormigón, compuestas por un túnel de enfriamiento de áridos gruesos con dos cintas de 140 m de longitud (una por cada planta) y dos equipos de fabricación de escamas de hielo con capacidad unitaria de 90 t/día.

Adicionalmente se empleaba agua fría para el mezclado del concreto. El objetivo era no superar una temperatura de 20 °C del CCR en el momento de su colocación, para lo cual no debía superar los 18 °C a la salida de la planta, incluso en los meses más calurosos de verano, en los que en esta zona de Córdoba se alcanzan temperaturas superiores a 40 °C. Para la fabricación de hormigones convencionales y morteros se contaba con dos plantas auxiliares de hormigón de 60 m³/h de capacidad cada una.

2.4.2.3 TRANSPORTE.

El concreto CCR se transportaba hasta la presa mediante una instalación de cintas de alta velocidad con capacidad superior a 500 m³/h. En total eran hasta 5 cintas (según fases), con un desarrollo total máximo de 330 m, más un distribuidor telescópico autotrepante con el que se cargaban los camiones que transportaban el CCR sobre la presa hasta el punto de colocación.

El equipo de colocación y transporte del CCR sobre la presa estaba formado por los siguientes tipos de máquinas:

- Dumpers de 35 t, bulldozers de 2,5 m de ancho de hoja.
- Compactadores vibratorios de un solo tambor de 12 t de peso estático.
- Compactadores de doble tambor de 2,5 t para compactación junto a encofrados y zonas de reducida superficie.
- Retroexcavadoras con equipo de vibrohinca para formación de juntas transversales.
- Retroexcavadoras con batería de 4 vibradores para ejecución del MEVR en paramentos y contacto con laderas.
- Camiones hormigonera de 6 m³ para transporte y extendido del mortero.
- Equipos de agua a alta presión para descarme en juntas frías.
- Grúas automóbiles de 25 t para movimiento de encofrados.

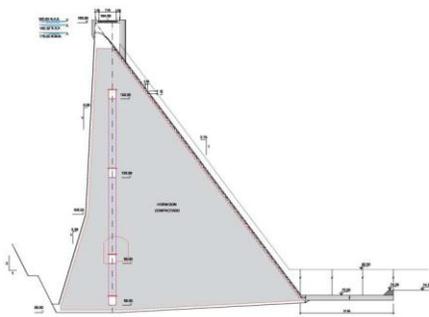


FIG. 2.57 SECCIÓN TIPO POR EL ALIVIADERO.

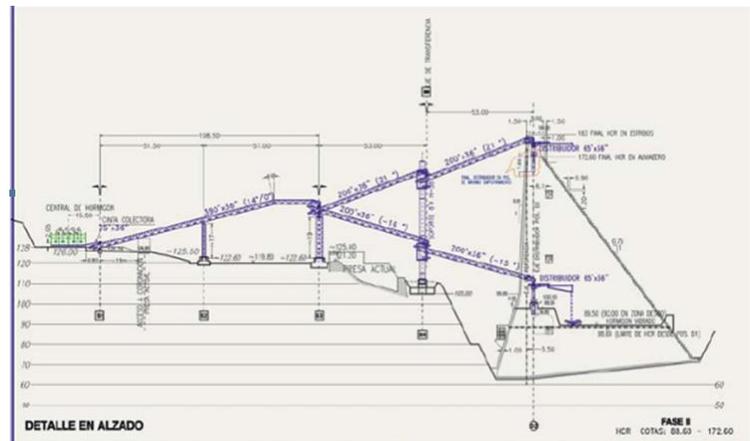


FIG. 2.58 ESQUEMA DEL EQUIPO AUTOTREPANTE DE BANDAS TRANSPORTADORAS DE CCR

2.4.3. PROYECTO HIDROELECTRICO PALOMINO, REPUBLICA DOMINICANA

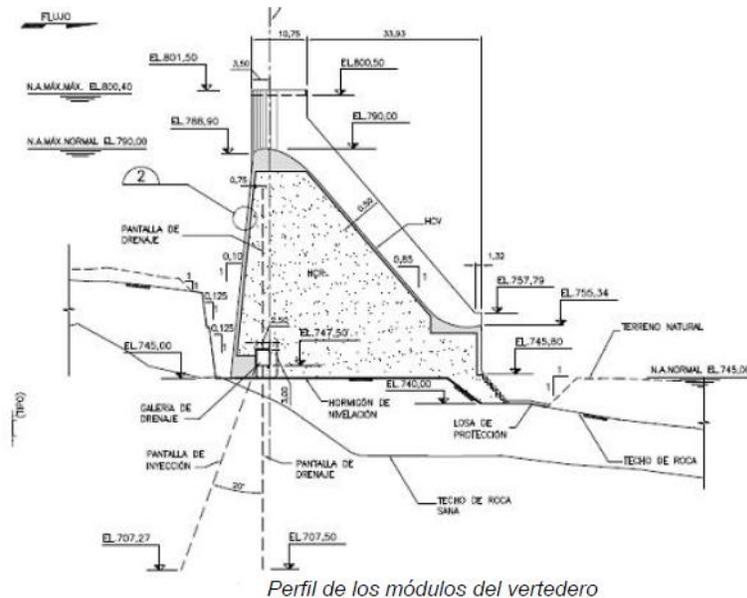


FIG. 2.59 PERFIL PRESA PALOMINO, REPUBLICA DOMINICANA

2.4.3.1 DESCRIPCION

El proyecto Hidroeléctrico Palomino comprende el aprovechamiento de las aguas de la alta cuenca del río Yaque del Sur, en la República Dominicana.

Presa gravedad de eje recto, construida con Concreto Compactado con Rodillo. Altura máxima de 60 m y una longitud del coronamiento de 160 m. En el cuerpo de la presa se emplazará un vertedero construido con muros de concreto armado empotrados en el cuerpo de la presa, y por una rápida constituida por una losa apoyada sobre los escalones de CCR.

Se utilizará CCR, con mezcla de agregados gruesos y finos de una granulometría específica, materiales cementantes, agua y aditivos plastificantes y/o retardadores de fraguado, mezclados que permitan su transporte y entrega por medio de camiones de volteo y/o bandas transportadoras. La colocación y extendido será con tractor de orugas de huella plana y su compactación se realizará por medio de rodillos vibratorios.

El material cementante estará compuesto por cemento tipo Portland y adiciones tales como puzolana natural, ceniza volante y/o escoria granulada de alto horno.

El diseño de las mezclas se hará utilizando uno de los métodos descritos en el ACI reporte 207.5r, para la elaboración de CCR, adoptándose un valor de resistencia característica a la compresión de 10 MPa a los 90 días.

Se proyectaron concretos convencionales vibrados, diseñados para soportar las tensiones generadas por el sismo de diseño según estudios dinámicos.

Para asegurar características de resistencia en las juntas de construcción entre capas de CCR, se aplicará mortero de liga en todas las capas siempre que se sobrepase el tiempo de fraguado.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Las plantas de fabricación CCR será equivalente a una planta tipo “ pug mil” de mezclado continuo que contara con dosificador continuo, en peso, para el material cementante que lo capte del silo y lo transporte continuamente al alimentador principal

La consistencia del concreto medida mediante el aparato VeBe modificado (sin contrapeso), podrá registrar un tiempo de vibración de 12 a 25 segundos.

2.4.3.2 METODOLOGÍA DE LA COLOCACIÓN

Concluidas las excavaciones y antes de la colocación del concreto se realizara limpieza en la superficie, regularizándose el plano de apoyo relleno de depresiones y huecos con concreto convencional de regularización y nivelación, densificando con vibrador de inmersión.

En principio, la colocación del CCR será por el proceso convencional en capas horizontales, con espesor final de 0.30 m después de la compactación. No obstante, se prevé que podrán utilizarse procedimientos alternativos tales como el de colocación en rampa.

Para la alternativa convencional de colocación, las sucesivas capas se colocaran en forma escalonada de tal forma de aprovechar al máximo el equipo disponible y reducir los tiempos de colocación entre una y otra capa. Asimismo, la colocación del CCR en forma escalonada, tendrá como objetivo materializar una rampa para posibilitar el acceso de equipos a la presa, en ambas márgenes y a diferentes niveles.

En aquellos casos en los cuales el tiempo transcurrido entre la colocación de una capa y la siguiente supere los tiempos máximos resultantes de la fase experimental sobre el bordo de prueba, y considerando las condiciones de temperatura existentes en la presa, se procederá a la disposición de una capa de mortero mas eficiente con el objeto de maximizar la resistencia a la tracción de las juntas entre capas.

Los paramentos aguas arriba y abajo serán terminados colocando concreto convencional. Se colocara primero el concreto convencional y posteriormente se efectuara la colocación y compactación del CCR, Se fusionaran ambos concretos mediante el uso de vibradores. Similar tratamiento se realizara en el contacto de la presa con la roca de los estribos.

El tendido se realizara con tractor de bandas del tipo D6 CAT o similar (con zapata lisa) y será realizado de manera de producir la superficie lo mas plana posible.

La compactación será con rodillos vibratorios lisos, de doble tambor o rodillos simple, con peso nominal y frecuencia de vibración que se definirán en el bordo de prueba. También se utilizaran rodillos de compactación manuales y apisonadores de placa junto a los paramentos de la presa, así como en las paredes de la galería de drenaje y alrededor de piezas ahogadas.

El número de pasadas será el suficiente para que el CCR podrá ser 4 hrs para el periodo diurno y 6 hrs para el nocturno. Estos intervalos de tiempo se ajustaran de pruebas que se realizaran, previo al inicio del colado de la presa, en un relleno experimental o con investigaciones de laboratorio para mejorar el contenido de aditivo retardador u otro.

Los criterios de colocación de CCR y tratamiento de juntas son los detalles en la Tabla siguiente:

Intervalo de tiempo entre capas consecutivas	Situaciones en las que se prevé mortero de liga
< 4 a 6 horas	Continuar sin la colocación de mortero (4 horas en el turno diurno y 6 horas en el turno nocturno)
entre 6 y 24 horas	1 - limpieza de la superficie con chorro de aire 2 - colocación de mortero de liga 3 - colocación de nueva capa de HCR
> 24 horas	1 - preparación de la superficie con chorro de aire y agua garantizando la limpieza de la capa previa 2 - colocación de mortero de liga 3 - colocación de nueva capa de HCR

Criterios para el tratamiento de juntas entre capas de CCR

FIG. 2.69 INTERVALOS DE TIEMPOS ENTRE CAPAS CONSECUTIVAS

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

2.4.3.3 JUNTAS DE CONTRACCION

Las juntas de contracción entre módulos se materializaran por la incrustación de una lámina de acero con equipo vibratorio a través de hojas de PVC perdidas en la capa, adoptándose las previsiones necesarias para evitar que el concreto no se segregue o agriete en esta operación.

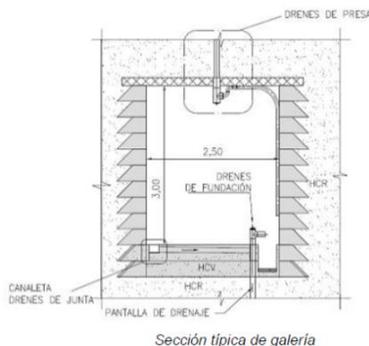
Las juntas de contracción se ejecutaran en la sección completa del bloque, coincidentes con las juntas de concreto convencional en la cara de aguas arriba y un doble wáter stop con dren intermedio, en forma vertical.

La superficie superior de cualquier capa de CCR sobre la cual se va a colocar una subsecuente, se mantendrá siempre humectada hasta que sea cubierta por la siguiente capa o hasta que el CCR alcance como mínimo 14 días de edad. El mismo criterio se adoptara cuando las caras verticales de CCR sean cubiertas por concreto convencional, este ultimo deberá curarse con agua o membrana de curado.

La incorporación de galerías y accesos siempre es un elemento de cuidado en presas de CCR habida cuenta de la interferencia que las mismas representan para el proceso de colado del concreto y, por ende, de su afectación sobre sus ventajas económicas comparativas con otras alternativas de presa. En Palomino se busco un equilibrio entre la interferencia inevitable con el proceso de colocación del CCR, la accesibilidad al interior en diferentes estados de la construcción para permitir varios frentes de obra en paralelo (inyecciones, drenajes, etc.) y la facilidad para obtener la geometría de galería requerida.

El diseño de la sección incluye sendas canaletas cuya función es conducir al agua por los drenes de las juntas entre módulos, los de la fundación y los verticales ascendentes practicados en el interior de la presa. El agua es conducida hacia estaciones de aforo integrales del sistema de auscultación de la presa.

Para la construcción de la galería se utilizara cimbra tradicional para los hastiales y una loseta de concreto armado precolada en el techo y apoyada sobre los laterales. Sobre la loseta el concreto será compactado en forma manual en un espesor no menor a 1.2 m.



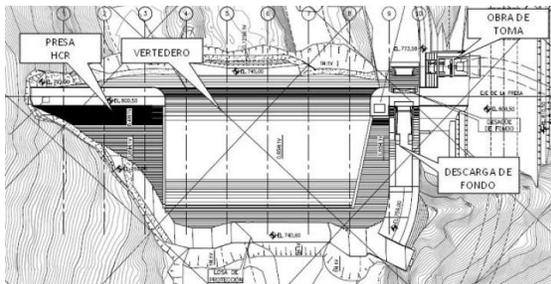
Sección típica de galería

FIG. 2.70 SECCION DE GALERIA



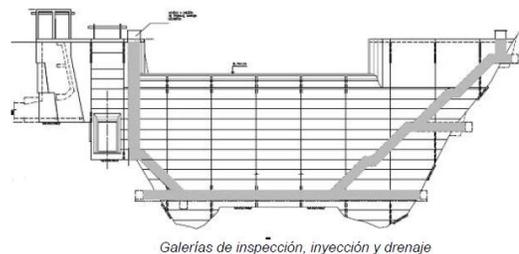
Túnel principal inaugurado del Proyecto Hidroeléctrico Palomino

FIG. 2.71 TUNEL PRINCIPAL



- Planimetría de la Presa

FIG. 2.72 PLANIMETRIA DE LA PRESA



Galerías de inspección, inyección y drenaje

FIG. 2.73 GALERIAS DE INSPECCION Y DRENAJE

2.4.4. PRESA TASHKUMYR, RUSIA.DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

Presa de Tashkumyr, construida entre los años 1987 y 1989. La presa de gravedad, de 75 m de altura, tiene la pared interna vertical y la externa con una inclinación de 1:0,8 aguas abajo. Y una sala de máquinas con sus correspondientes obras de admisión y aliviadero. Uso de nuevas técnicas en relación con las duras condiciones climáticas que se experimentan en el lugar de las obras.

El promedio de temperatura regional que se experimenta en el mes de enero es de $-3,1^{\circ}\text{C}$ y en el mes de julio $+28,1^{\circ}\text{C}$; la máxima temperatura es de $+45^{\circ}\text{C}$ y la mínima de -25°C . El riesgo por un movimiento sísmico en el lugar de la presa es de grado IX en la escala Mercalli.

La pared interna vertical lleva un recubrimiento de concreto con un contenido de cemento de $200 - 220\text{ kg/m}^3$. Similar concreto se utilizó en la base de la presa en contacto con la roca, y en la pared externa, con excepción de la porción correspondiente al vertedero, cuyo concreto llevó 320 kg de cemento por metro cúbico. El macizo interno de la presa fue construido en su parte superior con un concreto de 120 kg/m^3 de cemento y en su parte inferior con otro de 100 kg/m^3 de cemento. El cemento usado en la zona interna del macizo lleva un 20 a 30 % de puzolanas.

Sobre la base de los ensayos preliminares se llegó a la conclusión que con el concreto adoptado y los métodos de colocación empleados, el concreto podía ser colocado en capas de 50 cm de espesor. La experiencia de presas anteriores y la obtenida en esta presa indicaban que el concreto podía ser colocado en capas de este espesor sin inconvenientes. El espesor uniforme de las capas de concreto vibrado y rodillado aseguraba su compacidad y la adherencia entre capas.

La elaboración y colocación del concreto fue con una planta de mezclado, camiones, grúas, una topadora, un tractor equipado con vibradores internos y un rodillo vibrador.

La colocación del concreto inicio en 1987, realizándose por capas horizontales hasta terminar la superficie total de cada capa de la presa. La requerida compactación del concreto se alcanzaba con seis pasadas del rodillo vibrador, de las cuales las dos primeras se realizaban sin vibración.

Durante el verano la superficie del concreto colocado era continuamente curada, hasta la colocación de la próxima capa de concreto que la cubría. El curado se iniciaba inmediatamente después de terminada la compactación de la capa y removido el film superficial de cemento. Prácticamente el curado se iniciaba una o dos horas después de terminado el rodillado.

La máxima temperatura del concreto convencional colocado en la presa no excedió los 24°C y la del concreto compactado con rodillo los 31°C .

En general no hubo grandes variaciones de temperatura en el concreto de la presa. No se observaron grietas de origen térmico en el concreto compactado con rodillo.

Durante el invierno no fue interrumpido el colado: en febrero de 1988 la temperatura ambiental llegó a -18°C pero en la estación invernal de 1989 la temperatura se mantuvo arriba de los -5°C . En esta época invernal la temperatura del hormigón se llevaba a los $+10^{\circ}\text{C}$.

Los ensayos realizados en laboratorio y en muestras caladas del concreto de la obra, fuera de la casa de máquinas, indicaron que el concreto compactado con rodillo reunía los requerimientos establecidos en el diseño.

El uso del concreto compactado a rodillo resultó de un costo 20 % menor que el que hubiera correspondido al concreto convencional, sin contar otras economías en la mano de obra requerida.

2.4.5. PRESA PIRRÍS, COSTA RICA. EN CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.



FIG. 2.74 PRESA PIRRIS, COSTA RICA

2.4.5.1 DESCRIPCION

Su cuerpo principal tiene un volumen de 730 000 m³ de RCC, una altura de 113 m y 266 m de longitud en la cresta, el vertedor de excedencias de concreto convencional colocado directamente sobre la presa. Existen varias modalidades dentro de esta tecnología, siendo la mezcla objeto de esta presa de “alta pasta” (contenido de cementante mayor a 150 kg/m³), que permite un proceso continuo de colocación de las diferentes capas consecutivas de concreto, en general sin tratamiento entre ellas, lo que favorece la homogeneidad de la presa y los altos rendimientos

2.4.5.2 FABRICACION

La planta para producción del concreto, es marca Betonmac con una capacidad nominal de 540 m³/hr, con dos líneas de mezclado independientes para completar un total de 4 mezcladores de doble eje horizontal. Dispuso de cuatro silos pequeños para cemento encargados de su dosificación para cada mezclador y 3 silos para almacenar cemento con capacidad de 700 tones. Cada uno, los cuales recibían el cemento de camiones graneleros.

A fin de lograr que en el sitio de colocación la temperatura del CCR fuese inferior a los 23° C, de la planta debía salir a 17° C, por lo que debían enfriarse el agua y la piedra.



FIG. 2.75 PLANTA BETONMAC PARA PRODUCCIÓN DE RCC

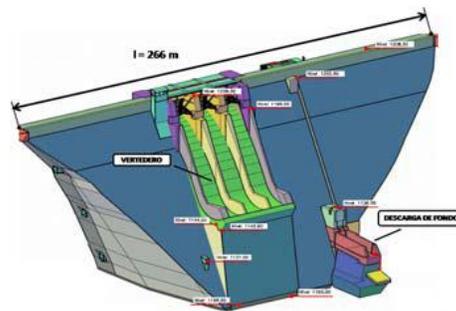


FIG. 2.76 CUERPO DE PRESA

El transporte del concreto fue con banda transportadora de 500 m de longitud.

La insuficiente de la banda (en promedio del 65 %) obligó a disponer permanentemente de un mecanismo de transporte alternativo del CCR con vagonetas, las cuales en la mitad inferior de la presa accedían al área de

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

colocación mediante una rampa de material suelto que alcanzó los 200 000 m³, y en la mitad superior lo descargaban mediante una tolva y canoas metálicas localizadas en la parte alta de ambas márgenes.



FIG. 2.77 TRANSPORTE Y DESCARGA DEL RCC CON BANDA Y CON CANOA/VAGONETA

El principal requisito para la colocación del concreto, aún en época lluviosa, es asegurar una excelente adherencia y continuidad entre las capas de CCR de 30 cm de espesor, para lo cual la superficie debe estar fresca o con una adecuada preparación de la junta, de manera que se eviten juntas frías entre capas y también cumplir el requerimiento de esfuerzo a la tensión de 1.2 MPa.

Una vez depositado el CCR en el sitio, se extiende con un tractor D5 y se compacta con un rodillo vibratorio liso de 10 toneladas. Entre los equipos involucrados en la colocación del CCR hay dos muy particulares cuales son el distribuidor de concreto compuesto por bandas transportadoras telescópicas, con alcance a casi toda el área de trabajo y capacidad de hasta 300 m³/hr (Crawler), así como una grúa torre Potain MD-1100 con capacidad de 40 toneladas que permite ingresar o retirar al área de trabajo equipo pesado debido a que en la mitad superior de la presa ya no hay accesos carreteros.



FIG. 2.78 UTILIZACIÓN DEL CRAWLER Y DE LA GRÚA POTAIN MD-1100

Durante la colocación del CCR se debieron considerar muchos aspectos particulares muy determinantes en el diseño de la presa, el procedimiento constructivo, los costos y los rendimientos.

Podemos citar entre los más importantes los siguientes:

a) Formaleta para los paramentos: Se seleccionó una formaleta Doka en forma de gradas con

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Alturas de 60 cm, debiéndose colocar entre 4 y 6 módulos unidos entre sí de manera que la Presión del concreto sin fragua suficiente de las capas superiores, fuese soportada por los módulos inferiores adecuadamente sostenidos por el concreto ya fraguado.

b) Galerías de drenaje e inyección: El cuerpo de la presa está atravesado por tres galerías longitudinales de drenaje e inyección unidas por un pozo con ascensor. Fueron un elemento muy influyente en el rendimiento de colocación del CCR.

c) Juntas de contracción longitudinales: Estaban originadas por el diseño estructural de la presa en monolitos. Por medio de banda impermeable (wáter stop) debía asegurarse que no hubiese paso de agua proveniente del embalse. Por razones constructivas estas juntas debían inducirse mediante el hundimiento de una placa metálica posterior a la colocación de cada capa.

d) Curado de la superficie de concreto: Se realizaba una aspersión permanente de agua y aire a presión de manera que toda la superficie expuesta del concreto siempre estuviese húmeda.

El diseño y el sistema constructivo debieron considerar la interrelación del cuerpo de la presa con otras estructuras adosadas como la descarga de fondo, la toma de aguas y el vertedor de excedencias.

Sistema de hiperbloques: Este sistema consiste en dividir el cuerpo de la presa en aproximadamente dos mitades por una de sus juntas longitudinales, colando entonces primero una mitad y luego la otra, con lo cual al tenerse solo una mitad del área de concreto expuesto se dispone también, para iguales requerimientos de madurez, de la mitad del tiempo para concluir la capa y por consiguiente se mejora la calidad de la junta. Se utilizó para los meses de mayor intensidad de lluvia y debido principalmente a las insuficiencias en la disponibilidad de la banda y en la producción de la planta, entre las elevaciones 1126 m.s.n.m y 1140 m.s.n.m. Instrumentación: Todo el cuerpo de la presa quedó monitoreado por aproximadamente 500 instrumentos, principalmente termómetros y deformímetros. Tratamiento de superficies: Según los valores del factor de madurez se debió en algunos casos aplicar tratamiento para junta intermedia o junta fría.

Concreto enriquecido con lechada: Ya sea por requerimientos de impermeabilidad o apariencia, se requiere de un concreto de mayor fluidez en las zonas donde el CCR está en contacto con la formaleta de los paramentos, con los taludes, con muros, galerías u otros elementos de estructuras de concreto convencional. En este caso se utilizó la técnica de enriquecer con lechada el CCR a colocar en estas zonas especiales

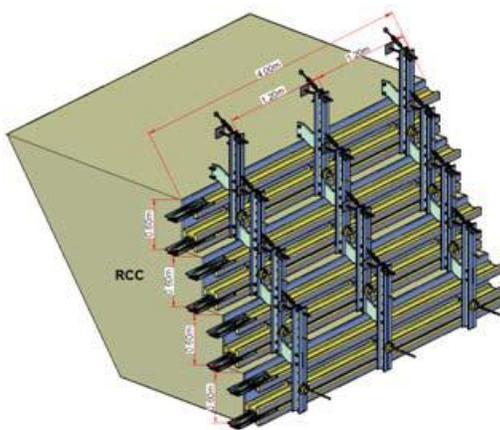


FIG. 2.79 FORMALETA DEL PARAMENTO Y SISTEMA DE HIPERBLOQUES

Hay un proceso muy estricto de control de calidad que comprende el control del cemento y de los agregados, el batido de la mezcla en planta considerando los requisitos de temperatura y confección de cilindros de prueba, y en el sitio la verificación de consistencia, tiempos de fragua, instrumentación, segregación y compactación, así como un muestreo posterior con núcleos extraídos del cuerpo de la presa para verificar la homogeneidad del concreto y su resistencia a la tensión.

2.4.6. PRESA RALCO EN CHILE



FIG. 2.80 PRESA RALCO EN CHILE DE CCR TIPO GRAVEDAD

2.4.6.1 DESCRIPCION

Presa gravitacional de concreto compactado con rodillo tiene una altura de 155 metros, una longitud de 360 metros en su coronamiento y un volumen total de 1,5 millones de m³.

Los estudios de laboratorio y el terraplén de pruebas establecieron las dosis mínimas de cemento Portland puzolánico (30% de puzolana) para satisfacer los requerimientos de las tres zonas de la presa, cantidades que correspondieron a de 190, 165 y 135 kg/m³. Para la definición de las dosis de cemento se consideró un nivel de confianza del 80% y un coeficiente de variación del 15%. El diseño de la dosificación del CCR fue determinado utilizando el método de Faury, el cual fue adaptado para el CCR sobre la base de la experiencia adquirida por Ingendesa durante la construcción de la primera presa de CCR construida en Chile, la presa Pangué. Debido a las características de los áridos disponibles, fue necesario considerar la adición de material fino para asegurar la trabajabilidad del CCR. Para ello, se dispuso de una planta de molienda en seco que entrega un material denominado “filler” que poseía una granulometría inferior a la malla #100 ASTM, con una finura Blaine promedio de 3.000 cm²/g. El requerimiento de material filler se basó en la falta de disponibilidad de arenas finas en las cercanías de la presa y la falta de disponibilidad de ceniza volante en la región. El diseño de la mezcla de CCR estableció una dosis de agua para obtener una trabajabilidad Vebe en terreno de 15 segundos (controlada según norma EM 1110-2-2006 del U.S. Corp of Engineers).

Tipo de presa	Gravitacional de HCR
Altura máxima (m)	155
Longitud coronamiento (m)	360
Ancho coronamiento (m)	8,5
Cota de coronamiento (m.s.n.m)	727,30
Volumen total de HCR (m ³)	1,5 x 10 ⁶
Nivel máximo del embalse (m.s.n.m)	725,00
Superficie máxima inundada (ha)	3.467
Volumen total embalsado (m ³)	1.222 x 10 ⁶
Volumen máximo de regulación (m ³)	800 x 10 ⁶
Caudal de diseño del vertedero (m ³ /s)	6.550

FIG. 2.81 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA PRESA RALCO

Materiales	Proporciones de las mezclas en kg/m ³	
	HCR Presa	Mortero
Grava 1 ½"	629	-
Gravilla ¾"	548	-
Arena Gruesa	479	1062
Arena fina	276	453
Filler	115/85/60	-
Cemento	95/116/133	280
Puzolana	40/49/57	120
Agua libre	145	320
Densidad	2396	2235
Trabajabilidad (tiempo cono)	15 s	26-28 cm
Vebe o asentamiento		

FIG. 2.82 DOSIFICACION DEL CCR Y MORTERO DE LIGA (ARIDOS SECOS)

2.4.6.2 TRATAMIENTO DE LAS JUNTAS

El diseño definió la colocación del CCR en capas de 30 cm de espesor compactado. Para asegurar una buena adherencia entre las capas de CCR, se estableció el uso de un mortero de junta de un centímetro de espesor que se coloca con una trabajabilidad de 26-28 cm de revenimiento. Se ha procedido a eliminar el uso del mortero de junta cuando la superficie de la capa no ha superado una madurez de 100°C-Hr, es decir, antes del inicio de fraguado del concreto definido sobre la base de las características del cemento en uso. El tratamiento de junta es exigido en caso de superar una madurez de 1.000 °C-Hr, de lo contrario la superficie de la capa requiere una limpieza con agua y aire a presión para retirar todo el material suelto. La madurez es calculada con la temperatura promedio ambiente en grados Celsius más diez grados multiplicado por las horas de exposición de las capas.

2.4.6.3 CONDICIONES DE COLOCACIÓN DEL CCR CON LLUVIA O TIEMPO FRÍO.

La construcción no fue interrumpida durante las épocas de invierno, se estableció la posibilidad de mantener la colocación de CCR con intensidades de lluvia inferiores a 3 mm/hr y temperatura ambiente superior a $-4,5^{\circ}\text{C}$; ello siempre y cuando se usara protecciones o mantas térmicas sobre las superficies expuestas y calentamiento del agua del concreto. Las mantas térmicas fueron confeccionadas con una geomembrana de polietileno blanca de 0,20 mm de espesor en la cara inferior y otra de color negro de 0,10 mm en la parte superior para capturar la radiación solar, entre las cuales se colocó un geotextil Bidim OP 30.



FIG.2.83 USO DE MANTAS TERMICAS PARA PROTEGER SUPERFICIE DE CCR EXPUESTO.

2.4.6.4 USO DE LA TÉCNICA DEL CCR-EL

En la construcción de la presa se empleó la técnica del CCR enriquecido con lechada (CCR-EL) aplicado en todo su contorno, esto es, en los paramentos y en los contactos con la roca de las laderas. La mezcla de CCR-EL contiene una dosis de 100 l/m³ de lechada, cuyas características principales fueron una razón A/C=0,78:1, con uso de aditivo superplastificante al 2% de la dosis de cemento, que le proporcionaba una viscosidad Marsh de 34-36 segundos para garantizar la penetración en la masa de CCR y obtener un asentamiento de cono del CCR-EL entre 6-8 cm, el cual permitía entonces ser vibrado internamente como si fuese un concreto convencional.

2.4.6.5 JUNTAS DE CONTRACCIÓN

En las juntas transversales de contracción, se especificó la colocación de una doble lámina de estanqueidad en el paramento de aguas arriba confeccionado de CCR-EL y la materialización de un dren aguas abajo de las láminas, todo ello con el objetivo de asegurar la impermeabilidad y buen funcionamiento de las juntas.

La presa Ralco incluye en su interior la ejecución de tres galerías de drenaje ubicadas a diferentes niveles de elevación y entre 8 a 13 metros de paramento de aguas arriba. Estas galerías están destinadas a facilitar los trabajos de ejecución de la cortina de impermeabilización y funcionar como drenaje durante la operación de la central.

2.4.6.6 CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad del CCR se basó en controles granulométricos de las mezclas de concreto, trabajabilidad Vebe, densidad Vebe después de 2 minutos de vibración, densidad de los cilindros moldeados con el martillo Kango y densidad in situ controlada con densímetro nuclear. El control de las resistencias se realizó principalmente a través de ensayos de tracción indirecta (hendimiento) a diferentes edades de los cilindros de 150 x 300 mm confeccionados con muestras de CCR tomadas en el sitio de colocación. La densidad del CCR compactado exigía un mínimo del 99% de la densidad teórica libre de aire, la que normalmente se obtenía con 4 pasadas (ida y vuelta) del rodillo doble tambor de 10,6 toneladas. Los resultados entregados por los cilindros fueron comparados y correlacionados con las resistencias y densidades entregadas por muestras obtenidas de testigos extraídos desde diferentes niveles de la presa.

Las resistencias obtenidas del control de calidad del CCR y CCR-EL indican que los requerimientos especificados para las tres diferentes zonas de la presa han sido cumplidos satisfactoriamente. El coeficiente de variación arrojado por los valores de resistencia a la tracción indirecta fue de 16%, lo que indica que el nivel de control alcanzado fue bueno.

En la Tabla 3 se resumen las resistencias promedio del CCR obtenidas para los diferentes contenidos de cemento usados durante la construcción. Los testigos de CCR y CCR-EL (150 mm de diámetro) extraídos desde la presa, entregaron valores de resistencia del orden del 90% de las resistencias obtenidas a partir de los ensayos de las probetas cilíndricas a 90 y 180 días de edad para igual contenido de cemento. Los ensayos de permeabilidad in situ arrojaron un coeficiente de permeabilidad del CCR de $6,26 \times 10^{-9}$ m/s.

Las altas precipitaciones registradas produjeron que el río Biobío vertiera en dos ocasiones sobre la presa en construcción, destruyendo nuevamente la ataguía de aguas abajo y caminos de acceso. El primer vertimiento ocurrió en el mes de agosto 2002 cuando la presa presentaba una altura de 43 m, y el caudal máximo que escurrió por sobre la presa alcanzó a 250 m³/s aproximadamente. El segundo evento se produjo en octubre 2002. En esa oportunidad, la presa tenía 52 m de elevación, controlándose un caudal por sobre la presa cercano a 550 m³/s, equivalente a un nivel de agua cercano a un metro sobre la superficie en construcción.



FIG. 2.84 CRECIDA EN AGOSTO 2002



FIG. 2.85 ATAGUIA PARCIALMENTE DESTRUIDA

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

En ambas oportunidades se tomaron todas las acciones tendientes a evitar daños en equipos y maquinarias, y se protegieron las estructuras que soportaban el sistema de cintas transportadoras. Los caminos de acceso fueron rápidamente recuperados, por otra parte, la pendiente de 1% hacia aguas abajo que consideraba la sección de la presa facilitó la limpieza de la superficie expuesta, permitiendo reanudar los trabajos en un plazo de aproximadamente una semana.

La presa no sufrió ningún tipo de daño estructural, ni se detectaron daños significativos en la última capa de CCR colocada. Los escalones de aguas abajo de la presa, cuya pendiente es 0.8:1 (H: V) y altura de escalón 60 cm, tampoco presentaron daños a pesar de que trabajaron como elementos disipadores de energía del escurrimiento, lo que evidenció el buen comportamiento del CCR-EL frente a la acción erosiva del agua.

El rendimiento máximo de colocación fue de 7.793 m³/día. Los primeros 500.000 m³ de concretos se colocaron en 267 días lo que correspondió a un rendimiento medio de 1.873 m³/día. Asimismo, 1.000.000 m³ de concretos se colocaron en 387 días, con un rendimiento medio de 2.584 m³/día.



FIG. 2.86 PRESA RALCO, NOV 2002



FIG. 2.87 AVANCE EN JULIO 2002

2.4.6.7 SUMINISTRO DE ÁRIDOS

Las especificaciones indican 4 tamaños de áridos para los concretos: dos áridos gruesos (grava tamaño máximo 40 mm y gravilla tamaño máximo 20 mm) y dos finos (arena gruesa tamaño máximo #4 y arena fina tamaño máximo #16). Adicionalmente, se requirió de un material bajo malla #100 proveniente de la molienda de arena denominado “filler”.

2.4.6.8 PRODUCCIÓN DE CONCRETO

La producción de CCR se realizó a través de dos plantas, con un total de 3 mezcladores de tambor de 9,5 m³ de capacidad. La producción de los morteros de junta y concretos convencionales del vertedero se realizaron con una tercera planta con un mezclador de eje vertical de 2 m³ de capacidad.

La capacidad máxima teórica de las plantas de CCR es de 700 m³ por hora. Durante la construcción se implementaron modificaciones en las plantas para optimizar la capacidad de producción. La gran humedad ambiental que presentaba la zona, fundamentalmente en invierno, generó dificultades en el sistema de transporte del cemento y filler desde los silos de acopio hasta las plantas de CCR, ya que en presencia de humedad estos materiales formaban grumos producto de la condensación los cuales obstruían los ductos del sistema. Las temperaturas bajo cero formaban en las arenas grumos congelados, que a veces no eran disueltos en su totalidad durante el mezclado del CCR. Para reducir estos efectos se incorporó a la planta, durante los meses de invierno, una caldera para calentar el agua de amasado, y se incorporaron protecciones a los silos para evitar que fuesen afectados por las condiciones climáticas.

2.4.6.9 SISTEMA DE TRANSPORTE DEL CCR

Fueron Sistema de bandas de alta velocidad de capacidad máxima teórica de 600 m³ por hora, conformado principalmente por 3 tramos, no obstante el rendimiento máximo registrado alcanzó a 500 m³ por hora.

Un primer tramo, que transporta el hormigón desde las plantas hasta un buzón regulador, corresponde a una cinta de 1.220 mm de ancho y 35 m de longitud. Posteriormente, entre el buzón regulador y el sitio más alto de la presa,

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

se utilizaba una banda de 760 mm de ancho y 100 m de largo. Las condiciones del terreno hicieron necesario la construcción de un túnel para la disposición de esta cinta transportadora.

El tercer tramo que bajaba por la superficie del empotramiento derecho de la presa con una pendiente de 45 grados correspondía a una cinta de 910 mm de ancho y cerca de 150 m de largo. Debido a la pendiente fue necesario utilizar una segunda cinta montada sobre la cinta principal, cuyo objetivo era confinar el hormigón entre las 2 cintas y así evitar que deslizará o cayera fuera de la correa (Cinta tipo “sandwich”).

La cinta de 910 mm que bajaba por el empotramiento derecho de la presa se extendía horizontalmente para cruzar hasta el empotramiento izquierdo, ya sin la cinta de cubierta. El diseño de este tramo de cinta permitía adaptarse al nivel de colocación de CCR en la presa mediante un sistema de sustentación sobre pilares metálicos denominados "Jackpost". Este último tramo poseía un sistema móvil denominado "Tripper" que permitía la descarga del CCR hacia una cuarta cinta que conectaba el sistema de transporte con el equipo distribuidor del CCR llamado "Crawler Placer". La "Crawler Placer" consiste en un equipo diesel dotado de orugas y una cinta telescópica, que le permite distribuir directamente el concreto en cualquier punto del área de trabajo.



FIG. 2.88 AVANCE SEPTIEMBRE 2002.

Tabla 3: Resistencias a la tracción indirecta del HCR de la presa Ralco.

Proporción de cemento	Valores promedios de resistencia (kgf/cm ²)					
	Edad (días)					
	7	28	56	90	180	365
135 kg/m ³	10,8 (45)	15,8 (45)	18,2 (30)	20,6 (45)	25,6 (45)	26,4 (13)
145 kg/m ³	13,3 (36)	17,8 (36)	21,6 (10)	22,1 (36)	27,2 (36)	30,0 (26)
165 kg/m ³	15,5 (168)	20,6 (168)	22,3 (31)	25,2 (129)	30,1 (165)	33,6 (115)
175 kg/m ³	18,6 (33)	23,4 (33)	27,2 (10)	27,8 (33)	34,4 (33)	37,7 (23)
190 kg/m ³	17,0 (36)	22,4 (36)	-	25,1 (36)	28,9 (36)	37,2 (30)
205 kg/m ³	18,2 (20)	23,0 (20)	-	25,7 (20)	31,6 (19)	40,3 (20)

* Entre paréntesis se indica el número de muestras ensayadas.

FIG. 2.89 TABLA RESISTENCIA A LA TRACCION

2.4.6.10 COLOCACIÓN DEL CCR

Durante el primer año de colocación de CCR (2002), las lluvias fueron sustancialmente más altas que lo normal, alcanzando un total de 4.230 mm. El segundo año (2003) de construcción de la presa fue más seco que lo normal, con excepción del mes de junio cuando se registro un total de agua caída de 1.097 mm en ese mes. Durante todo el período de construcción se registraron 140 días con lluvias de intensidad superior a 10 mm y con un máximo diario de 197 mm.

El rango de temperaturas durante la colocación de CCR fue de $-5,9^{\circ}\text{C}$ a $36,4^{\circ}\text{C}$, registrándose 115 días con temperaturas bajo cero y 130 días con temperaturas superiores a 25°C .

Se estableció la posibilidad de mantener la colocación de CCR con intensidades de lluvia de hasta 3 mm/hr y con temperaturas ambiente superior a $-4,5^{\circ}\text{C}$, cumpliendo ciertas restricciones y requerimientos especiales. Las precauciones para el colado en tiempo lluviosos fueron: control continuo de la intensidad de la lluvia y detención cuando se presentaban más de 3 mm/hora; incremento de la trabajabilidad Vebe del HCR producido de 15 a 25 segundos, y limitación del área de extensión del mortero de junta próximo al CCR que se estaba colocando para evitar su saturación.

Durante el tiempo frío se consideró el calentamiento del agua de amasado y protección de la superficie expuesta de CCR mediante el uso de mantas térmica. Por otra parte, cuando la temperatura ambiente excedía los 25°C , se consideró la disminución de la temperatura a través de un riego permanente mediante aspersores y aumentó de la trabajabilidad del CCR producido, de manera que, por la pérdida de humedad durante el transporte, se cumpliera con la trabajabilidad especificada para la colocación (15 segundos Vebe). Durante las condiciones climáticas más extremas se procedió a la detención de los trabajos de colocación de CCR, situación que se produjo aproximadamente durante 40 días completos.

2.4.7. LA PRESA MIEL-I, COLOMBIA, CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.



FIG. 2.90 VERTERDOR INCORPORADO EN CORTINA DE CCR

2.4.7.1 DESCRIPCION

El Proyecto Hidroeléctrico Miel-I se encuentra localizado en el oriente del departamento de Caldas, en el municipio de Norcasia, Colombia.

El proyecto consiste en la construcción de una presa de Concreto Compactado con Rodillo (CCR), con rebosadero incorporado.

Con sus 196 m de altura desde la cota más baja encontrada en la fundación y 188 m desde la cota promedio, deja muy atrás a la conservadora Miyagase (155 m de altura y erigida en Japón) hasta ahora la presa más alta levantada con este sistema, y se constituye en la presa más alta del mundo construida en CCR.

Miel-I será una desafiante presa construida con cara aguas arriba vertical, terminada con una modalidad innovadora de doble protección para impedir las filtraciones denominada CCR-enriquecido y membrana de PVC impermeable.

La evaluación realizada comprobó los grandes beneficios en costos y tiempo de la tecnología del CCR, dado que la estructura en concreto permite la colocación del rebosadero sobre el cuerpo mismo de la presa, lo cual reduce notablemente el presupuesto de las obras civiles y aumenta la seguridad global del proyecto. Para el caso del Proyecto Miel-I el cambio de diseño de la presa, de enrocado con cara de concreto a CCR significó una disminución de sesenta millones de dólares, es decir un ahorro de un 20%, en el costo directo de construcción del proyecto.



FIG. 2.91 EL SITIO DE PRESA SE CARACTERIZA POR SER UN CAÑÓN PROFUNDO Y ESTRECHO CON PENDIENTE PRONUNCIADA, SUPERIOR A 45°. LAS ROCAS DEL SITIO DEL PROYECTO ESTÁN CONSTITUIDAS ESENCIALMENTE POR GNEIS MICÁCEO DURO Y FRESCO, QUE PRESENTA INTERCALACIONES DE CUARCITA.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG. 2.92 COLOCACIÓN DEL REBOSADERO SOBRE EL CUERPO MISMO DE LA PRESA

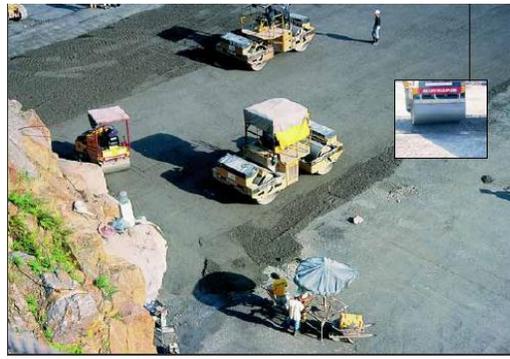


FIG. 2.93 COMPACTACIÓN POR CAPAS DE 30 CM

2.4.7.2 LOS AGREGADOS

Para los agregados se cuenta con una planta de agregados y central de trituración de gran capacidad que consta de dos líneas paralelas que incluyen trituración primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria.

Algunas características:

- Tamaño máximo de 63 mm
- Contenido de finos que pasan 0,075 mm (tamiz No. 200) entre 4% y 9%
- Contenido de partículas planas y alargadas menor al 40% para fracción individual y al 30% para el promedio ponderado

2.4.7.3 EI CCR

La presa esta zonificada en cinco tipos de mezclas con contenidos de cemento que varían entre 85 y 160 kg por metro cúbico de concreto, como se pueden observar en la figura 4 y la tabla 4.

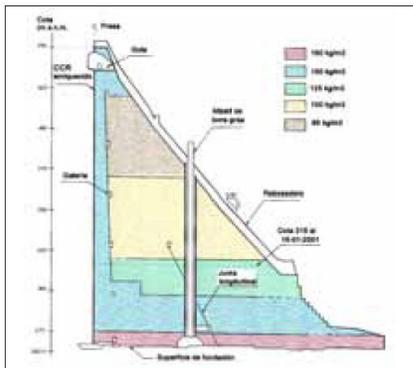


Tabla 4

TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE MEZCLAS DE CCR

Mezcla Tipo	Cemento (kg/m ³)	Humedad libre (%)	Humedad total (%)	Densidad (t/m ³)	Resistencia 365d (MPa)
1	150	5,0	6,2	2,53	24,5
2	125	4,9	6,1	2,53	16,2
3	100	4,8	6,0	2,53	13,2
4	85	4,75	5,95	2,53	9,8
5	70	4,7	5,9	2,53	8,8

FIG. 2.94 SECCION VERTEDORA Y TABLA DE TIPOS DE MEZCLAS

Características del CCR:

- humedad total de la mezcla varia entre 5.9% y 6.2 % incluyendo el agua por absorcion.
- resistencia a compresion de diseño a 360 días varia entre 8.8 Mpa y 24.5 Mpa,
- densidad de todos los tipos de mezclas de CCR es 2.53 t/m³.
- Contenido de finos de la mezcla (incluyendo cemento) varia entre 11% y 15 %.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El cemento es almacenado en big-bags un sistema de empaque innovador en Colombia con capacidad de 2 toneladas que permiten garantizar una existencia en bodega de 4.000 toneladas de cemento, para atender cualquier imprevisto que afecte el correcto desarrollo de la obra. Además, el cemento a ser utilizado se almacena en silos para ser transportado con sistema neumático hasta la planta de concreto.

2.4.7.4 EL CCR ENRIQUECIDO (ME-CCR)

El CCR enriquecido es una mezcla de CCR Tipo 1 (150 kg de cemento por m³ de concreto) mejorada con una adición de 10 l/m de lechada de cemento justo después de haber sido extendida.

Esta combinación se utiliza en la cara de la presa en contacto con el agua ya que reduce la permeabilidad de la mezcla; esta lechada tiene una relación A : C de 0,8:1,0 similar a la del CCR y es preparada con cemento Portland tipo I en saco, con un 1,0% de aditivo plastificante.

El mortero de pega es una mezcla de mortero fluido colocada sobre el CCR endurecido y sobre los estribos antes de extender una nueva capa de CCR fresco. Esta mezcla hace parte fundamental de la construcción para garantizar la correcta adherencia entre las capas del CCR.

Características de mortero de pega: Agregado con tamaño máximo de 8 mm. Asentamiento 140 a 180 mm para colocación en plaza y 75 a 100 mm para colocación contra estribos, tiempo de fraguado inicial mínimo de 3 horas a 35° C, resistencia de 20.6 Mpa a 90 días, mezcla con relación agua-cemento de 0.65

2.4.7.5 EL CONCRETO DEL PARAMENTO DE AGUAS ABAJO

El concreto utilizado para los escalones que conforman la cara aguas abajo de la presa es concreto convencional con relación A/C de 0,51 y resistencia de 24,5 MPa a 90 días con un aditivo reductor de agua (1,5%) y agente incorporador de aire (0,1%).

Para la construcción del CCR enriquecido (ME-CCR), se prepara lechada en el sitio de presa en tanques con agitadores manuales y se hace una aplicación manual (con balde) cubriendo una franja de 0,40 m y consolidando con vibrador de inmersión y plancha vibratoria.

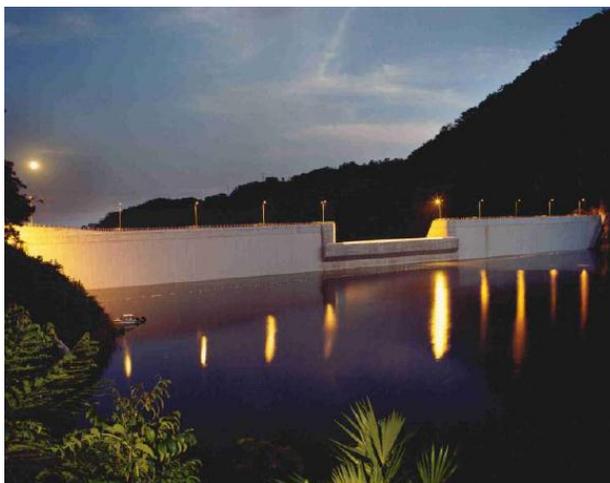


FIG. 2.95 MIEL-I SERÁ UNA DESAFIANTE PRESA CONSTRUIDA CON CARA AGUAS ARRIBA VERTICAL

2.4.7.6 LA IMPERMEABILIDAD DE LA PRESA

La impermeabilidad de la presa se garantiza mediante la utilización de técnicas constructivas que eviten la segregación del CCR, como son: la mezcla de pega entre capas de CCR, la estanqueidad propia del CCR, la colocación de una membrana impermeable de PVC tipo Carpi, adosada a la cara de aguas arriba, así como la utilización del CCR enriquecido.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

2.4.7.7 CCR ENRIQUECIDO (ME-CCR)

Se llevaron a cabo investigaciones de campo y de laboratorio sobre mezclas de ME-CCR, para evaluar su permeabilidad, sus características de resistencia y deformación y la optimización de su sistema constructivo.

La investigación de campo se basó en la observación en el sitio sobre la penetración de la lechada y la homogeneidad de la mezcla después de enriquecida, para lo cual se excavaron apiques de la mezcla fresca y se extrajeron algunos núcleos de la mezcla endurecida. Con base en estos resultados, se ajustaron los procedimientos de colocación y vibración de la ME-CCR.

La investigación de laboratorio determinó las características mecánicas de la ME-CCR y su permeabilidad.

2.4.7.8 SISTEMA DE BANDAS Y TORRE-GRÚA EN CAÑÓN ESTRECHO



FIG. 2.96 LA BANDA METERING ENTREGA EL CCR PARA EL SISTEMA DE BANDAS TRANSPORTADORAS QUE ATRAVIESA UN TÚNEL CONSTRUIDO A CUENTA DEL CONTRATISTA DEBIDO A LAS DIFICULTADES TOPOGRÁFICAS DE LA ZONA CON UNA LONGITUD DE 340 M. EL SISTEMA TIENE CAPACIDAD EN SU PARTE FINAL DE ROTAR UNA BANDA EN EL PLANO VERTICAL PRESA MIEL 1.COLOMBIA

Se utilizó un sistema de bandas transportadoras soportadas por una torre-grúa de gran tamaño, incluyendo un distribuidor de plaza que coloca el CCR en la mayor parte de la superficie de la presa. La capacidad máxima del sistema de bandas es de 400 m³/h y una velocidad de 4 m/s.

2.4.7.9 LA TORRE GRÚA (TOWER CRANE)

Este tipo de grúas, tendrá una altura máxima de 230 metros, y está diseñada para levantar 25 toneladas con un brazo de 100 metros, permitiendo el traslado de equipos, materiales, personal y mortero de pega, dentro y fuera de la presa.



FIG. 2.97 TORRE GRUA CON ALTURA DE 230 m

2.4.7.10 EVALUACIÓN DE POTENCIAL DE REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO

El potencial reactivo de los agregados usados en el proyecto fue evaluado usando una técnica normalizada recientemente por la ASTM (Norma C1260-94) en el laboratorio CTL de Estados Unidos. Esta consiste en someter barras de concreto hecho con los agregados investigados a una exposición acelerada de álcalis para evaluar su potencial expansión.

2.4.7.11 INVESTIGACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CCR

Se desarrolló un programa de investigación de mezclas de CCR para la presa con los materiales reales de construcción (cemento y agregado) incluyendo la realización de pruebas especiales de curado acelerado a los 14 días de edad con los cuales se pueden conocer en un tiempo relativamente corto las propiedades a largo plazo del CCR.

2.4.7.12 CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCCIÓN DE CCR

Se lleva a cabo un programa de ensayos rutinarios del cemento despachado, independientemente del control de producción hecho en la planta. Allí se monitorea el calor de hidratación del cemento ya que este es el único control de la temperatura del CCR. El laboratorio de la obra es uno de los pocos en Colombia (distinto a laboratorios de plantas de cemento) que posee equipos especializados para medir el calor de hidratación del cemento.

Control diario de resistencia a compresión del CCR mediante un ensayo acelerado a 24 horas de cilindros estándar curados a 60 ° C en horno o en tanque de curado (curamold) que da una alerta muy rápida sobre problemas de resistencia baja en el CCR.

El curado de los cilindros estándar de CCR se hace en una cámara de curado construido especialmente para el programa de control de calidad. Esta cámara tiene una capacidad máxima de 4500 cilindros y su temperatura y humedad relativa se controlan por medio de un sistema automatizado de forma que se cumplan las normas NTC y ASTM aplicables.

El laboratorio cuenta con equipo para la medición del flujo plástico (creep) del CCR fabricado especialmente para el programa de control de calidad de la presa.

Para el control de calidad de la colocación de CCR en la presa se lleva a cabo un control estricto de la humedad y densidad de la mezcla colocado por medio de densímetros nucleares. Aunque esto es común en todas las presas de CCR, en la presa Miel-I se hace un número de ensayos significativamente alto en comparación con otros proyectos. Hasta el 15 de enero de 2001 se disponía de más de 15.000 registros (para un promedio de un registro cada 30 m³ de CCR).

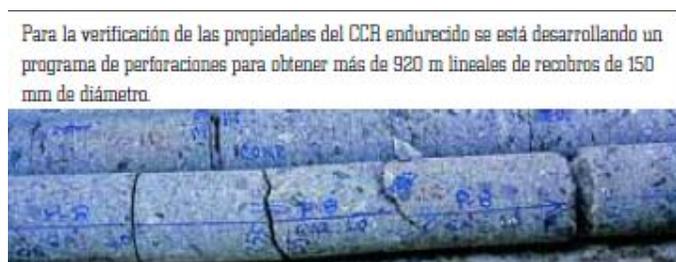


FIG. 2.98 RECOBROS PARA VERIFICAR PROPIEDADES DE CCR

Como vemos, la innovación en la ingeniería del CCR está más latente que nunca en Colombia y el proyecto Miel-1 será una referencia obligada para aquellos estudiosos del material que se empeñen en seguir haciendo presas más altas y empinadas.

3. CARACTERISTICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)

El concreto convencional presenta un ángulo de fricción similar al de un relleno construido con material granular, pero con la diferencia de que el valor de la cohesión es mayor y permite construir en forma segura rellenos con mayor pendiente. Por esta característica se pensó en la posibilidad de utilizar los mismos equipos para la construcción de presas de tierra y enrocamiento, mediante el transporte y colocación de materiales granulares enriquecidos con cemento, desde la planta de producción hasta el sitio de colocación en una presa de gravedad, incrementando la tasa de colocación de este compuesto y disminuyendo así los costos de construcción.

3.1. CARACTERISTICAS

3.1.1. CARACTERISTICAS GENERALES

El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es un material de concreto seco que ha sido compactado por vibración externa mediante rodillos vibratorios.

La técnica de construcción de presas por extendido y compactación de sucesivas capas de concreto es una respuesta al problema de una más rápida y económica construcción de presas de fábrica que las hiciera más competitivas en costo con las presas de materiales sueltos.

El CCR difiere del concreto convencional principalmente por su consistencia ya que debe ser lo suficientemente seco y a la vez húmedo para soportar el peso del equipo de acarreo, de tendido y compactación vibratorio, en el primer caso, y para permitir una distribución adecuada del cementante a lo largo de la masa durante el mezclado y el proceso de vibración, en el segundo. La consistencia requerida tiene un efecto directo en la proporción de la mezcla.

La principal diferencia entre los dos concretos es la consistencia de la mezcla y el método de compactación, mientras que para el convencional se utilizan vibradores de inmersión para compactación interna, para el CCR se utiliza equipo de tendido y rodillo vibratorio para compactación externa.

Las mezclas de CCR normalmente contienen menos agua y pasta que el convencional y más arena para disminuir la segregación, debe ser trabajable, libre de segregación y facilitar la compactación usando rodillos vibratorios externos.

El CCR debe contener la pasta adecuada y la consistencia apropiada para distribuirla a través de la masa de concreto durante mezclado, colocación y compactación, también debe contener el suficiente mortero para prevenir la segregación y rellenar los huecos entre las partículas de agregados gruesos.

La pasta de liga, los agregados finos y gruesos para siempre en estado plástico, provee cohesión y trabajabilidad y en estado duro determinará la resistencia del concreto, el potencial de adherencia y la durabilidad.

En estado de compactación, la apariencia del concreto adecuado para la compactación con rodillo difiere significativamente de la del concreto convencional y, además, tiene un hundimiento medible. Todas las mezclas granulares de este tipo se pueden compactar totalmente a la máxima densidad accesible mediante vibración suficiente; sin embargo, el esfuerzo vibratorio requerido para esto es mucho mayor que el requerido para el concreto de revenimiento medible. El tiempo de compactación se puede utilizar como una medida de consistencia del concreto y la eficacia del equipo de compactación; la máxima densidad accesible para una mezcla dada varía con el contenido de vacíos de los agregados y el mortero usado.

El concreto compactado con rodillo (CCR) tiene las características habituales del concreto, pero con un mejor rendimiento de colocación y compactación que los materiales asfálticos

El CCR tiene una consistencia seca y su trabajabilidad le permite ser consolidado con rodillos vibratorios o equipos vibrocompactadores. Sus ventajas han hecho que se incremente su uso en la construcción de represas y obras viales. Tiene tal consistencia que puede soportar el peso de un compactador, que lo densifica mediante la acción combinada de su peso y de su vibración.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El CCR, al igual que el Concreto Convencional, está constituido por los mismos componentes; se diferencian en su consistencia, en la dosificación de la mezcla y en las características de sus componentes. El contenido de cemento en la mezcla varía desde 40 kg/m³ hasta 380 kg/m³, de acuerdo con su aplicación.



FIG. 3.1 LA TENDENCIA ACTUAL ES:

- TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADOS DE 63 MM, LIMITANDO A UN MÁXIMO DEL 5% EN PESO ESTE TAMAÑO MÁXIMO.
- EL CONTENIDO DE FINOS (PASA TAMIZ NO. 200) A DIFERENCIA DEL CC, PUEDE ALCANZAR VALORES HASTA DEL 10% DEPENDIENDO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE PLASTICIDAD DE LOS FINOS.
- EL VALOR MÍNIMO RECOMENDADO DEL CONTENIDO DE FINOS ES DEL ORDEN DE 3% A 4%.
- EL CONTENIDO DE ARENA (PASA TAMIZ NO 4) VARÍA ENTRE 39% Y 50%.

El CCR en estado fresco tiene la apariencia de una grava con una granulometría continua y solo adquiere la apariencia del Concreto Convencional cuando fragua el cemento. Desde su aplicación inicial, el tamaño máximo del agregado se ha venido reduciendo, así como también el contenido de arena se ha ido incrementando, con el fin de prevenir su segregación.

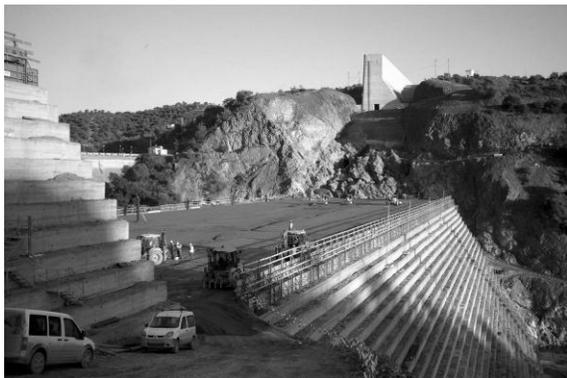


FIG. 3.2 EL CCR PERMITE MAYOR DENSIDAD QUE EL CONCRETO CONVENCIONAL LUEGO DE SER COMPACTADO. LA MAQUINARIA EMPLEADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTE TIPO DE PRESAS ES LA MISMA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS DE TIERRA.

PRESA LA BREÑA , ESPAÑA

La granulometría continua del agregado, permite incrementar la densidad del CCR respecto de la del Concreto Convencional. La densidad del CCR con un agregado de buenas características alcanza fácilmente valores del orden de 2,50 t/m³ vs 2,3 t/m³ que se obtendría con el mismo agregado en un reforzado. El CCR permite utilizar agregados de regular calidad, usualmente prohibidos para ser utilizados en el Concreto Convencional. Esta condición implica desarrollar programas de diseño de mezclas y de investigación de sus propiedades mucho más complejos que las que se realizan con un Concreto Convencional.

Una de las diferencias entre el concreto compactado con rodillo y el concreto convencional es en relación al tamaño máximo del árido. En efecto, mientras que en el concreto convencional podían usarse con normalidad tamaños máximos de 120 o 150 mm, observamos aquí que el más comúnmente adoptado es el de 80mm, si bien existen aplicaciones en las que éste se ha limitado a 40 o 50 mm. Un criterio para su elección es limitarlo a la cuarta parte del espesor de la tongada y, por tanto, para las tongadas (aquí habituales) de 30 cm resultan tamaños entre 75 y 80 mm. El hecho de limitar el tamaño máximo del árido responde al temor que pueda producirse una segregación al verter y extender el material, que es más seco que el concreto convencional. Es indudable que limitando el espesor o altura de reparto del material se reduce o anula la posibilidad de disgregación, pero también es cierto que adoptando precauciones adecuadas en cuanto al vertido del concreto se puede conseguir que no se produzca disgregación con tamaños de árido hasta de 150 mm (tongadas de 0,5 m).

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Por último, destacar la importancia de la cantidad de finos para obtener un esqueleto mineral compacto e impermeabilidad adecuada, difícil de imaginar con un contenido menor del 10% en volumen, y los valores de la relación agua/cemento, menores en general que en un concreto convencional.

3.1.2. EL CONTENIDO DE CEMENTANTE (CEMENTO + PUZOLANA) DEL CCR

Este contenido de cementante es bastante menor respecto al Concreto Convencional. Puede variar entre 60 kg/m³ hasta los 230 kg/m³ frente a 300 kg/m³ mínimos del Concreto Convencional. En mezclas de CCR con bajo contenido de cementante, la adición de puzolana es mínima o inexistente, mientras que en las mezclas con alto contenido de cementante la adición de puzolana puede ser hasta del 60% del total.

En concretos masivos, como los de una presa de gravedad, este menor contenido de cementante junto con la adición de puzolana, incide directamente en una menor generación de calor y en la menor magnitud de los gradientes térmicos generados entre la parte interna de los concretos masivos y la parte superficial, disminuyendo así el potencial de agrietamiento del CCR.

El tipo de cemento recomendado para ser utilizado en la construcción de presas de gravedad utilizando CCR, es el tipo II (moderado calor de hidratación) o el tipo I, mezclado con adiciones activas tales como puzolanas o Fly Ash.

PRESA	D _{max} (mm)	Materiales (kg/m ³)						Relaciones
		Agua	Cemento	Cenizas	c+cv	Árido g.	Arena	a/(c+cv)
Erizana	100	115	90	90	180	1.668	532	0,60
Castilblanco	40	102	86	102	188	1.452	628	0,54
Santa Eugenia	70	100	152	88	240	1.635	552	0,42
	100	90	143	72	215	1.830	430	0,40
Maroño	70	100	160	80	240	1.575	670	0,42
	100	98	170	65	235	1.575	670	0,42
Puebla de Cazalla	40	127	137	85	222	1.409	720	0,57
	80	113	130	80	210	1.512	688	0,51
Urdalur	80	90	108	72	180	1.524	691	0,50
Amiarán	80	100	135	85	220	1.730	550	0,45
Cenza	60	95	130	70	200	1.518	733	0,47
Sierra Brava	80	95	140	80	220	1.590	610	0,43
Rialb	70	95	70	130	200	1.532	625	0,47
	100	90	65	130	195	1.610	554	0,46

FIG. 3.3. DOSIFICACIONES DE DIVERSAS PRESAS ESPAÑOLAS

Respecto al conglomerante, existen dos aspectos básicos a comentar. Una mayor sustitución de cemento portland por material puzolánico (cenizas volantes, sobretodo) en los concretos compactados; aunque sólo sirva de orientación, en las tablas de concreto convencional calculamos un 30-40% de adiciones en término medio, mientras que en los CCR mostrados encontramos desde el 35 al 70% en cenizas volantes. Así, no es de extrañar el uso de cementos de bajo calor de hidratación (hasta el 75% en cenizas) y del tipo V (cementos compuestos).

En cuanto a la cantidad de conglomerante, la diferencia entre un concreto y otro no es muy significativa, aunque es habitual que la tendencia en el CCR sea la de tener un porcentaje de conglomerante lo más bajo posible.

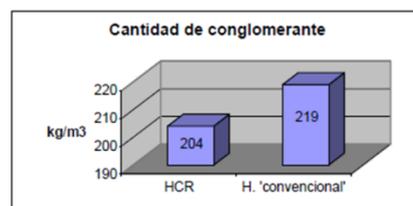


FIG. 3.4 CONTENIDO DE CONGLOMERANTE EN CONCRETOS COMPACTADOS Y CONVENCIONALES

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Estas diferencias en el tipo y cantidad de conglomerante, respecto a un concreto convencional, conducen a un menor calor total de hidratación, y además desarrollado lentamente, consiguiendo así la casi total ausencia de fisuras, problema que condicionaba la rapidez de la puesta en obra del concreto.

Se consigue también una mayor economía, al ser menor el porcentaje total de conglomerante y ser parte importante del mismo de precio más bajo que el cemento; con todo, lo que se intenta conseguir al proyectar presas de CCR es un ahorro económico importante, no por el costo unitario de los materiales empleados, sino por el alto ritmo que se puede alcanzar (aumentar separación de juntas de retracción, etc.).

En esta línea, la tendencia en los primeros momentos a la utilización de concretos muy pobres con juntas funcionales muy separadas (o inexistentes) para potenciar las ventajas del proceso constructivo, ha dado paso paulatinamente al empleo de concretos ricos en pasta, con un contenido de cemento no muy bajo que, en consecuencia, ha propiciado una nueva vuelta al empleo mayor de juntas funcionales, aunque sin llegar a las separaciones típicas de las presas de concreto vibrado.

3.1.4 CONTENIDO DE AGUA

Una diferencia importante entre los concretos CCR y Convencional es el contenido de agua, los concretos compactados con rodillo contienen una reducida cantidad de agua de mezclado, compatible con el tránsito de maquinaria de movimiento de tierras de gran tonelaje por su superficie en estado fresco.

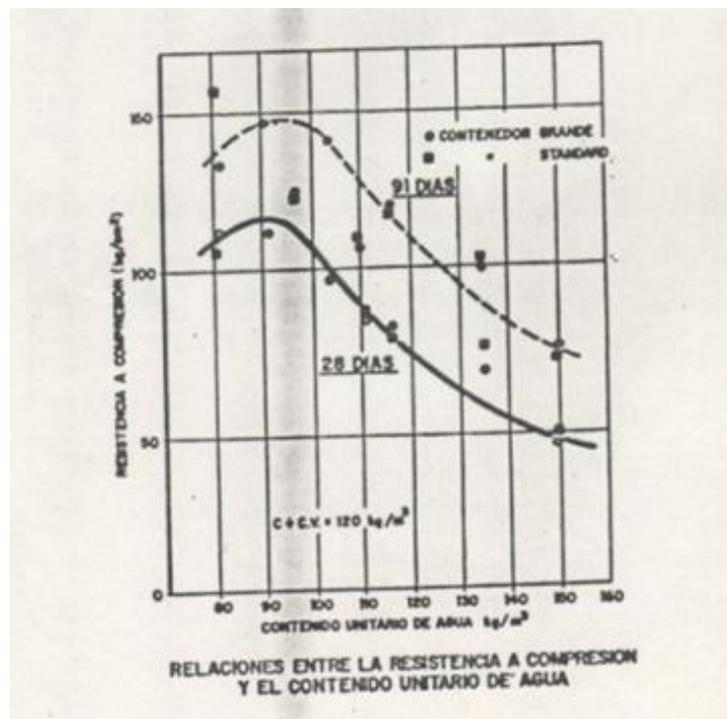


FIG. 3.6 RESISTENCIA V.S. CONTENIDO DE AGUA

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

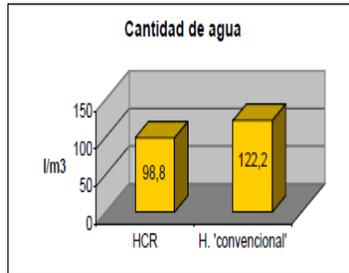


FIG. 3.5 CANTIDAD DE AGUA EN CONCRETOS CCR Y CONVENCIONALES

3.1.5. CLASIFICACION DEL CCR.

Se puede hacer la clasificación del CCR según la cantidad de cemento:

- Alto contenido de pasta (150 kg/m³ de material cementante)
- Mediano contenido de pasta (100 a 149 kg/m³ de material cementante).
- Bajo contenido de pasta (99 kg/m³ de material cementante).

3.1.6. PROPIEDADES DEL CCR

Los factores que definen la dosificación del CCR determinan sus propiedades, estas son principalmente: el contenido de cemento, contenido de puzolana, contenido de humedad, granulometría (contenido de finos) y la adición de aditivos retardantes. uno de los principales objetivos en su producción es la homogeneidad del CCR. Por esta razón, la dimensión y la selección del tipo de mezcladora a utilizar en la preparación del CCR tiene una gran importancia a diferencia de la producción del Concreto Convencional. La mezcla de CCR se realiza utilizando una mayor proporción de agregados, una menor cantidad de agua y de cemento, lo cual debe realizarse en el menor tiempo.

El CCR es muy sensible a la variación del contenido de humedad, afecta sus propiedades elásticas. un defecto en el contenido de humedad, además de afectar la resistencia a compresión y tensión y el módulo de elasticidad, genera segregación en el CCR, mientras que un exceso de humedad, genera presiones de poros (fenómeno tenido en cuenta en la mecánica de suelos y no en el CC), afectando el contacto pasta agregado y disminuyendo por esta causa las resistencias antes indicadas.



FIG. 3.7 PROCESO DE CURADO

Las principales propiedades del CCR son: La resistencia a la compresión, resistencia al cortante, capacidad de deformación, cambios volumétricos, propiedades elásticas, fluencia, permeabilidad y durabilidad.

Las pruebas realizadas han estado relacionadas con la resistencia y las propiedades elásticas en su mayoría, sin embargo, los efectos generales de la variación de las proporciones de agua, pasta y agregados son bien conocidas.

3.1.7. RESISTENCIA DEL CCR

La estabilidad de la estructura depende de su trabajo monolítico y de la resistencia del material frente a los esfuerzos normales y cortantes que se originan en el trabajo de la estructura en las diferentes sollicitaciones de carga, con factores de seguridad adecuados.

En el caso de las presas la resistencia se especifica a los 90 o a los 365 días del colado, aunque la resistencia del CCR a la compresión es generalmente mucho más grande que la requerida en las presas. Las mezclas de CCR que se usan dan fácilmente una f_c del orden de 20 o 25 Mpa a los 90 días.

El esfuerzo al que puede quedar sometida alguna parte de la presa, sobretodo en zonas cercanas a su talón, resulta del orden de entre 10 y 12 % del f_c .

La resistencia al esfuerzo cortante medida en el laboratorio ha arrojado valores de 40° a 65° para el ángulo de fricción interna ϕ , y valores de 0.7 MPa hasta más de 3 MPa para la cohesión, semejantes a los del concreto convencional.

Generalmente las estructuras de CCR son sin refuerzo y la resistencia del mismo debe ser a compresión. Esfuerzos de corte y de tensión son causados por gradientes de temperatura no uniformes. como el caso del concreto convencional tiene limites de capacidad para resistir esfuerzos de tensión y corte. Por lo que las estructuras de CCR son diseñadas para que los esfuerzos de tensión y corte no se desarrollen bajo condiciones normales durante el tiempo de vida de la estructura. Aunque en algunos casos especiales como el de los terremotos o temblores algunos esfuerzos de tensión son permitidos.

También pueden desarrollarse esfuerzos de tensión a corto plazo con los gradientes de temperatura debido a la hidratación del CCR y a largo plazo con los cambios de temperatura. en estos casos será necesario estudiar el comportamiento de la temperatura para identificar zonas potenciales de agrietamientos y controlarlas.

La resistencia a la compresión del CCR depende primordialmente de la relación agua cemento y del grado de compactación. para un CCR que esté completamente bien compactado, la resistencia se incrementara tanto como la relación agua cemento disminuya.

Factores como la calidad de los ingredientes de la mezcla y curado, también afectan al CCR tal como al concreto convencional.



FIG. 3.8 ENSAYO DE TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL

3.1.8. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

- 1.-La relación A/C
- 2.-La porosidad provocada por aire atrapado, poros capilares, poros de gel y aire incluido.
- 3.-La relación Cemento/ Agregado
- 4.-Granulometría
- 5.-Textura y forma de los agregados
- 6.-Resistencia de los agregados
- 7.- Tamaño máximo del agregado

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

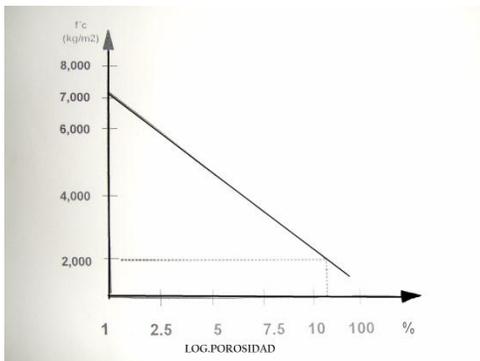


FIG. 3.9. GRAFICA DE POROSIDAD V.S. RESISTENCIA

RESISTENCIAS TÍPICAS DEL CCR
 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: DE 210 A 400 KG/CM^2
 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE 35 A 70 KG/CM^2 .
 MODULO DE ELASTICIDAD DE 210,000 A 386000 KG/CM^2

3.1.9. RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la compresión del CCR depende por la relación agua/ material cementante total para mezclas con relaciones puzolana/cemento fijas, no existen ningún inconveniente en cuanto a la obtención de resistencia en una mezcla con cero de revenimiento o bajo contenido de agua siempre y cuando la cantidad de agua sea suficiente para lograr la hidratación continua.

El CCR requiere de menor contenido de cemento para obtener resistencia comparable a la de concreto convencional.

Puesto que no hay requisito de resistencia a temprana edad para colados masivos de concreto compactado con rodillo, las resistencias deben basarse en las resistencias a edades mas avanzadas, aproximadamente de 6 meses a 1 año, salvo en caso de que la estructura se ponga en servicio antes.

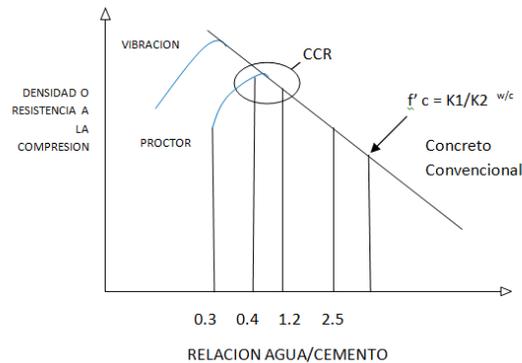


FIG 3.10 HAN TRANSCURRIDO ¼ DE SIGLO DESDE 1919 Y LA LEY DE DUFF ABRAMS MUESTRA LOS PRINCIPIO BÁSICOS EN LOS QUE SE FUNDAMENTA LA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

CONTENIDO DE CEMENTO/RESISTENCIA a Diferentes Edades

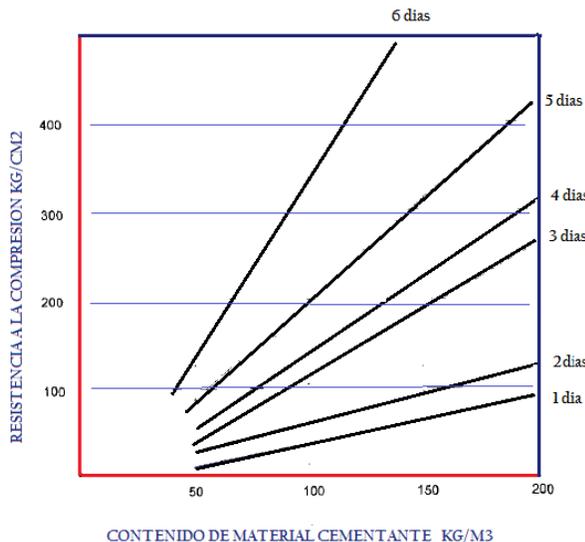


FIG. 3.11 EN LA TABLA SE PUEDE OBSERVAR LOS CONTENIDOS DE CEMENTO Y LA RESISTENCIA DE ESTOS A DIFERENTES EDADES. LOS DATOS SE OBTUVIERON DE CORAZONES EXTRAÍDOS DE DIFERENTES ESTRUCTURAS EN LOS ESTADOS UNIDOS

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Las propiedades más significativas para el concreto convencional también son las más importantes para el Concreto Compactado con Rodillo.

En general las diferencias que existen entre las propiedades de CCR y el concreto convencional, son principalmente en la dosificación de las mezclas. En el concreto compactado con rodillo, existe aproximadamente un 40 % menos agua y 30% menos cemento o material cementante que el concreto convencional. El material cementante consiste en la pasta formada por la mezcla de agua, cemento, puzolana, finos o cenizas volantes.

Para cumplir con los requisitos de resistencia en losas y pavimentos, la edad del concreto puede ser hasta 7 días o aun menos. No hay razón para restringir el contenido de cemento en las estructuras más delgadas de este tipo, ya que el calor de hidratación se disipa tan rápido como se genera.

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

Si el espécimen de prueba se fabrica mediante el empleo de una mesa de vibrado o de un aparato Vebe modificado, la compactación se completa cuando la pasta fluye afuera de los bordes de una sobre carga, que se mantiene en la parte superior del concreto depositado en molde cilíndrico. Se han empleado pisones de mano mecánicos y neumáticos para compactar especímenes de prueba más grandes, tales como vigas y losas. Los pisones con los cuales se han obtenido los resultados más precisos son aquellos que proporcionen una presión de compactación de 2 kg/cm².

3.1.10. RESISTENCIA AL CORTANTE

De acuerdo con CRD c89, Method Of Test for Longitudinal Sahar Strength Unconfined Singel Plane “Las pruebas de resistencia al corte, no confinadas, entre las propiedades de cortante del concreto compactado con rodillo y las del concreto convencional no revelan diferencias significativas.

Las juntas de concreto compactado con rodillo se deben considerar en su tratamiento la limpieza, escarificación de la superficie con chorro de agua y la aplicación de mezclas ricas en cemento para asegurar buena liga entre capas. Este problema siempre ha sido importante en el colado del concreto convencional y del concreto compactado con rodillo.

RESISTENCIA A LA COMPRESION KG/CM2	RESISTENCIA AL CORTANTE KG/CM2
162	39
181	18
231	57
232	45
262	49

FIG. 3.12 TABLA DE RESISTENCIA A COMPRESION Y CORTANTE

La resistencia al cortante aumenta con el incremento de la resistencia a la compresión. regularmente, la resistencia al cortante no confinado oscila entre un 20 % y un 25 % de la resistencia a la compresión.

3.1.11. CAPACIDAD DE DEFORMACION

El volumen del concreto puede variar sin esfuerzo cuando no está confinado, cuando lo está, el esfuerzo resultante debe inducir suficiente deformación para compensar el cambio de volumen. Si la deformación inducida es por tensión y excede de la capacidad de deformación en el concreto, ocurrirá agrietamiento.

Las deformaciones en el concreto se pueden desarrollar debido a reducciones del volumen inducido por el secado y la contracción autógena, así como por congelación del concreto.

Los factores que afectan la capacidad de deformación son: el contenido de cemento, el tipo de agregado y las características de su forma (anguloso, como el que se produce por trituración, en composición con el redondeado por medios naturales) generalmente los agregados duros y quebradizos como la arguilita y la cuarcita, producen baja capacidad de deformación, la trituración o la adición de material triturado, mejora la capacidad de deformación. El aumento del

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

contenido de cemento desarrollara la capacidad de deformación al incrementar la resistencia a la tensión, sin embargo esta mejoría suele ser contrarrestada por los problemas de disipación del calor causados por el aumento que se genera debido al alto contenido de cemento.

La capacidad de deformación del CCR no debería ser distinta de la del concreto común con el mismo contenido de material cementante, sin embargo debe esperarse, que en la mayoría de los concretos compactados con rodillo sea mas baja, ya que, por lo general, estos están elaborados con contenidos de cemento mas bajos y/o con mayor sustitución de cemento por puzolanas presentando así deformación mas baja inducida por la temperatura , que resulta de una mezcla mas pobre y de un colado en capas mas delgadas.

3.1.12. CAMBIOS VOLUMETRICOS

La posibilidad de cambios de volumen, debido a la perdida de humedad o a la contracción por secado, es muy baja en el CCR, puesto que tiene menor cantidad de agua en el mezclado, que el concreto convencional. El principal efecto del secado de la superficie seria el micro agrietamiento 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 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 terminan por penetrar en el peralte.

El cambio de volumen autógeno de una mezcla de concreto es afectado por la cantidad y el tipo de cemento y puzolanas que contiene. Los estudios dirigidos por el cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos 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 autógenos en el concreto que la ceniza volante o el cemento portland puro.

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

3.1.13 ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad del concreto es un propiedad mecánica que refleja la habilidad que tiene el concreto para deformarse elásticamente, el cual puede ser obtenido aplicando cargas conocidas sobre un espécimen para evaluar la deformación del material.

Las propiedades elásticas del Concreto Compactado con Rodillo son afectadas por la relación agua/cemento o calidad de la pasta, tipo de agregado y por la edad principalmente al igual que el concreto convencional. El modulo de elasticidad del Concreto Compactado con Rodillo aumenta con el incremento en el contenido de cemento y con la edad.

El modulo de elasticidad de Concreto Compactado con Rodillo es similar al del Concreto Convencional, cuando es compactado adecuadamente este posee buena graduación en los agregados. En la tabla 3.14 se aprecia el incremento del modulo de elasticidad con el contenido de cemento y el tiempo.

El aumento en las proporciones del agregado, relacionado con el Concreto Compactado con Rodillo y el consiguiente incremento en la densidad, deben acrecentar el modulo de elasticidad para un tamaño máximo de agregado dado, siempre que la mezcla tenga suficiente pasta. Si el volumen de pasta no es el suficiente, la densidad disminuirá con el aumento de cavidades de aire. En estas condiciones, el modulo de elasticidad no solo se vera afectado por la perdida de densidad, sino también por la discontinuidad de la pasta de toda la masa de concreto, y será razonable esperar que disminuya, en proporción, al aumentar el contenido de vacíos.

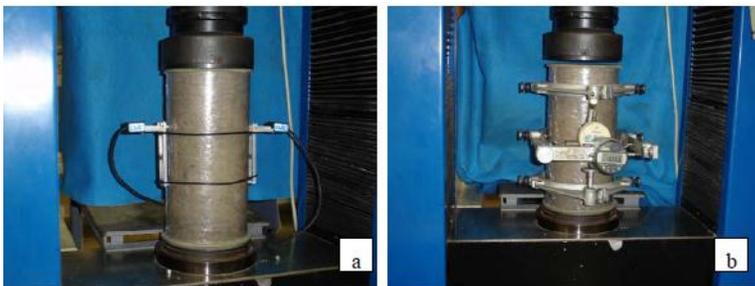


FIG. 3.13 MODULO DE ELASTICIDAD CON EXTENSOMETRO ELECTRICO (a) Y MECANICO (b)

TABLA . EL MODULO DE ELASTICIDAD AUMENTA CON EL CONTENIDO DE CEMENTO Y CON EL TIEMPO		
CONTENIDO DE CEMENTO KG/M3	EDAD EN DIAS	MODULO DE ELASTICIDAD KG/M2
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

FIG. 3.14 TABLA DE MODULO DE ELASTICIDAD

3.1.14 FLUENCIA

El incremento en la deformación unitaria mientras actúa la carga completa o parte de ella, se debe a la fluencia del concreto. Podemos definirlo como un aumento en deformación unitaria bajo esfuerzo sostenido y como dicho aumento puede ser varias veces mayor a la deformación unitaria debida a la carga, la fluencia reviste considerable importancia en la mecánica estructural.

De otro punto de vista, si las restricciones son tales que una muestra de concreto bajo esfuerzo se ve sometida a una deformación unitaria constante, la fluencia aparecerá como la reducción progresiva del esfuerzo con el tiempo. La dependencia de una deformación unitaria instantánea respecto a la velocidad de carga dificulta mucho la demarcación entre las deformaciones unitarias elásticas y las de la fluencia.

En condiciones normales de carga la deformación unitaria instantánea observada depende de la rapidez de la aplicación de la carga de modo que no solo incluye la deformación unitaria por carga, sino también algo de fluencia.

La fluencia es directamente proporcional al volumen de material cementante de la mezcla, tal como ocurre en el concreto convencional. Por lo general. Agregados que poseen un elevado índice de elasticidad ocasiona un concreto de baja fluencia. Es importante hacer notar, que los concretos con alta relación de vacíos, contribuyen a un incremento en la determinación por fluencias bajo carga.

Puede suponerse que un concreto con un mínimo de material cementante, compactado al 98% de su densidad optima, tendría aproximadamente 20 % menos influencia en una situación de carga determinada. Se puede apreciar en la tabla 3.15, que la fluencia disminuye con el mayor contenido de cementante.

TABLA 3.15 LA FLUENCIA DISMINUYE CON EL AUMENTO EN EL CONTENIDO DE CEMENTO	
CONTENIDO DE CEMENTO KG/M3	FLUENCIA I/E
60	1.43
120	0.76

FIG. 3.15 LA FLUENCIA DISMINUYE CON EL AUMENTO EN EL CONTENIDO DE CEMENTO

3.1.15 PERMEABILIDAD

La permeabilidad del concreto depende principalmente del sistema de cavidades de aire atrapado, es decir, de su relación de vacíos y, por lo tanto, esta casi totalmente controlada por el proporcionamiento de la mezcla y por el grado de compactación. Cuando hay suficiente material cementante para reducir al mínimo la relación de vacíos y el equipo de compactación es capaz de compactar por completo la masa, el Concreto Compactado con Rodillo resultaría relativamente impermeable.

Las presas deben de resultar suficientemente libres de filtraciones, que provocan perdidas de agua y dan mal aspecto al verse húmedo el paramento de aguas abajo, además de inducir la presencia de presión hidrostática interna (presión de poro o supresión) que es un factor de reducción de la estabilidad y debe compensarse con un incremento en la masa, y en consecuencia en el volumen de materiales de la presa.

El agrietamiento y las juntas frías representan los medios mas frecuentes de filtración de agua a través de cualquier tipo de concreto; por esto, es importante que la mezcla de Concreto Compactado con Rodillo que cubre las juntas frías, tenga un exceso de material cementante que adhiera y selle la junta para impedir la filtración.

El CCR adecuadamente construido tiene coeficiente de permeabilidad del orden de 10^{-8} a 10^{-6} cm/s, pero el problema real se encuentra en las juntas entre las capas de colado. Aunque las mezclas de liga ayudan a resolver ese problema, normalmente se utiliza también algún tipo de pantalla impermeable en el paramento de aguas arriba de la presa, sobretodo si esta es de concreto pobre o intermedio. Esa pantalla puede ser a base de elementos prefabricados que quedan

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

formando parte de la misma cortina, de una membrana plástica que recubra la cara de la pantalla en contacto con el agua, una zona angosta de concreto convencional o una combinación de varias medidas como las anteriores.

De cualquier manera, es necesario disponer además una red de drenes en la masa de concreto, inmediatamente aguas debajo de la membrana o pantalla impermeable, que descarguen a galerías dentro de la cortina, de forma de interceptar las filtraciones que puedan producirse e impedir la aparición de la presión hidrostática interna.

Por otra parte, dependiendo de las características de la roca de cimentación, es común igualmente crear una pantalla profunda de impermeabilización a base de inyecciones de lechada de cemento, y una red de drenes perforados aguas debajo de la pantalla, conectados a las galerías de drenaje de la cortina, que se deben prolongar dentro de las laderas.

Las estructuras hidráulicas deben ser diseñadas para minimizar las filtraciones, controlar las supresiones y asegurar la durabilidad a largo plazo.

La permeabilidad o hermeticidad del CCR debe ser tan o más importante que la resistencia, especialmente en las estructuras hidráulicas. los casos en que el agua fluye a través de la masa de concreto afecta el comportamiento o funcionamiento del concreto con el tiempo. históricamente una alta permeabilidad en la estructura del CCR ha sido el resultado de la segregación y falta de compactación de la superficie de la junta de cada capa

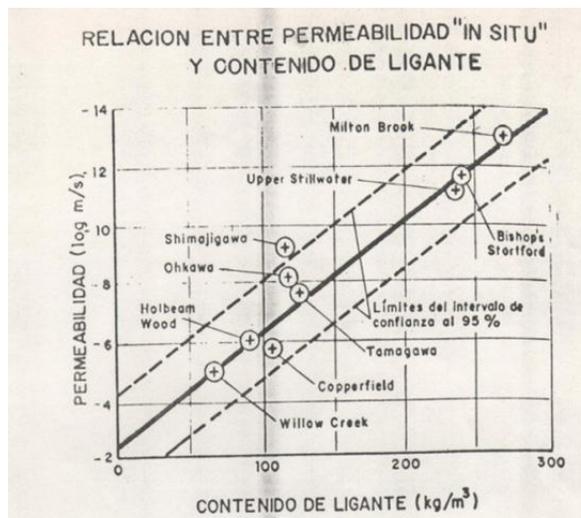


FIG 3.16 PERMEABILIDAD V.S. CONTENIDO DE LIGANTE DE PRESAS DE USA

3.1.16 POROSIDAD

La porosidad es uno de los factores principales que influyen en la resistencia y durabilidad del concreto; mientras más poroso sea el concreto menor es su resistencia mecánica y tendrá mayor vulnerabilidad ante la agresividad del medioambiente. Además, junto con la capacidad de absorción del agregado, la porosidad influye en varias propiedades del concreto, tales como: la resistencia a la abrasión, la estabilidad química, la gravedad específica, la adherencia de la pasta con los agregados, etc.

El concreto es un material compuesto por una fase constituida por productos sólidos de hidratación del cemento y otra fase de partículas pétreas. La porosidad, como la mayoría de las propiedades del material, depende de la porosidad de ambas fases.

Los tamaños de los poros en el agregado varían en un amplio rango, pero hasta los más pequeños son mayores que los poros del gel en la pasta de cemento (Neville, 1999). Algunos poros del agregado están totalmente inmersos dentro de la partícula, pero otros se abren a la superficie, de modo que el agua, y otros agentes agresores, pueden penetrar en ellos.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

La porosidad de la pasta de cemento es la suma del volumen de los huecos capilares y de los huecos del gel, y representa el espacio no llenado por los componentes sólidos de la pasta de cemento hidratado (Neville y Brooks, 1998); depende principalmente de la relación agua/cemento (a/c) y del grado de hidratación alcanzado por el cemento. Por ejemplo, para una pasta de relación a/c de 0,6, el volumen total de poros se encuentra generalmente entre 46% y 60% dependiendo del grado de hidratación del cemento, que correspondería a niveles de hidratación comprendidos entre 100% y 27%, respectivamente. En general, la porosidad de la pasta suele ser mayor a la porosidad del agregado.

En este caso, el objetivo fundamental es obtener una mínima porosidad. Esta disminuye con el grado de hidratación del cemento durante su endurecimiento, hasta tender a un valor mínimo mediante los agregados, lo que es normalmente difícil de alcanzar en obra.

3.1.17 DURABILIDAD

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

La resistencia del concreto al ataque del intemperismo (o congelación-deshielo) depende de su resistencia y contenido de aire incluido, así como a la resistencia a la congelación del agregado. La eficacia de los agentes inclusores de aire (AEA) para introducir aire en el concreto, depende en gran medida del contenido de agua de la mezcla. Mientras el contenido de agua de las mezclas para Concreto Compactado con Rodillo, parece ser demasiado bajo para aceptar una inclusión de aire eficaz, las dosis normales de agentes producen una ligera reducción en los requerimientos para lograr una compactación completa a un nivel determinado. Por lo tanto parece existir cierto grado de eficacia, aun cuando las densidades compactadas no reflejen aumento en los contenidos de aire. El cuerpo de ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, utilizó dosis normales de AEA en los experimentos realizados para la presa de Lost Creek. Las pruebas de congelación deshielos se llevaron a cabo en prismas aserrados en corazones extraídos mediante taladro vertical desde el colado. Con base en las condiciones de los prismas después de dichas pruebas, se concluyó que este concreto se podía comparar favorablemente con otro concreto pobre masivo que había utilizado en la mayor parte de la construcción de la presa. El terreno aglomerado de protección en las presas de tierra, y los diques de terreno aglomerado macizo que aun están en servicio, construidos mediante procedimientos similares a los del CCR, están demostrando buen comportamiento en servicio y condiciones de exposición que a veces son muy severas, con base en esto no deben esperarse problemas de durabilidad en esta clase de mezclas pobre para concreto compactado con rodillo.

La resistencia al desgaste se beneficia al aumentar la resistencia del concreto, por el uso de tamaño máximo de agregados más pequeños y con texturas más suaves.

Los estudios sobre erosión realizados por el Cuerpo de Ingenieros para la presa de Zintel Conyo, demostraron que un Concreto Compactado con Rodillo con tamaño máximo de agregado de 1 ½ pulg. (38 mm), es resistente a la erosión cuando esta sometido a una velocidad del agua hasta 20 m/seg.

No se han llevado a cabo estudios ni experimentos relacionados con la resistencia al ataque de sustancias químicas, sin embargo, los principales factores que rijan la resistencia al deterioro por el ataque de sustancias químicas deben ser muy semejantes a las del concreto común.

3.1.18. JUNTAS DE CONTRACCIÓN

La combinación de la temperatura ambiente con la de la mezcla al momento de su colocación, aunada a los efectos térmicos de la hidratación de los cementantes, provocan una generación de calor que produce dilatación de la masa de material, en tanto que al irse enfriando la masa se produce una contracción que puede llevar inconvenientes agrietamientos de la presa. Cuando las condiciones climáticas son favorables y las mezclas del CCR se diseñan teniendo en mente el control total del fenómeno térmico (mezclas pobres con buena proporción de puzolanas), las presas de este material pueden construirse completamente sin la necesidad de disponer juntas de contracción transversales a la presa.

Si se usan mezclas intermedias o ricas y/o si las características climáticas del sitio son desfavorables, las juntas de contracción son indispensables. Para determinar su número y posición, en la etapa de proyecto se hacen estudios detallados de la generación y difusión del calor en la masa, considerando las propiedades de la mezcla que se pretende utilizar y las variaciones de la temperatura ambiente. Las juntas en la obra se hacen generalmente cortando el concreto con una cuchilla o sierra especial desde el paramento de aguas arriba hasta el de aguas abajo.

3.1.19. PARÁMETROS A TENER EN CUENTA EN EL CCR

En el CCR la resistencia a la compresión es uno de los muchos parámetros a tener en cuenta, sin ser el principal. Es así como el diseño y ensayos de mezclas de CCR de una presa de gravedad están orientadas a lograr una mezcla con las siguientes características:

- a.- Obtener resistencias a compresión y tensión con los factores de seguridad requeridos.
- b.- Obtener una mezcla con alta capacidad de deformación. Esta capacidad de deformación se incrementa cuando disminuye el módulo de elasticidad y se incrementa la fluencia del concreto bajo carga constante.
- c.- Bajo incremento adiabático de calor.
- d.- Obtener parámetros de resistencia al corte entre capas acordes con los factores de seguridad requeridos.
- e.- Bajo costo unitario.

3.1.20. VENTAJAS DEL SISTEMA

La amplia aceptación de las presas de concreto compactado se explica por las grandes ventajas de esta técnica, algunas de las cuales se mencionan a continuación.

1. Debido a la alta resistencia a la erosión del CCR, el rebotadero puede construirse incorporado a la presa, ya sea controlado con compuertas o libre (como en el caso de Miel-I en Colombia). Esto implica una economía apreciable en comparación con otro tipo de presas construidas usando otros sistemas, las cuales requieren un rebotadero independiente, debiéndose realizar excavaciones a cielo abierto en sitios de presa no muy abruptos o excavaciones subterráneas en sitios de presa estrechos y abruptos. Esto es de especial importancia durante la época de construcción, ya que generalmente las crecientes son catastróficas para presas de enrocado en construcción.

2. El volumen de una presa de CCR es significativamente menor respecto al volumen que requeriría una presa de enrocado de altura equivalente.

3. El tiempo de construcción es generalmente menor en la construcción de presas de CCR que en presas comparables de concreto o enrocado, debido a las altas tasas de producción y colocación y a los menores volúmenes de las presas de CCR.

4. Las actividades de inyecciones para tratamiento de la fundación de la presa pueden ejecutarse desde galerías sin interferir con el avance del CCR.

5. En comparación con presas de concreto convencional, las presas de CCR presentan menor retracción de fraguado y por lo tanto son menos propensas a agrietarse. Además, la deformabilidad del CCR es mayor que la del concreto convencional debido a su menor módulo de elasticidad y mayor flujo plástico.

6. Para la construcción de presas de concreto convencional se requieren agregados con contenido de finos bajo y controlado. En contraste, los agregados utilizados para las presas de CCR pueden tener altos porcentajes de finos, dependiendo de sus condiciones de plasticidad.

7. El costo unitario del CCR puede equivaler al 30% a 50% del costo unitario del Concreto Convencional de una presa de gravedad, mientras que puede ser hasta cinco veces más alto que el de un relleno granular. El costo mas bajo se debe principalmente al periodo de construcción mucho mas corto requerido, el uso de equipo grande para movimiento de tierra y a la cantidad inferior de mano de obra que se necesita.

8. Dada la alta tasa de colocación posible de obtener con el CCR, por lo general la presa está incluida dentro de la ruta crítica del proyecto. De esta forma su construcción se puede programar a fin de reducir en lo posible los costos financieros que implica su construcción, mayor ritmo de construcción (puede llegar a 2- 2.5 m cada semana).

9. Todos los anteriores aspectos hacen que, en general, la construcción de una presa de una altura dada sea apreciablemente más económica en CCR que en otros sistemas como enrocado o concreto convencional.

10.-Utilización a gran escala de equipos convencionales (dumpers, bulldozers, rodillos) como consecuencia de lo anterior, un costo más reducido.

3.1.21. VENTAJAS FRENTE A LAS PRESAS DE MATERIALES SUELTOS:

11.- Acortamiento del plazo de ejecución, al colocarse con ritmos similares volúmenes mucho más reducidos (relación 1:4); Frente a las presas de materiales sueltos.

12.- Aliviadero sobre la presa.

13.- Conductos de desagüe y tomas más cortas. Torre de toma adosada a la presa y no exenta.

14.- Desvíos más cortos durante la construcción.

15.- Como consecuencia de lo anterior, se establece un costo de ejecución menor.

16.- Menor impacto ambiental, ya que la menor cantidad de materiales requerida conlleva una disminución de los problemas de tránsito, producción de polvo y cicatrices en las zonas de préstamos.

17.- Soporte de avenidas o vertidos no sólo en servicio, sino también durante la fase de construcción.

18.- Fabricación controlada y sistematizada: Se elabora en planta automatizada que permite el adecuado control de calidad y la dosificación uniforme de los agregados lográndose rapidez y alto rendimiento de fabricación.

19.- Velocidad de colocación: Se coloca por medio de bandas transportadoras y camiones en forma continua.

20.- Compactación con los equipos tradicionales utilizados en la construcción de carreteras: Se emplean tractores y rodillos lisos vibratorios.

21.- Bajo contenido de humedad: Los equipos transitan sobre las capas colocadas sin ninguna dificultad, logrando una densidad óptima.

22.- Bajo contenido de cemento: El diseño de la mezcla no requiere altos contenidos de cemento. La resistencia no es la variable más importante.

23.- Bajo contenido de calor de hidratación: Debido a su bajo contenido de cemento se genera menor calor de hidratación.

24.- Disponibilidad de materiales cercanos a la obra: Se tiene un ahorro considerable en los acarrees.

25.- Buena calidad de los agregados: Se tiene una buena granulometría de los materiales. Además, en general, se tienen menores costos en la construcción.

El soporte de avenidas o vertidos en servicio y también en la fase de construcción se pudo comprobarse de forma fehaciente durante la ejecución de la presa de Santa Eugenia, en el norte de España. En diciembre de 1987, con media presa levantada, ésta soportó dos grandes avenidas que arrastraron varios cientos de metros aguas abajo la maquinaria que no había podido ser retirada, sin que el cuerpo de la presa sufriera daños.

La mayor parte de las presas de concreto compactado son del tipo de gravedad, aunque en algunos países (Sudáfrica y China) se tienen ya ejemplos de presas arco-gravedad, y en China, de presas arco. En todos los casos, el concreto compactado sustituye en el interior de la presa al convencional (es común que, al menos, el paramento aguas arriba se construya con este último).

A pesar de lo anterior, debe tenerse muy en cuenta que es imposible construir presas de CCR en cualquier lugar debido a que se requieren estribos en roca competente. Por lo tanto, a pesar de las múltiples ventajas que este sistema ofrece, puede no ser factible su utilización en sitios donde las condiciones geotécnicas de la cimentación de la presa incluyendo los estribos, no sean las características de rocas de buena calidad.

Economicamente hablando existen tres diferencias a favor del CCR, con respecto al concreto convencional:

1.- Economía en el tiempo de construcción (por el uso de maquinaria pesada).

2.- Economía de la presa en obra (debido a la reducción de cimbra y juntas)

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

3.- Economía del conglomerante (reducción del contenido de cemento)



FIG. 3.17 PARA EL CCR ES POSIBLE EMPLEAR TANTO PARA EL TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN DEL CONCRETO LOS MISMOS MÉTODOS USADOS HABITUALMENTE PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS, ESTO SUMADO A MÉTODOS PATENTES DE FABRICACIÓN CONLLEVA A OBTENER ALTOS RENDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN.

Las ventajas económica que proporciona el CCR con respecto a las presas de materiales sueltos en cuanto a la localización y construcción de las estructuras complementarias del proyecto, son:

En una presa de gravedad en CCR, el vertedero se puede construir dentro del cuerpo de la presa, eliminando así la necesidad del canal lateral convencional que se construye en las presas de materiales de sueltos, que involucra un costo adicional de excavaciones, además de los problemas relativos de estabilidad de taludes, que es un impacto adverso en el costo de estos proyectos.

Las torres de toma en lugar de ser estructuras aisladas de la presa, pueden anclarse al paramento de aguas arriba de la presa de CCR, lo cual también disminuye los costos de diseño y construcción.

En cuanto a la altura de la ataguía y la sección de los conductos de desviación, estas se pueden diseñar para crecientes con menores periodos de recurrencia, que inciden favorablemente en los costos del proyecto.

Las presas en CCR se han construido en todo tipo de países y de lugares, exceptuando aquellos que presentan precipitaciones muy altas. Una de las ventajas de una Presa todo CCR bien proyectada es la sencillez de construcción, que llevará a lo siguiente:

“Sencillez de proyecto + rápida construcción + alta calidad = Estructura económica”

3.1.22. DESVENTAJAS

Las desventajas asociadas a este tipo de presas de CCR son infiltraciones entre las capas debido al carácter permeable y a un nivel de agrietamiento controlado. La adherencia entre capas debido a las características del material las hacen en cierta manera vulnerables ante los eventos sísmicos.

Esto ha ayudado a que se desarrollen nuevas tecnologías con respecto a la impermeabilidad, utilizando el PVC o una membrana sintética sujeta con concreto de alta calidad. Con respecto a los agrietamientos se ha trabajado en nuevas técnicas de juntas transversales o por cortes regulares de series de ranuras que actúan como inductores de grietas.

La utilización de este material se debe a la necesidad de suplir las desventajas de las presas de gravedad en concreto convencional, como lo es la inestabilidad de la masa de concreto debido a los efectos térmicos que afecta directamente al tamaño y la tasa de vaciado del concreto, causando retrasos e interrupciones por la necesidad de proveer juntas de contracción y detalles de diseño similares.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE CORTINAS DE CONCRETO CONVENCIONAL Y CCR

- DEFINICIÓN PRELIMINAR DE LA GEOMETRÍA
- ESTABILIDAD.
- ANÁLISIS SISMICO
- ANÁLISIS TÉRMICO.

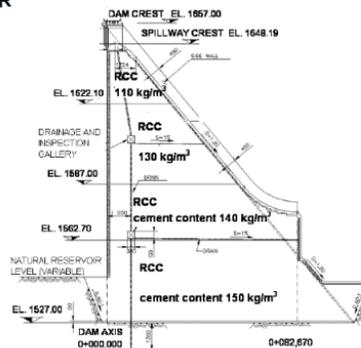


FIG. 3.18 CORTINAS DE CONCRETO CCR TIPO GRAVEDAD.

Otras desventajas de las presas de concreto convencional son la continuidad en la construcción y la gran cantidad de mano de obra, lo que disminuye globalmente la productividad y la eficiencia de la construcción.

Las desventajas mas importantes de las presas de materiales sueltos son, la erodabilidad del material ante la ocurrencia de una creciente que sobrepase la cresta de la presa ya terminada o en proceso de construcción, la construcción independiente del aliviadero, tomas y desagües de fondo, el volumen de materiales necesarios para la construcción debido a su sección trapezoidal. Mientras que las desventajas de las presas en concreto convencional son: limitación en el uso de equipos pesados, construcción por monolitos independientes con refrigeración artificial interna y separados por juntas transversales que luego se rellenan o inyectan mayor cantidad de cemento a lo que se añade el costo de la cimbra.

Debido a las desventajas que poseen las presas de relleno, se ha optado por optimizar la construcción de las presas de gravedad de concreto con el fin de disminuir sus costos. En ausencia de un progreso para la búsqueda de un cemento ideal y un concreto de dimensiones estables, las características a estudiar son las siguientes:

- 1.-Reevaluación de los criterios de diseño.
- 2.-Desarrollo de concretos mejorados (Aditivos, cementos mejorados)
- 3.-Desarrollo de técnicas de construcción continuas y rápidas basadas en el uso de concretos especiales.

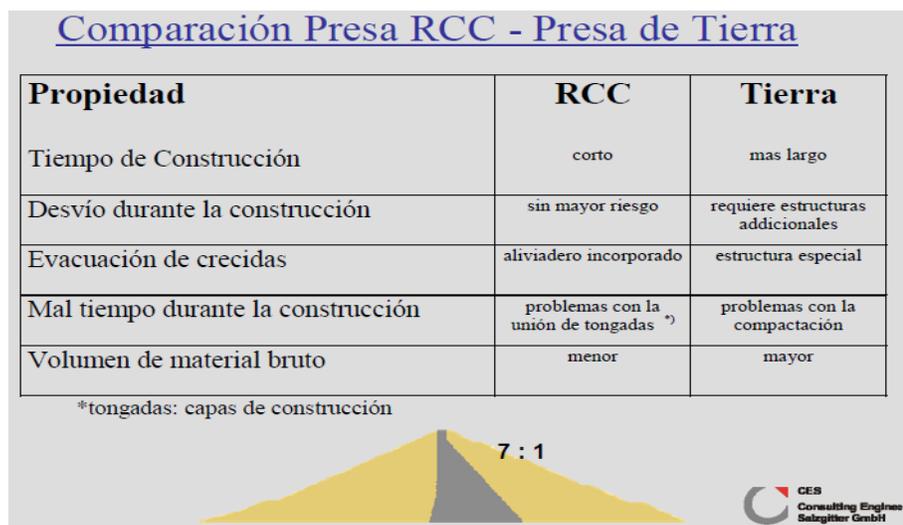


FIG. 3.19 COMPARACION PRESA CCR V.S. PRESA DE TIERRA



Portland Cement Association



RCC NEWSLETTER

roller compacted concrete design and construction

Volume 7, Number 1

Spring/Summer 1991

5420 Old Orchard Road

Skokie, Illinois 60077-1083

Phone: (708)966-6200

Fax: (708)966-9781

Contents

Advantages of
RCC Dams

RCC Pavements

Educational Program



Dams Update

ASDSO Annual
Conference

Advantages of Roller Compacted Concrete Dams

by Kenneth D. Hansen, PCA Affiliates, Denver, CO

Roller Compacted Concrete (RCC) dams have emerged as a viable new type of dam where site foundation conditions are suitable for a concrete dam. They have gained acceptance worldwide in a relatively short time due to their economic advantage combined with the long-term safety record of concrete dams. The low cost of RCC dams is derived in part from their rapid method of construction. Still, RCC dams must be able to compete economically with other dam types at a given site. The following list of items, which tend to favor RCC dams over embankment types, is presented to aid design engineers in considering all factors in their preliminary dam type selection studies.

Spillway and Stilling Basin

The cost of spillways has become a major factor in the cost of dams, with ever-increasing hydraulic requirements. RCC dams can incorporate spillways into the structure at little additional cost when compared to embankment type dams, which usually require separate spillways. An RCC dam, thus, shows a greater cost advantage compared with an embankment dam as the design spillway capacity increases.

Due to the erosion resistance and structural stability of RCC gravity dams, they can be safely overtopped. Therefore, the spillway for an RCC dam can be designed for a certain event such as the once-in-100-years' or the once-in-500-years' event. Middle Fork Dam, a 124-ft-high RCC dam in Colorado, was designed to pass the probable maximum flood (PMF) over the entire dam. An earth or rockfill dam alternative would have had to include a very large and expensive spillway or be over 200-ft-high to provide adequate storage for the PMF volume.

Stepped spillways are easily incorporated into RCC dams due to the horizontal method of construction. The steps dissipate energy leading to reduced velocity at the toe of the spillway. The need for a terminal energy dissipator is therefore either reduced or eliminated depending on the erosion potential of the downstream surface material.

At Upper Stillwater Dam, Utah, the spillway steps produced a 70 percent energy reduction when compared to a smooth surface. This led to an 85 percent reduction in the length of the stilling basin - to 30 ft. for a 294 ft. high dam. The depth of the stilling basin was also reduced.

River Diversion

Reduced river-diversion cost is another important benefit of an RCC dam, especially for large rivers. Similar to any conduit passing through the dam, a diversion conduit or tunnel for an RCC dam will be shorter in length than for an embankment dam.

Due to rapid construction associated with RCC dams and its erosion resistance, the diversion capacity and upstream cofferdam can be smaller. If initial RCC construction can be planned to coincide with the low-stream-flow season, the diversion capacity can be considerably less than to accommodate a five- or ten-year-frequency flood. This concept was recognized at Galesville Dam, Oregon, where the diversion conduit capacity was reduced from 600 cfs (cubic feet per second) to 1,200 cfs. If a flood overtops the partially completed RCC structure, it can be easily cleaned up and construction can proceed again without a long-time interruption. RCC dams overtopped during con-

Continued on page 2

FIG. 3.20 ARTICULO DE LA PCA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION SOBRE CCR

Advantages of RCC Dams *(continued from front page)*

struction include: the Kerrville Pounding Dam, Texas, as well as the Craighourne Dam and the Bucca Weir, both in Australia.

Outlet Conduit and Intake Tower

As noted in the figure below, where the cross sections of three dam types are superimposed upon each other, the upstream-downstream dimension is less for the RCC gravity section. This leads to shorter length outlet conduits, penstocks or any other waterway that may pass through or adjacent to the dam structure.

Multi-level intake towers, which are attached to the upstream face of RCC dams compared to free-standing structures for an embankment dam, represent another cost savings advantage for RCC dams.

Height of Dam

The crest elevation for an RCC dam is invariably less than for an embankment dam. For an RCC dam, the crest elevation is usually set at the maximum water surface with a parapet wall added to take care of freeboard. Freeboard and settlement considerations raise the crest elevation for embankment type dams. The dam height difference, which translates to reduced volume at the base of the dam, is easily apparent for dams designed to store the design flood. When passing the design flood, the width of the spillway must be taken into consideration to establish the maximum water surface and, with it, the crest elevation for each type of dam. The minimum dam height for an RCC dam is associated with the widest spillway.

Foundation Excavation

Also, as is apparent in the figure below, the footprint for the RCC dam is considerably less than for either of the embankment dam types. In the case of near surface rock, this means less rock excavation and foundation cleanup is required for the RCC dam than either of the two embankment dams.

Instrumentation

The cost for instrumentation of an RCC dam is generally less than for an embankment dam as the need to measure settlements and pressures is less critical, and instruments within the dam can be spread out over a smaller cross section. Instrumentation cost for an RCC dam can be extremely low for a private owner who is mainly concerned with the safety of his single dam compared to a governmental agency who is collecting data to check initial design assumptions that may be used to design future dams.

Speed of Construction

In an effort to minimize cold joints between horizontal layers, continuous placement of RCC is normally specified. A typical work schedule will consist of two, ten-hour shifts, seven days a week. Continuous placement, along with the considerably smaller volume of material required for an RCC dam, results in completion of an RCC dam in much less time than an embankment-type dam.

The economic benefit of rapid RCC construction can accrue to the owner in several ways. The cost savings can be in the form of a lower bid by the contractor, lower interim construction

financing costs, lowered construction management costs and earlier benefits.

The rapid construction savings in the contractors bid is reflected in lower unit prices for items that can be constructed quickly with little risk, and in the mobilization or associated items. If the contractor can be on the site for a shorter period of time, his costs for bonds and insurance, field office and laboratory and home office support is reduced. If no bid item is provided for these costs, they are generally placed in the mobilization item which includes more than the cost of moving equipment in and out.

Performance

In addition to the cost considerations involved with dam type selection, the inherent safety and appearance favor concrete structures. No concrete dam has failed in the United States for any reason, for more than 60 years. For additional information on advantages of RCC dams, please see the references noted below.

References

1. Logie, C.V. "Economic Considerations in Selection of a Roller Compacted Concrete Dam" Roller Compacted Concrete, ASCE, New York, May 1985 pp. 111-122.
2. Tarbox, G.S. and Hansen, K.D. "Planning, Design, and Cost Estimates for RCC Dams" Roller Compacted Concrete II, ASCE, New York, February 1988 pp. 21-38.
3. Hansen, K.D. and Reinhardt, W.G. "Roller Compacted Concrete Dams" McGraw-Hill, Inc., New York, 1991.

Educational Program

Arrangements have been finalized for a 1-1/2 day short course and construction tour on Roller Compacted Concrete for Dams and Dam Rehabilitation. The Short Course will be held July 18-19, 1991, in Johnstown, PA. The program is being sponsored by the Association of State Dam Safety Officials, Portland Cement Association, the Greater Johnstown Water Authority, and Gannett Fleming, Inc. The attached announcement provides information on the program, including registration form. Don't miss the opportunity to attend the most comprehensive program on RCC dams this year.

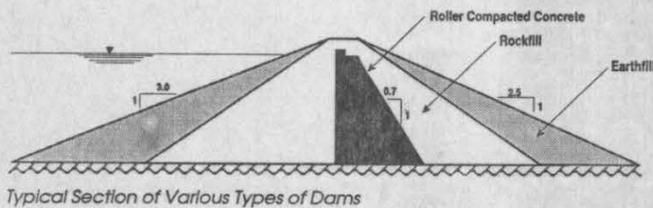


FIG. 3.21 ARTICULO DE LA PCA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION SOBRE CCR

3.2 CAPACIDAD DE ADHERENCIA ENTRE CAPAS DE CCR EN PRESAS

3.2.1. ANTECEDENTES

La capacidad de adherencia entre capas de CCR es fundamental para que la presa cuente con la seguridad, estabilidad, impermeabilidad y durabilidad se debe tener una estructura que se comporte monolíticamente, que se logra si existe una capacidad de adherencia óptima entre las capas de concreto.

El concepto mismo del diseño de una presa de concreto masivo es su trabajo monolítico, por lo que la liga entre la capas de CCR debe ser suficientemente firme. Esto es esencial, de lo contrario las juntas entre capas se convierten en planos de debilidad y se pierde totalmente el concepto de trabajo estructural monolítico supuesto durante el diseño de la presa. Una buena liga entre las capas hace que no se distinga la junta entre dos capas sucesivas.

Cuando la mezcla es muy seca, para evitar que las juntas horizontales entre capas impidan el trabajo monolítico de la presa, suele utilizarse una mezcla especial de mortero o concreto “ de liga”, extendida a lo largo de toda la superficie del concreto de una capa, antes de colocar sobre ella la siguiente. Esto garantiza el comportamiento estructural monolítico, contribuye a la estabilidad y tienen un efecto benéfico sobre la impermeabilidad. Las mezclas ricas en general no requieren el uso de la mezcla de liga, pero en todos los casos es muy conveniente observar el resultado en muestras obtenidas del bordo de prueba.

El efecto de factores como la aplicación de mezcla de liga, el intervalo de colocación y el tratamiento dado a las superficies de las mismas influyen en las características de las juntas entre capas del CCR.

La aplicación de mezcla de liga influye positivamente en la adherencia que se logra alcanzar y que el intervalo de tiempo de colocación entre una capa y otra es uno de los factores que tiene mayores efectos negativos.

Adicionalmente, de acuerdo con los resultados de estudios realizados, para que la adherencia perdida por el intervalo de colocación sea recuperada, aparentemente se debería perfeccionar el tratamiento de juntas frías.

3.2.2. DESARROLLO.

Es fundamental evaluar y analizar las características y variables que afectan la capacidad de adherencia y resistencia al corte que se consigue entre las capas de CCR.

Algunos factores que afectan la unión entre las capas son:

- Tratamiento dado a la superficie de la capa inferior de CCR.
- Tiempo de colocación entre una capa y otra
- Consistencia de la capa de CCR que se está extendiendo
- Compactación de la capa que se está extendiendo
- Índice de madurez del CCR.
- Relación agua / cemento del CCR
- Presencia de retardantes en la mezcla de CCR
- Aplicación de mezcla de pega.
- Tipo y duración del curado
- Temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, etc.

3.2.3. JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN.

El CCR se debe curar y proteger de los agentes externos, en particular de las juntas de construcción. Los tratamientos usuales son la limpieza con chorro de agua y aire, la aspiración con aspiradora mecánica, el corte verde y el uso de aditivos para retardar el fraguado.

Para la presa en CCR en el Proyecto Miel I en Colombia. Se diseñaron diferentes tipos de tratamiento de junta, para cada uno de los tipos de junta, el Tipo I y el Tipo II.

La junta Tipo I es aquella junta que se crea cuando el intervalo de tiempo entre las capas de CCR no ha superado las 36 horas, La junta Tipo II es la que se crea cuando este tiempo es excedido.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El tratamiento de junta Tipo I consiste en la aplicación de chorro de agua y aire a presión para remover el material suelto sin afectar la superficie y sin retirar los finos endurecidos. Se debe realizar cuando antes de 36 horas de compactada la capa, se alcance un índice de madurez de 420°C – hora.

El tratamiento de junta Tipo II consiste en remover los materiales finos con chorros de agua y aire a presión, hasta que quede descubierto el agregado grueso, retirando los finos endurecidos que hayan quedado sobre la superficie. Se realiza usando un cepillo hidráulico, pasándolo sobre la superficie del CCR dentro de las primeras seis horas desde la compactación. Después de este tiempo, la superficie debe ser picada manualmente para descubrir los agregados.

Dentro de las medidas de curado que se toman, al terminar la compactación de una capa, la superficie debe estar húmeda y mantenerse en este estado hasta que la nueva capa sea colocada o hasta que el periodo de curado haya terminado.

Al existir gran cantidad de factores que afectan la adherencia, se analizaron unos cuantos factores que pueden llegar a afectar la adherencia. Dentro de estos programas está el de ensayos sobre cilindros hechos en el laboratorio y sobre núcleos tomados directamente de la presa en CCR en el Proyecto Hidroeléctrico Miel I.

3.2.4. CILINDROS ELABORADOS EN EL LABORATORIO

Para determinar la variación de la adherencia entre capas de CCR en función de la aplicación de mezcla de pega o liga entre juntas, se diseñaron ensayos con cilindros que tuvieran juntas tratadas con este material. Se tuvieron cilindros con diferentes cantidades de cemento en las mezclas.

Los cilindros que normalmente se elaboran en una fase con tres capas, se elaboraron en dos fases. La primera fase consistió en compactar varias series de tercios cilindros; la segunda fase fue aplicar mortero de pega en la mitad de los cilindros sobre la primera capa de CCR. Luego, se colocó la segunda capa de CCR y se compactó de igual forma. Lo mismo se realizó con la tercera capa de CCR.

Aproximadamente la mitad de los cilindros tuvieron mezcla de pega. Se realizaron ensayos de compresión, tensión directa y tensión indirecta.

3.2.5. ENSAYOS DE TENSIÓN DIRECTA

De estos ensayos, para la mezcla tipo 2 (125 kg/m³), se pudo observar que las juntas que tienen mezcla de pega entre ellas tienen una resistencia 79.31% mayor comparada con las juntas que no poseían mezcla de pega.

En promedio, la resistencia a tensión directa de los cilindros que tenían mezcla de pega entre la junta de la capa 1 y 2 alcanzó un 167.7% de la resistencia de los cilindros testigos. La resistencia de los cilindros que contenían mezcla de pega alcanzó un 180% de resistencia comparada con la que se obtuvo con los que no tenían mezcla de pega.

Para la mezcla tipo 1 (150 kg/m³), los cilindros que tenían mezcla de pega entre las capas 1 y 2 tuvieron un 25% más de resistencia que los que no poseían mezcla de pega entre sus capas.

Para la mezcla Tipo 3 (100 kg. /m³), los cilindros con mezcla de pega alcanzaron un 37.8 % mayor de resistencia comparada con la resistencia alcanzada por los cilindros sin mezcla de pega.

Se puede deducir que el tiempo de compactación influye negativamente sobre la resistencia a tensión. En los cilindros con mezcla de pega parece ser que la pérdida de adherencia ocasionada por el tiempo de exposición de la capa fue suplida casi en su totalidad por la aplicación de la mezcla de pega. Es claro que el no aplicarla, teniendo un mismo tiempo de exposición, afecta negativamente la resistencia alcanzada, disminuyéndola hasta en un 26 %.

Al observar las resistencias obtenidas para este ensayo para las mezclas estudiadas, se observa el aumento de resistencia a tensión de la junta con la utilización de la mezcla de pega entre las capas. Tomando un promedio de todas las mezclas ensayadas, se tiene que los cilindros con mezclas tuvieron un 39.3 % mas de resistencia que los cilindros sin mezcla de pega. Se observa una disminución de la adherencia con el tiempo de exposición, que se recupera en parte con la utilización de la mezcla de pega entre capas.

Podría significar que la mezcla de pega mejora sustancialmente la adherencia entre las capas, incluso llegando a superar las resistencias alcanzadas por cilindros que se pueden considerar monolíticos.

3.2.6. ENSAYOS DE COMPRESIÓN

Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión para la mezcla tipo 2, tanto los cilindros con mezcla de pega como los cilindros sin mezcla tuvieron resistencias mayores que las de los testigos. Estos alcanzaron un 110% y un 117% respectivamente, de la resistencia de los cilindros testigos.

Por otro lado, los cilindros con mezcla de pega solo alcanzaron un 95.4% de la resistencia de los cilindros sin mezcla de pega, lo que sería un indicio de que la mezcla de pega no tiene prácticamente influencia alguna sobre esta propiedad.

En los ensayos con la mezcla Tipo 3, los cilindros con mezcla de pega solo alcanzan un 87% de la resistencia de los cilindros sin mezcla de pega, porcentaje que es mayor que el encontrado para las otras dos mezclas.

Analizando los tres tipos de mezclas de CCR en general, se puede observar que la mezcla de pega no tiene un efecto significativo sobre la resistencia a la compresión, y en dos de los tres casos, los cilindros que mayor resistencia promedio alcanzaron, fueron aquellos que no poseían mezcla de pega entre las capas.

3.2.7. ENSAYOS DE TENSIÓN INDIRECTA

Analizando los resultados para la mezcla Tipo 2, la resistencia promedio de los cilindros con mezcla de pega fue menor en 6.6% a la resistencia obtenida para los cilindros sin mezcla de pega, alcanzando un desarrollo de la resistencia de 110.5% de la resistencia nominal a esta edad.

En los cilindros con mezcla tipo 1, la resistencia a la tensión indirecta de los cilindros con mezcla de pega entre las capas 1 y 2, fue menor en un 2.5% a la resistencia de los cilindros sin mezcla de pega. En el caso de la mezcla tipo 3, los cilindros con mezcla de pega solamente alcanzaron una resistencia igual al 98.8% de la de los cilindros sin mezcla de pega. Sin embargo, esta diferencia no se vuelve significativa y no se puede asegurar totalmente que la mezcla de pega disminuye la resistencia lograda en el ensayo a tensión indirecta.

Se puede observar que en todos los casos los cilindros que tenían mezcla de pega entre las capas 1 y 2 alcanzaron una resistencia menor que los cilindros que no la tenían.

Debido a que las diferencias son pocas, la utilización de mezcla de pega no pareciese que perjudicara la resistencia que se puede obtener con esta clase de ensayo.

3.2.8. PERFORACIONES DEL PROYECTO MIEL I

Adicionalmente a los cilindros elaborados en el laboratorio, se analizaron núcleos de 150 mm de diámetro, tomados y recobrados del macizo de CCR en la presa. Estos núcleos son fruto del programa de perforaciones que se está realizando durante la construcción de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Miel I.

PERFORACIÓN P-12

De las 100 juntas que atraviesa esta perforación, 29 se recobraron separadas por falta de adherencia entre capas. Adicionalmente, hubo 32 roturas en los recobros, que se consideraron fallas mecánicas, debidas al equipo de perforación cuando se realiza el recobro (FIG. 3.22).

Teniendo en cuenta todas las fallas, se obtiene que de 79 juntas para la zona con mezcla de pega solo 12 salieron separadas, solamente el 15.2 %, mientras que en la zona sin mezcla de pega este porcentaje sube al 77.3 % (17 juntas separadas de 22).

En la gran mayoría de los casos, el intervalo de colocación es de un turno de diferencia, plazo que se puede extender hasta un día o dos. Sin embargo, se puede extender por varios días más, lo que perjudica notablemente la capacidad de adherencia.

100 Juntas Atravesadas	29 Juntas Separadas por Adherencia	17 Juntas en Zona Sin Mezcla de Pega (41.4%)
		12 Juntas en Zona Con Mezcla de Pega (58.6%)
	71 Juntas Intactas	
	32 Roturas Mecánicas	

FIG. 3.22. RESULTADOS JUNTAS PERFORACION P-12

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

De las 12 juntas falladas en la zona que contenía mezcla de pega, 10 fueron entre capas que tenían intervalos de colocación mayores o iguales a tres días. De estas diez, seis veces el intervalo fue de tres días y dos veces de cuatro días. Adicionalmente hubo otras dos interrupciones de dos días. Se concluye que solo el 16.6 % (2 de 12) de las fallas en zonas con mezcla de pega son problemas de adherencia en sí; los otros casos son influenciados por los tiempos de exposición de la capa inferior (FIG. 3.23).

12 Juntas Separadas en Zona con Mezcla de Pega	1 con intervalo de 18 días (8.4%)
	6 con intervalos de 3 días c/u (50%)
	1 con intervalo de 5 días (16.6 %)
	2 con intervalos de 4 días c/u (16.6%)
	2 con intervalos de 2 días c/u (8.4%)

FIG. 3.23 DESCRIPCION COLOCACION DE CAPAS CON JUNTAS SEPARADAS EN ZONA CON MEZCLA DE PEGA

A los núcleos de recobro de esta perforación se les realizaron ensayos de compresión, tensión directa y tensión indirecta. En la FIG. 3.24, se pueden observar los resultados obtenidos.

Se observa que para la zona con mezcla de pega, en el caso de la mezcla tipo 1 (150 kg / m³), la resistencia de los núcleos que poseen junta entre capas es mayor en un 2.5 % con respecto a los núcleos que no la tienen. Este porcentaje aumenta a 19.4 %, al comparar los resultados de la mezcla tipo 2 (125 kg / m³).

Para la resistencia a la tensión directa, los núcleos de mezcla tipo 1, que tenían junta entre capas y que tenían mezcla de pega, tuvieron una resistencia mayor en un 111.94 % a los núcleos que no tenían mezcla de pega en sus juntas. Sin embargo, los núcleos de mezcla tipo 1 que estaban en la zona sin mezcla de pega, y no contenían juntas, tuvieron una resistencia 212.7 % mayor que los núcleos de las mismas clasificaciones pero en la zona con mezcla de pega.

En promedio, los resultados de la zona con mezcla de pega son un 27.3% más alto que los obtenidos en la zona sin mezcla de pega. Para la mezcla tipo 2, todos los núcleos recobrados se encontraban en la zona de mezcla de pega, y los núcleos que tenían juntas entre capas obtuvieron en promedio igual resistencia que los núcleos que no la contenían. Esto podría significar que la mezcla de pega provee resistencia a la junta para que alcance la resistencia de la matriz del CCR.

Descripción (Junta)	Zonificación Presa (Mezcla de Pega)	Cant. Cemento (kg / m ³)	Comp. (Mpa)	Tensión Indirecta (Mpa)	Tensión Directa (Mpa)
Sin Junta	Con M.P.	125	11.5 (5)	1.83 (5)	0.68 (5)
Sin Junta	Con M.P.	150	16.7 (4)	1.70 (6)	0.21 (1)
Con Junta	Con M.P.	125	13.7 (2)		0.67 (5)
Con Junta	Con M.P.	150	17.1 (1)		0.89 (3)
Con Junta	Sin M.P.	150			0.30 (1)
Sin Junta	Sin M.P.	150	14.9 (3)	2.17 (4)	0.66 (3)

() = número de muestras por tipo de ensayo

FIG. 3.24 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS NUCLEOS DE LA PERFORACION P-12

Comparando la resistencia a compresión de los núcleos sin juntas en la zona sin mezcla de pega con aquellos en la zona donde sí existió, se observa que estos tuvieron una resistencia menor en un 11.4 %. En cuanto a las resistencias a la tensión indirecta, comparando la mezcla tipo 1, los núcleos que estaban ubicados en la zona donde no existía mezcla de pega, tuvieron una resistencia mayor en un 27.7%. La colocación de mezcla de pega es definitiva para la buena adherencia entre la capas de CCR, sin importar el intervalo de colocación entre ellas, ya que indistintamente capas que se colocaron con intervalos de 2 días fallaron igual que capas que se colocaron con 3 o más días de intervalo.

Otro aspecto es que el recobro en la zona sin mezcla de pega no es el esperado, ya que de las 22 juntas que se deberían haber recobrado intactas solo se logró hacerlo en 6 casos, esto es el 27.3% únicamente de recobro, valor bajo comparado con el que se ha conseguido en otros proyectos, para zonas sin mezcla de pega.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Se concluye que la diferencia definitivamente se encuentra en la adherencia ganada gracias a la aplicación de la mezcla de pega entre capas. En cuanto a los resultados obtenidos para los ensayos a la tensión directa, se podría corroborar el hecho de que la mezcla de pega ayuda a que la junta entre capas adquiera resistencia.

3.2.9. CONCLUSIONES

Se evaluaron las características y variables que afectan la capacidad de adherencia entre capas de CCR. Dentro de éstas, se observó el efecto de la condición de la colocación de la capa inferior, el tratamiento de junta y el intervalo de colocación entre capas. En los ensayos de laboratorio se pudo evaluar el efecto de la colocación de mortero de pega entre las capas de CCR y su efecto en la resistencia a tensión.

La adherencia entre las capas de CCR se ve afectada por la colocación de la mezcla de pega entre las juntas. La colocación de este material beneficia la adherencia del CCR solamente si éste es sometido a esfuerzos de tensión; si es sometido a esfuerzos de compresión la mezcla de pega no parece influir en el comportamiento, y por el contrario la resistencia tiende a disminuir. Mientras que para los ensayos de tensión directa los cilindros con mezcla de pega resisten más que los cilindros sin mezcla (39.3%), para los ensayos de compresión y tensión indirecta, los cilindros se comportan de manera similar y alcanzan resistencias parecidas en todos los casos.

Analizando en conjunto las perforaciones, la mezcla de pega tiene un efecto favorable sobre la capacidad de adherencia que se puede obtener en las juntas entre capas de CCR.

Este efecto se observa mejor en las perforaciones inclinadas en donde las juntas sufren menos durante la perforación y por lo tanto se deberían recobrar intactas con mayor facilidad. Se obtuvo un alto porcentaje de recobro de juntas intactas (84.6%) que pertenecían a la zona donde la mezcla de pega se había colocado, mientras que en la zona donde no se encontraba este material este porcentaje estuvo bastante bajo (22.7%).

Aparentemente, basados en la escasa información disponible, el tratamiento de Junta Tipo II no parece tener el resultado esperado, como se observó en la perforación P-12, en donde prácticamente todas las juntas a las que se les había realizado este tratamiento fallaron sin importar si tenían mezcla de pega o no. El índice de madurez para la generación de junta tipo II, propuesto para el proyecto Miel I (420° C – hora) se cumple aproximadamente a las 16 horas de la colocación de una capa. El tratamiento de este tipo de junta efectivamente se está realizando, pero se debería perfeccionar para mejorar la adherencia entre las capas.

En los ensayos realizados para las perforaciones, se observa un comportamiento similar en todos los casos. Las resistencias a compresión de los núcleos sin junta y sin mezcla de pega eran mayores que las de los núcleos sin junta pero con mezcla de pega. Para el caso de tensión indirecta, los casos los núcleos sin junta y sin mezcla, tenían resistencias mayores que los núcleos sin junta y con mezcla. En el caso de la compresión con junta inclinada, la resistencia de los núcleos con junta y con mezcla de pega fue mucho mayor que la de los núcleos con junta pero sin mezcla. Esto mismo sucedió en dos de las tres perforaciones para los ensayos de tensión directa.

Se efectuó una evaluación de la incidencia en campo de otros factores como la temperatura ambiente, el grado de limpieza, etc., sin que se haya obtenido un resultado certero sobre el efecto de cada una de estos sobre el comportamiento de la adherencia.

Esto, debido a que el factor que más influye es el tiempo de exposición de la capa y hace que el posible efecto que tengan los factores mencionados no sea significativo.

3.3 CONTROL DE CALIDAD

Durante la construcción el control de calidad en las presas de CCR abarca el ensayo de los materiales, la precisión en las dosificaciones en peso y la calidad del CCR. El parámetro principal a controlar es su densidad efectuando determinaciones de la densidad en sitio, generalmente empleando densímetros nucleares, luego de la compactación.

De esta manera, es posible establecer el grado de compactación obtenido y eventualmente, aumentar el número de pasadas del rodillo hasta obtener la densidad mínima prevista.

Se realizan ensayos previos en laboratorio para la determinación de la compactación óptima en sitio, las cuales se emplean posteriormente para medir la incidencia de las variaciones de calidad de los constituyentes del concreto.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Los ensayos de laboratorio permitirán obtener las resistencias exigibles a 7 y 28 días correspondientes a la característica deseada a los 90 días, debido a que la resistencia del concreto CCR crece de forma mas lenta que en un concreto convencional.

Por otra parte en los concretos compactados es importante comprobar la permeabilidad de la unión entre capas, con el fin de tomar medidas correctivas, a la vez que mejoren los tratamientos en las juntas si los resultados no son satisfactorios.

Los resultados obtenidos para algunas presas Sudafricanas de estos ensayos se presentan en la tabla siguiente.

Resultados de ensayos de CCR en presas Sudafricanas

MATERIALES	PRESAS				
	Wolwedans	Zaaljoek	Wriggleswade	Azud Sabie	Neusberg
Cemento (kg)	58	36	44	78	58
Ceniza (kg)	136	-	66	77	135
Escoria (kg)	-	84	-	-	-
Cemento + puzolana	194	120	110	155	194
Agua (lts)	83	107	99	108	106
Arena (kg)	679	540	780	770	76
Grava (kg)	1524	1740	1720	1655	1480
Resistencia (Mpa) 28 d	16.1	14	13	14	24.6
Densidad (kg/m ³)	2112	2560	2628	2426	2443
Tracción (Mpa)	3	2.89	3.1	5	3.3
Módulo elástico (Gpa)	31.8	18.2	21.3	-	36.2
Módulo Poisson	0.20	0.3	0.26	-	0.16
Permeabilidad (Cm/s)	1.3*10 ⁻⁸	3.54*10 ⁻⁸	7*10 ⁻⁹	4*10 ⁻⁹	6.7*10 ⁻⁷

FIG. 3.25 RESULTADOS DE ENSAYOS DE CCR EN PRESAS SUDAFRICANAS

3.3.1. AGREGADOS:

La idoneidad de los agregados se determina al realizar los siguientes ensayos:

Porcentaje de humedad del árido, Curva granulométrica, Contenido de arcilla, Partículas blandas, Partículas livianas, Cloruros, Sulfuros y Sulfatos, materia orgánica y cualquier sustancia que pueda reaccionar perjudicialmente con los álcalis de cemento, se admite una tolerancia en peso respecto del total de la muestra según lo estipulado en las normas de cada país.

Las resistencias a compresión, esfuerzos cortantes, choque, desgaste, etc., de los áridos habrán de ser iguales o mejores que los exigidos para el concreto convencional. En los casos dudosos se deben realizar ensayos sobre los áridos, y en particular, la determinación del coeficiente de calidad con la maquina de desgaste de los Ángeles.

Se debe prestar mucha atención a la humedad de los agregados en la fabricación del concreto compactado, debido al bajo contenido de agua; para lo cual comenzar el trabajo de colocación del CCR, se debe ajustar el contenido de agua partiendo de amasadas con agua en exceso, rebajando su contenido, y no procediendo al revés.

La permeabilidad, depende del tipo de estructura proyectada. Las presas con mezclas bajas tienen una permeabilidad del orden de 10⁻⁴ cm/seg. Las de tipo japonés, alrededor de 10⁻⁶ cm/seg. Mientras que las de alto contenido de pasta los valores se acercan a los del concreto convencional 10⁻¹⁰ cm/seg. Como se puede observar las exigencias de permeabilidad se deben ajustar al caso proyectado. Esto mismo se debe tener en cuenta para la densidad, no exigiendo a las mezclas pobres densidades mas altas de las posibles, ya que no resultaría factible conseguir las.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

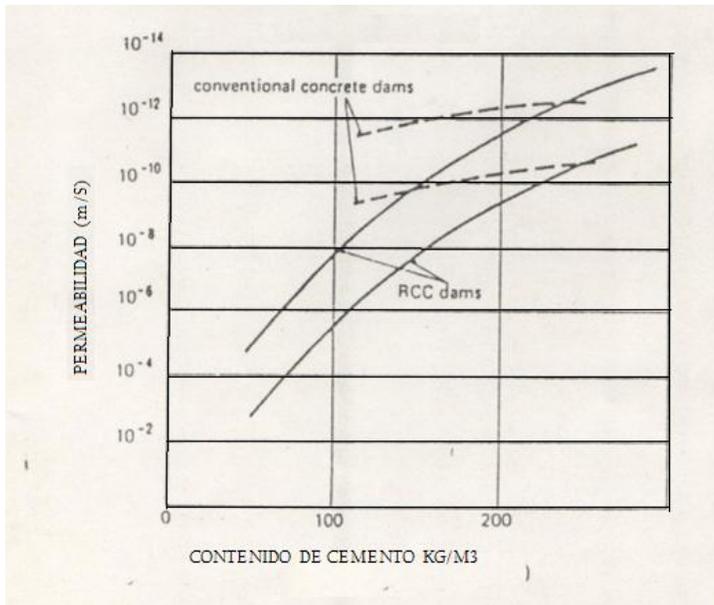


FIG. 3.26 GRAFICA DE PERMEABILIDAD



FIG. 3.27 EQUIPAMIENTO PARA DETERMINAR LA PERMEABILIDAD

La medición de las consistencias se determinan, mediante el aparato VeBe y el método recomendado por el ACI 211.3-75 “Recommended Practice for Selecting Proportions for No-Skump Concrete”, en el cual las consistencias de 20 a 50 segundos son adecuadas para su compactación mediante un rodillo vibrante de 12 toneladas con espesores de 40 cm.

La consistencia se mide sometiendo a la vibración de una mesa de sacudida el concreto fresco contenido en un molde cilíndrico de 241.3mm de diámetro y una altura de 200 mm. El tiempo, medido en segundos, que tarda en aparecer lechada en todo el contorno del disco acrílico, es llamado tiempo Vebe. Continuando con la vibración hasta 120 segundos, se determina la densidad del concreto. Estos dos ensayos de laboratorio comparados con los ensayos in situ, establecen una definición del concreto que se corresponde con las mezclas cuyas características se han establecido en los ensayos previos de laboratorio. “In situ”, los ensayos de la densidad y porcentaje del agua se determinaran mediante métodos nucleares, efectuando no menos de 10 mediciones por cada turno de 8 horas.

3.3.2. RELACIÓN DE PRUEBAS AL CCR, EN ESTADO FRESCO

1.- Adecuación del laboratorio

2.- Muestreo

 Como obtener la muestra

 Precauciones que se deben tomar al transportar el CCR al Laboratorio

 Tratamiento al CCR en el Laboratorio

3.- Humedad

4.- Medición del tiempo VeBe

5.- Determinación del Contenido de Aire

6.- Calculo de la Densidad Máxima Teórica sin Aire

7.- Fabricación de Cilindros: Llenado, Escarificado, Acabado, Curado.

3.3.3 ADECUACIÓN

Se montarán moldes cilíndricos estratégicamente ubicados para que la elaboración de cilindros sea lo más rápido posible, así mismo se fijarán las bases para el llenado de la tina para medir el contenido de aire y el peso volumétrico del CCR en estado fresco.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

3.3.4. MUESTREO

Se planteará una serie de formas para obtener una muestra representativa de CCR en estado fresco, ya sea en la planta, bandas transportadoras, camiones, descarga en el cuerpo de la presa.

Siempre que se tome una muestra de CCR para cualquier actividad que se realice en el laboratorio hay que cubrir la muestra con mantas húmedas para protegerlo de la evaporación y reducir la segregación en el transporte.

Una vez que la muestra de CCR este en el laboratorio es necesario darle una remezclada, para asegurarnos que no quede ninguna zona de segregación y siempre mantener la pila de CCR lo mas bajo posible, evitando que se forme la típica pila cónica, posteriormente se deberá de cubrir con mantas húmedas para evitar la evaporación, siempre se deberá usar palas cuadradas, por ningún motivo se permitirá el uso de pala redondas. El piso donde se coloque el CCR en el Laboratorio debe de ser de una material rígido e impermeable, (concreto o acero), lo mas común es piso de concreto pulido.

3.3.5. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL CCR.

Una vez que se tenga la muestra representativa en el laboratorio se toma una muestra de aproximadamente 5 Kg. de CCR y se pondrá a secar en una charola metálica mediante una hornilla o en un horno a una temperatura constante de 100 ° C hasta que la muestra este seca. En el caso de usar la hornilla consideraremos seca la muestra cuando al acercar un espejo no se empañe, también se puede checar el peso de la muestra cuando tenga la apariencia seca, al transcurrir 10 minutos no se volverá a pesar, si este peso no varía se considera seca la muestra

3.3.6. MEDICIÓN DEL TIEMPO VEBE.

Una vez que se tenga la muestra representativa en el laboratorio se toma CCR con cucharones cuadrados y se va depositando en la tina, hasta que quede completamente llena, se enrasa con una regla plana sin generar ninguna presión al CCR, se coloca la masa sobre el CCR, que apenas roce el material, se enciende el VeBe al mismo tiempo que se suelte la masa. Se toma como tiempo VeBe, hay que cronometrar el tiempo se toma desde que se prende el aparato hasta que se forme un anillo de pasta en todo el perímetro de la tina.

EQUIPO:		A.- Se toma la muestra
•	Ve Be → Mesa vibradora,	B.- Se humedece la tina
tina		C.- Llenado de tina
•	Cronometro digital	D.- Enrasado
•	Cucharones cuadrados	E.- Encendido
		F.- Parado

- A. Se obtiene una muestra representativa de CCR (ya descrita anteriormente)
- B. La tina del VeBe se fija en la mesa vibradora y se humedece con un trapo
- C. Se llena con cucharones cuadrados, cubriendo el CCR que esta en el cucharón con la mano, para evitar que pierda humedad, y mas que todo para poder depositar el CCR en la tina sin que caiga segregado, todo el agregado grueso que quede pegado a la pares de la tina tiene que ser removido a mano o acomodado sin que este genere segregación.
- D. Se enrasa con una regla metálica sin aplicar presión cuidando de no generar bolsas de segregación ni hoyos con el agregado y todo aquel agregado que se que quede pegado a los bordes de la tina hay que retirarlo con la mano o acomodarlo de tal forma que no quede segregado.
- E. Se coloca la masa al ras del CCR, se libera la masa al mismo tiempo que es encendido el aparato y el tiempo se inicia a contar desde que es encendida.
- F. Se apaga la mesa vibratoria y el cronometro al momento que se forma un anillo de pasta en el perímetro de la tina. Este es el tiempo VeBe.

3.3.7. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE %

Una vez tomada la muestra representativa, se llena la tina con un cucharón cuadrado en tres capas de igual volumen compactado, durante un tiempo previamente determinado o el que el proyecto indique, una vez compactada la primer capa se tiene que escarificar en toda su área para asegurar la adherencia con la capa subsiguiente, de igual forma en la segunda capa. El enrasado se hace con una placa metálica adicionando pequeñas porciones de CCR cribado en la malla No 4, o con una mezcla de cemento y limo con una relación de 1:1. Una vez enrasada se siguen los pasos como lo indica la norma de ASTM C 231-97.

3.3.8. CALCULO DE LA DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA SIN AIRE (TAFD)

Se toma como base la norma de ASTM C 138/ C 138 M – 01. Se puede utilizar la tina que se utiliza para medir el aire, solo hay que conocer el volumen de la tina y una vez que se enrase se pesa antes de colocarle la tapa. Con ambos datos se calcula el peso volumétrico, una vez que se tenga en peso volumétrico y el contenido de aire de la mezcla se calcula el peso volumétrico suponiendo que no tenga aire atrapado. A continuación se presenta un ejemplo:

CALCULO DE DENSIDAD MAXIMA TEORICA SIN AIRE	EJEMPLO
1.-Peso de la tina (pt) grs. = 3480	1.- 3480 gr.
2.- Volumen de la tina (VT) cm ³ = 7090	2.- 7090 cm ³
3.- Peso del CCR + Peso de tina (pccr + pt) grs.	3.- 20660 grs.
4.- Peso del CCR (PCCR) grs. = (3) – (1)	4.- 20660 – 3480 = 17,180 gr.
5.- Peso volumétrico (pv) kg/m ³ = (4) / (2) x 1000	5.- 17180 / 7090 = 2.423 x 1000 = 2423 kg/m ³
6.- Aire (%)	6.- 1.4%
6 ₁ .- (6) (10)	6 ₁ .- 1.4 x 10 = 14
7.- Volumen de CCR en la tina = 1000 – (6 ₁)	7.- 1000 – 14 = 986
8.- Densidad máxima (dmax) kg/m ³ = (5) x 1000/(7)	8.- 2423 x 1000 / 986 = 2457 kg/m ³ . (Densidad máxima del día)
9.- 92% de la densidad máxima (92%) kg/m ³ = (8) x 0.92	9.- 2457 x 0.92 = 2260 kg/m ³ . (Densidad mínima especificada)
10. 96% de la densidad máxima (96%) kg/m ³ = (8) x 0.96	10. 2457 x 0.96 = 2359 kg/m ³ . (Densidad promedio mínima especificada)

FIG. 3.28

3.3.9. FABRICACIÓN DE CILINDROS

Una vez obtenido la muestra esta se debe homogenizar para evitar segregación. Debe colocarse en un lugar donde no este al contacto con los rayos del sol para evitar la evaporación, hay que cubrirla con una manta húmeda que la proteja del secado por la acción del aire. Inmediatamente hay que determinar su temperatura, humedad, tiempo VeBe y contenido de aire, estos datos son un complemento importante de información, que se obtendrá del ensaye de los cilindros.

Los cilindros deben estar previamente humedecidos, antes de iniciar con su elaboración. Los cilindros se fabricaran en tres capas con un tiempo de compactación por capa preestablecido.

3.3.10. PROCEDIMIENTO:

- 1.-Una vez colocado el PVC dentro del cilindro, se llenara el cilindro con CCR hasta una altura de 14 cm., cuidando que los agregados gruesos no se concentren en las orillas del cilindro, esta altura, una vez compactado el CCR formara la primera capa de CCR del cilindro.
- 2.-La compactación del CCR se hará por medio de un pistón neumático aplicando un tiempo de compactación de 15 seg.
- 3.-Compactada la primera capa de CCR se debe introducir un escarificador para escarificar la superficie con una aproximación de 2cm.
- 4.-Este procedimiento es el mismo para la segunda y tercer capa.
- 5.-El enrase del cilindro se hace por medio de una placa metálica la cual cortara el exceso de CCR, por la acción de un roto martillo que golpeará dicha placa.
- 6.-Ya terminados los cilindros se deben identificar con su fecha, tiempo VeBe y contenido de aire.

SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD

- Verificación de producción de agregados.
- Verificación de plantas premezcladoras.
- Conocimiento de especificaciones y normatividad.
- Verificación de calidad de los materiales (laboratorio) y de los procesos constructivos.
- Criterio para ajustes en sitio.



FIG. 3.29 SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD

4. APLICACIONES

El concreto compactado con rodillo se ha utilizado en la construcción de represas, patios de maniobra, caminos rurales de alto tránsito. Inicialmente la colocación se hacía con tractor de orugas o motoniveladora y la densificación con compactadora de rodillo, por esta circunstancia se le llamo de concreto compactado con rodillo.

Se pueden clasificar para el uso del concreto compactado con rodillo en tres grandes rubros: presas y otras grandes construcciones similares, trabajos de reparaciones rápidas y pavimentos. Se utiliza el mismo término para describir los tipos de uso de concreto sin embargo el diseño y los procesos de construcción son diferentes.

La tecnología de colocación ha evolucionado con el uso de pavimentadoras especializadas en las últimas décadas incrementando la utilización del concreto CCR a calles urbanas, caminos y carreteras, obteniendo superficiales de mayor calidad en la planicidad, rugosidad y acabado.

El CCR tiene una relación Agua/Cemento muy baja (concreto convencional $a/c=0.5$, CCR $a/c=0.33$ a 0.4) por lo que la consistencia del material es muy seca y las resistencias muy altas.

El CCR masivo por lo general se utiliza en varios elementos en donde se usaría concreto masivo convencional pero no puede aplicarse en elementos que requieren alguna cantidad apreciable de acero de refuerzo ya que existe dificultad para ahogar el acero, aunque se le ha utilizado en anclajes y sobre techos de galerías.

El uso del CCR requiere de una estructura con espacio suficiente para aplicar el equipo pesado del tipo de movimiento de tierra que se requiere para la compactación. Se pueden mencionar otras aplicaciones del CCR como; realce de presas, reparaciones de emergencia, protección de la coronación de presas en tierra y reparación del talud aguas abajo protección de las margenes de canales, pavimentos, pistas de aeropuertos y helipuertos, fundaciones masivas, ataguías. Otras aplicaciones de control de agua con CCR se utilizan como vertedores de emergencia o capas de protección para terraplenes de presas, revestimiento de baja permeabilidad para depósitos de decantación, protección de orillas y estructuras de control de nivel para canales y lechos de ríos.

4.1 UTILIZACION EN PRESAS

Las construcciones con esta tecnica por lo general son en las presas de gravedad, que basan su resistencia fundamentalmente por su propio peso, y las solicitaciones a las que esta sometida son principalmente las de resistencia tangencial frente al deslizamiento, además de su impermeabilidad con respecto al embalse que soporta.

4.1.1 USOS DE LAS PRESAS DE CCR

Se ha diversificado la utilización en los diferentes tipos de presas, hasta 1986 el 57% de las presas en CCR fueron construidas para abastecimiento, y desde entonces se han construido para diferentes usos:

Suministro de agua	26%
Control de avenidas	23%
Hidroeléctricas	22%
Riego	22%
Usos recreativos	2%
Recarga de acuíferos	2%
Navegación	2%
Control de contaminación	1%

FIG. 4.1 USOS DE LAS PRESAS DE CCR

El CCR se puede usar en toda la estructura de la presa o como una capa de protección sobre la sección superior y sobre la cara de bajamar. El tamaño máximo nominal del agregado puede llegar hasta 150 mm.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

La mezcla de revenimiento cero se produce en una central dosificadora de gran capacidad cerca de la obra. El contenido de cemento, normalmente es menor que el usado en una mezcla convencional, pero similar al del concreto masivo. Se han obtenido resistencias a compresión que varían de 70 a 320 kg/cm² en los concretos compactados con rodillos utilizados en presas.

El CCR se transporta generalmente en camiones y bandas transportadoras y el extendido con la máquina niveladora o bulldozer, seguido de la compactación con compactadores vibratorios. No se usan cimbras. En algunos proyectos la cara de contracorriente se reviste con un concreto convencional con aire incluido y resistencia más elevada o con paneles de concreto prefabricado, a fin de mejorar la durabilidad.

Las presas de CCR tienen la ventaja de permitir declives mayores en ambas caras que una presa con relleno de tierra. Además de usar menos material, se puede completar y colocar la presa en servicio más rápido, normalmente con ahorros significativos en el costo total si comparadas con las estructuras con relleno de tierra.

En la mayoría de los proyectos que se están materializando en el mundo se prevé la colocación de un concreto convencional, impermeable y resistente a la acción de las heladas, en el paramento de aguas arriba y a menudo, también, en el paramento de aguas abajo. En algunos casos se han utilizado elementos premoldeados en el paramento de aguas arriba. Otra alternativa es cubrir con una membrana impermeable ese paramento.

Para la compactación se han usado rodillos vibratorios compuestos por un tambor vibrador y ruedas neumáticas y también rodillos tándem vibratorios. Este tipo de presa, comparada con otras convencionales, establece importantes reducciones de costo.

Sin embargo, el concreto compactado puede integrarse en la estructura de la presa de otras formas, tales como la siguientes: refuerzo y/o crecimiento de una presa existente, refuerzo aguas abajo de presas de materiales sueltos inseguras, o bien para permitir su desbordamiento, cimentación de presas de fábrica,- relleno de cavidades formadas en las presas de materiales sueltos o en el terreno por vertidos o desbordamientos,- rellenos para apoyo de estructuras de presas (por ejemplo, desagües).

4.1.2 REPARACIONES RÁPIDAS

El concreto compactado con rodillo, por sus características, permite la colocación de grandes volúmenes en corto tiempo, circunstancia que lo hace especialmente apto para recuperaciones que deben realizarse en estas condiciones. En algunos casos constituye la única solución posible.

La reparación de los daños producidos por el colapso de un túnel en la presa de Tarbella, en Pakistán, es un caso bien ilustrativo de lo expuesto. La reparación demandó la colocación de aproximadamente 750.000 m³ de concreto en el lapso improrrogable de 42 días anteriores a las esperadas precipitaciones de primavera. El trabajo fue realizado exitosamente, tanto desde el punto de vista técnico, como del cumplimiento del plazo de obra fijado, colocándose hasta 18.000 m³ diarios de concreto.

Otras reparaciones realizadas en esta presa hicieron que el volumen total del concreto compactado con rodillo alcanzará a 2.5 millones de m³, lo que constituye, ciertamente, un récord mundial de su utilización.

Otro ejemplo: después de una inesperada erupción volcánica en los Estado Unidos de América, en mayo de 1980, el concreto compactado con rodillo ofreció la única solución para reparar una presa y evitar el derrame incontrolado del agua del embalse. Un total de 13.000 m³ de concreto fue colocado en cinco días de trabajo ininterrumpido de 24 horas por día.

4.1.3 ATAGUÍAS DE CCR

Una proporción importante de presas de CCR tienen también ataguías de CCR. En el proyecto de la presa de Beni Haroun (Argelia), con una altura de 121 m y un volumen de CCR de un millón 690 mil m³, ha dado un paso hacia delante el concepto de la ataguía (altura = 35 m, volumen de CCR = 220 mil m³) ha sido incluida dentro de la base del paramento aguas arriba de la presa. Ello ha resultado muy beneficioso, a causa de la frecuencia relativamente alta de inundaciones.

4.1.4 EL USO DEL CCR EN LA CONSERVACIÓN DE PRESAS DE TIERRA

El Concreto Compactado con Rodillo es la tecnología preferida para mejorar las Presas de Tierra hidráulicamente deficientes. En estos últimos años, el Concreto Compactado con Rodillo se ha usado intensivamente para incrementar la capacidad del vertedero y mejorar la seguridad de las presas de tierra.

Una insuficiente capacidad del vertedero puede conducir a un desborde, dando como resultado una erosión seria y una posible falla de una presa de tierra sin protección. La colocación de CCR sobre el coronamiento y en el talud de aguas abajo del dique provee suficiente peso y durabilidad para resistir cualquier remoción y erosión. Un recubrimiento del talud aguas abajo, con CCR, generalmente puede ser llevado a cabo sin reducir la altura de la reserva.

Hasta la fecha, el CCR ha sido usado para aumentar la capacidad de los vertederos de 41 presas en 18 estados de los Estados Unidos que ha tenido una aceptación generalizada de esta solución .

En muchos casos, el recubrimiento de CCR sirve como desgaste principal y de emergencia. El bajo costo de CCR, su método constructivo relativamente simple y su probado comportamiento, lo convierten en la elección preferida para mejorar presas de tierra hidráulicamente deficientes.

4.1.5 PAVIMENTOS DE CCR

El uso del CCR en pavimentos varía desde pavimentos con espesor de un metro para la industria de minería hasta calles de ciudades, superficies pavimentadas de instalaciones de manejo de abono, aserraderos, pistas de rodamiento de camiones y pisos de almacenes.

En los EE.UU. se usan normalmente concretos de 200 kg de cemento y 100 kg de cenizas volantes por metro cúbico, con una relación agua-cemento de 0,30, tamaño máximo de agregados de 20 mm, alcanzándose resistencias de hasta 40 MPa.

Los procedimientos para la construcción de un pavimento de CCR requiere un control más rígido que en la construcción de presas (Arnold y Zamensky 2000).

El contenido de cemento es similar al concreto convencional y varía de 300 a 360 kg/m³ y la resistencia a compresión es cerca de 280 a 420 kg/cm².

El tamaño máximo nominal del agregado se limita a 19 mm . para proveer una superficie suave y densa. Para texturas superficiales aún mejores, se recomienda un tamaño máximo del agregado de 16 mm. La mezcla de revenimiento cero se produce normalmente en una mezcladora de flujo continuo con una tasa de producción de 400 toneladas por hora. Es posible mezclar el CCR en una central dosificadora, pero la planta se debe dedicar exclusivamente a la producción del CCR, pues el material tiende a adherirse dentro del tambor.

Las especificaciones normalmente requieren que se transporte y se compacte la mezcla en un periodo de 60 minutos del inicio del mezclado, a pesar de que las condiciones ambientales pueden aumentar o disminuir este periodo.

El CCR se coloca normalmente en capas con espesor de 125 a 250 mm. usando una máquina de pavimentación del tipo empleado para asfalto. Los equipos de pavimentación de alta densidad son preferibles para capas más espesas que 150 mm. pues la necesidad de compactación adicional con rodillos se reduce. Donde el diseño requiera un espesor mayor que 250 mm. el CCR se debe colocar en capas múltiples.

En este tipo de construcción, es importante que haya un retraso mínimo en la colocación de capas subsecuentes, a fin de asegurarse una buena adherencia entre las capas.

Después de su colocación, el CCR se puede compactar con una combinación de rodillos vibratorios de llantas de acero y de llantas de caucho.

El curado es de vital importancia en la construcción de pavimentos con CCR. La relación agua-cemento muy baja en la etapa inicial de mezclado significa que el CCR se secará muy rápidamente después de su colocación. Se recomienda el curado continuo con agua, a pesar que el rociado de emulsiones asfálticas, láminas de plástico y compuestos de curado de concreto han sido usados en algunos casos. Los proyectos de pavimentos tienen resistencia a compresión de diseño de cerca de 360 kg/cm² con resistencias en el campo que varían de 360 a 715 kg/cm² (Hansen 1987).

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El concreto de alta resistencia compactado con rodillo usado en áreas sujetas a impactos elevados y altas cargas abrasivas fue desarrollado a mitad de los años 90. Las mezclas se basan en la obtención de un empaquetamiento óptimo de las partículas de agregados de varios tamaños y la adición de humo de sílice a la mezcla (Marchand y otros 1997 y Reid y otros 1998).

El ACI trata del Concreto Compactado con Rodillos en dos guías – ACI 207.5 Concreto masivo compactado con rodillos que trata de estructuras de control de agua (Roller Compacted Mass Concrete) y ACI 325.10 Pavimentos de concreto compactado con rodillos que cubre los nuevos desarrollos de pavimentos de CCR (Roller Compacted Concrete Pavements). Holderbaum y Schweiger (2000) proveen una guía para el desarrollo de especificaciones y comentarios de CCR.

El pavimento de CCR es en particular aplicable a los pavimentos de servicio pesado y, en estas aplicaciones, se comportan tan bien como los pavimentos de concreto convencional. Aun cuando el pavimento de CCR se puede construir con tolerancias superficiales tan estrechas como las aplicadas para el de concreto convencional, no ha recibido mucho uso hasta la fecha para las áreas de tráfico de alta velocidad. La ventaja principal del pavimento de CCR es el costo más bajo. La experiencia ha demostrado que se pueden construir los pavimentos de CCR con un ahorro del 15 al 30% sobre los pavimentos similares de concreto convencional. En donde fue posible hacer la comparación, el pavimento de CCR ha demostrado ser competitivo con el diseño de pavimento de asfalto, con los mismos requisitos de resistencia.



FIG. 4.6 PROYECTO: PAQUETE II, COLOCACION Y COMPACTACION INICIAL DE LA MEZCLA CCR, UTILIZANDO MAQUINA PAVIMENTADORA



FIG. 4.7 MOVIMIENTO EN CONJUNTO DE LA MAQUINARIA PARA LA COLOCACION DE LA MEZCLA DE CCR

4.1.6 BACHEO DE VÍAS UTILIZANDO CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

La utilización de Concreto Compactado con Rodillo vibratorio par bacheo es otra opción para estos trabajos que por lo general se realizan con asfalto.

El CCR para bacheo vial combina las cualidades del concreto convencional y la facilidad de construcción y la apertura al tránsito temprana de los materiales asfálticos. Se produce en mezcladoras para concreto a temperatura ambiente, se transporta en carretillas o cargadores pequeños (back hoe); se coloca con palas y rastrillos; se densifica con rodillos vibratorios o planchas vibratorias y se “cura” con agua, emulsión asfáltica o compuesto de curado.

4.1.7 DISEÑO DE LA MEZCLA PARA BACHEO

La mezcla para bacheo de CCR debe ser lo suficientemente seca para soportar el equipo de compactación, pero a su vez suficientemente húmeda para permitir una adecuada distribución de la pasta.

El método para proporciona las características propias del CCR más utilizado es el método de compactación de suelos que determina el contenido óptimo de humedad de la mezcla de agregados y cemento, moldeando especímenes que son compactados en un molde estándar para cilindros de concreto, utilizando un martillo vibratorio, sobre un rango de humedades amplio, que permita determinar la humedad que produce la mayor densidad seca del material.

Con la humedad determinada, se moldean, especímenes con diferente cantidad de cemento, para determinar aquella que provee la resistencia especificada.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Es recomendable preparar el concreto en mezcladora, aunque se permite manualmente en casos de urgentes. Para evitar que pierda humedad rápidamente, debe ser usada en un tiempo máximo de una hora, luego de preparada.

4.1.8 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL BACHE

El diseño del espesor debe de soportar los esfuerzos inducidos por el tráfico sin agrietarse prematuramente o quebrarse, se debe hacer una estimación de este de acuerdo con:

- 1.- La capacidad de soporte de la capa de apoyo.
- 2.- La cantidad y distribución del tránsito proyectado.
- 3.- Las características del CCR. (Esfuerzo admisible y comportamiento a la fatiga)
- 4.- Las condiciones ambientales y de drenaje.

Una forma practica de calculo se muestra a continuación una tabla tomada del Manual ICCYC para bacheo con CCR, en la que a la capa de apoyo, se le ha asignado un módulo de reacción (k) de 4.43 kg/cm³, calculado a partir de un valor del CBR de un 15% mínimo en dicho material, compactado a un 95% de la densidad máxima según AASHTO T180. Al concreto se le ha asignado un MR de 40 kg/cm², un módulo de elasticidad de 271.250 kg/cm², y un coeficiente de Poisson de 0.15.

Se debe conocer el tránsito de la vía que se pretende reparar, ya sea estimando el tránsito promedio diario de camiones pesados, autobuses, o efectuando un conteo vehicular en hora y día promedio, y clasificar la información obtenida de acuerdo con los rangos definidos en la tabla 4.8.1.

4.1.9 REPARACIÓN DE LOS BACHES

Una vez se cuente con la identificación de los sitios a reparar, el diseño de mezcla que se va a utilizar y la selección de la estructura de pavimento a colocar, se procede a reparar los baches, en un proceso que se desarrolla en seis pasos consecutivos:

1. Marcar la zona a reparar.
2. Excavar hasta la profundidad del espesor diseñado de concreto y hasta encontrar material adecuado y seco, recortar las paredes de forma vertical conformando el fondo plano y horizontal, se compacta hasta alcanzar el 95% de la densidad máxima, de acuerdo con AASHTO T180.
3. Transporte y colocación del concreto. Dependiendo del volumen, el transporte desde la mezcladora, se realiza en carretillos, cargadores pequeños o plantas móviles. Se deben tomar precauciones contra la pérdida de humedad y para la correcta descarga en el bache.
4. Compactación de la mezcla. utilizar preferiblemente un rodillo liso vibratorio manual de 2 a 5 toneladas.
5. Curado y acabado final. Hay que proporcionarle a la mezcla de concreto las condiciones de curado para un adecuado desarrollo de resistencia. utilizando una película o membrana de emulsión asfáltica diluida en agua y sobre ella, distribuir una película delgada (3 mm máx.) de arena fina y seca en el total de la superficie del concreto.
6. Apertura al tránsito. La apertura al tránsito puede realizarse inmediatamente después de terminados los trabajos de acabado y curado de la mezcla de concreto.

Es importante realizar un control de calidad integral, que incluya la mezcla de concreto, la densidad en campo, los espesores y el acabado final.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG. 4.8 BACHEO EN VIAS CON CCR

Categoría de tránsito	Características generales de la vía	Tránsito de proyecto (camiones y buses diarios en la vía a reparar)	Espesor del concreto a colocar (cm)
T1	Calles arteriales o principales	50 a 400	16
T2	Calles muy comerciales, con más de 1 autobús por hora.	30 a 48	14
T3	Calles comerciales, con menos de 1 autobús por hora)	10 a 28	12
T4	Calles exclusivamente residenciales, con las edificaciones ya construidas y sin tránsito comercial.	0 a 8	10

FIG. 4.8.1 TABLA DE ESPESORES DE PAVIMENTO

4.1.10 CONCLUSIONES

- 1.- El CCR es sin duda una alternativa de bacheo vial, resistente, durable y económico.
- 2.- Combina las fortalezas de los pavimentos de concreto convencionales, con la facilidad de construcción y la apertura al tránsito temprana de los pavimentos asfálticos.
- 3.- Permite realizar las labores de bacheo con herramientas simples, asequibles, a temperatura ambiente y con materiales locales.
- 4.- La técnica del CCR está completamente desarrollada y ha probado ser una excelente alternativa para la rehabilitación de calles, caminos y carreteras.



FIG. 4.9 OTRAS APLICACIONES PUEDEN SER ESTANQUES PARA CRIADERO DE CAMARONES, A BASE DE CONSTRUCCION DE CCR.

4.2 PROCESOS CONSTRUCTIVOS

4.2.1. INTRODUCCION

El CCR tiene características similares al concreto convencional en su comportamiento estructural y apariencia, pero con diferencias en las características de la mezcla, fabricación y colocación. El proceso constructivo busca altos rendimientos, esto conduce a diseñar una mezcla con bajos calores de hidratación y que a pesar de los altos volúmenes de colocación sea controlado el fisuramiento posterior del concreto, para esto se exige un diseño de mezcla de bajos contenidos de cemento y consistencias secas, así como la inclusión de materiales cementantes de lenta generación de resistencia y calor, principalmente las puzolanas. En su fabricación es usual el enfriamiento previo del agua y de los agregados. Su transporte y colocación se hace con los equipos convencionales para los movimientos de tierra.

La construcción de una presa de CCR se realiza mediante un proceso continuo en línea, sin interferencias ya que al en alguna de las actividades que lo componen, implica la paralización del proceso, y la generación de grandes costos indirectos. Es por esta razón que se debe realizar una planeación detallada de cada una de las actividades que componen el proceso de construcción. Teniendo especial cuidado en la logística, equipos de producción de agregados y en el suministro de cemento.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

La producción de agregados debe ser lo suficientemente grande para que no afecte la alta tasa de colocación del CCR. De esta forma, el dimensionamiento de la planta de trituración de agregados se convierte en uno de los puntos claves del proceso de construcción de la presa. Igualmente, el suministro de cemento debe ser realizado a una tasa tal que garantice la colocación continua del CCR



FIG. 4.10 EN LA PRESA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO MIEL-I EN COLOMBIA, LA COLOCACIÓN MENSUAL PROGRAMADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA, EQUIVALE AL 45% DEL VOLUMEN MENSUAL DE CONCRETO MEZCLADO EN PLANTA CONSUMIDO EN EL PAÍS, Y EL VOLUMEN TOTAL CONSUMIDO POR LA PRESA SERÁ IGUAL AL CONSUMO NACIONAL DE CONCRETO PRODUCIDO EN PLANTA EN UN AÑO.

Para el CCR es posible emplear tanto para el transporte, la colocación y la compactación del concreto los métodos usados habitualmente para el movimiento de tierras, lo que, unido a métodos potentes de fabricación, como son los de producción continua de concreto, deriva en la obtención de muy altos rendimientos de construcción muy superiores a las obtenidas en el Concreto convencional, permitiendo construir presas de gravedad en tiempos relativamente cortos. Esta característica es la principal ventaja de esta tecnología.

A diferencia de otro tipo de estructuras y/o presas, los métodos y equipos utilizados en la construcción de presas de CCR, tienen una gran influencia en su comportamiento estructural y térmico y en la estabilidad de la presa. La formulación y evaluación de proyecto, planeación, logística y la comunicación de los participantes en la realización de presas de CCR, es esencial para el progreso y conclusión de la obra. El proceso constructivo normalmente considera las siguientes etapas:

- 1.-Producción de agregado y localización de planta.
- 2.-Fabricación mediante equipos de producción continúa.
- 3 –Proporcionamiento y mezclado.
- 4.-Transporte mediante camiones tolva, traíllas, bandas transportadoras o similares.
- 5.-Esparcido mediante Bull-Dozer en capas de 20 a 40 cm de espesor o según las especificaciones del diseño.
- 6.-Compactación mediante rodillo vibratorio de peso estático de diez toneladas.
- 7.-Terminación superficial, cuando corresponde, mediante rodillos de neumáticos.
- 8-Juntas de capas.
- 9-Juntas de contracción.
- 10-Curados y protección contra el clima.
- 11-Galerías y drenaje.

La metodología señalada ha hecho al CCR especialmente apto para su empleo en obras masivas, como son las presas gravitacionales y los pavimentos, en las cuales con el desarrollo de procedimientos específicos de diseño y de construcción se ha logrado un uso muy intensivo en este tipo de aplicaciones.



FIG. 4.11 EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DEL CONCRETO Y DE LAS BANDAS A UTILIZAR EN EL TRANSPORTE DEL CCR, TIENEN UNA GRAN INFLUENCIA SOBRE LA TASA DE COLOCACIÓN DEL CCR Y ESTA A SU VEZ SOBRE EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA PRESA Y SOBRE LAS CONDICIONES DE ADHERENCIA ENTRE CAPAS HORIZONTALES.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El CCR se transporta extiende coloca y compacta en el sitio de la obra empleando camiones y motoniveladoras y se compacta con los equipos tradicionales para los trabajos con tierra ó con asfalto. Esto significa que se logran rendimientos propios de los movimientos de tierra y que requiere dosis de cementos muy bajas. Compactadas mediante rodillos o placas vibratorias, las mezclas alcanzan densidades mayores a las de un concreto vibrado tradicional.

Mientras que el concreto convencional tiene agua suficiente para hacerlo fluido y puede ser colocado dentro de las cimbras y consolidado con vibradores de inmersión, el CCR por su poco contenido de agua, está en capacidad de soportar los equipos de compactación inmediatamente se descargue el concreto. Así, su contenido de humedad se debe definir con precisión para permitir la acción de los compactadores y alcanzar la densidad deseada en el CCR. Los equipos utilizados son de rodillos vibratorios y algunos compactadores de placa para los sitios más pequeños.



FIG. 4.12 ES RECOMENDABLE CONSIDERAR CONCRETO CONVENCIONAL, VIBRADO DE LA MANERA USUAL, EN TODOS LOS LUGARES EN QUE NO PUEDE LLEGAR LA COMPACTACION CON RODILLO, Y ES SUMAMENTE IMPORTANTE LA INTEGRACION INTIMA DE ESTE CONCRETO CON EL CCR DE LA CONSTRUCCION GENERAL

Un requisito indispensable es que la fabricación y colocación se realice de manera continua, para evitar la formación de juntas entre coladas, que lo debilitarían y podrían crear zonas de filtración.



FIG. 4.13 CON EL FIN DE EVITAR LA CREACIÓN DE JUNTAS FRÍAS ENTRE CAPAS SUCESIVAS, SE DEBE EMPLEAR UN RETARDANTE DE FRAGUADO. PARA EVITAR EL EXCESIVO CALOR DE HIDRATACIÓN Y LA POSTERIOR APARICIÓN DE FISURAS EN SUPERFICIE, LOS CONTENIDOS DE CEMENTO DE ESTOS CONCRETOS SON MÁS BAJOS QUE LO USUAL, POR LO QUE ES NECESARIO, EN ALGUNOS CASOS, EL EMPLEO DE MÉTODOS DE REFRIGERACIÓN O ENFRIAMIENTO.

Debido a que durante el proceso de ganancia de resistencia los conglomerantes hidráulicos desarrollan procesos exotérmicos, es necesario que los elementos empleados en la dosificación del CCR sean de bajo calor de hidratación.

En paralelo con la creciente confianza que ha generado la técnica del concreto compactado con rodillo (CCR), ha habido cierto número de innovaciones que están aumentando la sencillez y la economía para la construcción de presas. Todo ello se traduce en que cada vez más países utilizan dicha técnica.

Por lo anterior, resulta muy atractiva la idea de una presa de CCR en la que sólo se necesite un tipo de concreto, de manera que pueda ser colocado directamente contra la cimbra, tanto en el paramento aguas arriba como en el de aguas abajo (y en una situación ideal también contra los estribos, aunque ello es improbable a menos que éstos sean muy suaves).

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Un ejemplo es la presa de El Atance, en España, con una altura de 45 m y un volumen de CCR de 70 mil M3 . En esta presa sólo se utilizó CCR, y tanto el paramento aguas arriba como el de aguas abajo se construyeron con CCR compactado directamente contra los cimbrados, al igual que las paredes de la galería perimetral de inspección.



FIG. 4.14 PARA DAR CONTINUIDAD A LAS OBRAS SE TRABAJÓ EN TURNOS DE DÍA Y NOCHE, SIN PARADAS DURANTE LOS FINES DE SEMANA, REDUCIENDO AL MÍNIMO IMPRESCINDIBLE EL NÚMERO DE JUNTAS FRÍAS.
PRESA EL ATANCE .ESPAÑA

Dada la sencillez del método de construcción fue posible completar la colocación del CCR en menos de dos meses. El colado en concreto del cuerpo de la presa se planteó considerando a ésta como un solo bloque, sin juntas constructivas, ejecutándola de ladera a ladera en todo momento.

Un enfoque similar fue el seguido en Wenquanpu, aunque en esta presa se dispuso una geomembrana como protección adicional, mientras que en El Atance se consideró que el CCR era por si mismo suficientemente impermeable.

La adherencia entre capas se convierte en un aspecto crítico del diseño y en una de las características que mayor problema ocasiona durante la construcción de una presa de CCR.

Para una presa de CCR de calidad se requiere algunos aspectos como:

1.-Un diseño simple que permita construir la presa rápidamente, lo que además se traduce en calidad y economía se debe proyectar con el mínimo de obstáculos para la colocación del concreto. Esto es más difícil que proyectar una presa más complicada.

2. Una mezcla cohesiva que no se segregue durante el transporte, extensión o compactación. Por otra parte, si el CCR es cohesivo, los métodos de transporte y extensión se simplificarán y mejoraran la calidad y economía.

3.- Una metodología de construcción optimizada: el método de construcción de una presa de CCR es lineal, y si se produce un fallo en cualquier punto de esta línea, desde la producción y acopio de los agregados, pasando por el eventual enfriamiento de los mismos y la fabricación del concreto, el transporte de este último a la presa, el transporte sobre la presa, la extensión, la compactación, el curado etc., la colocación del CCR puede detenerse.

Muy pocas presas de CCR se han construido hasta la fecha sin que se hayan presentado puntos débiles en algún punto de la línea de producción.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

4.2.2. FABRICACION

El CCR se dosifica y mezcla en la misma forma que un concreto convencional pero con muy poco agua, entregando una apariencia de gravas húmedas durante el transporte, descarga y compactación.



FIG. 4.15 EJEMPLO DE PLANTA DE CONCRETO QUE TIENE UNA TASA DE PRODUCCIÓN TOTAL DE 600 M³/H CONFORMADA POR CUATRO MEZCLADORAS DE BACHADA INDEPENDIENTES CADA UNA CON VOLUMEN DE 2,67 M³, CADA UNA DE ELLAS ENTREGA MEDIANTE UNA PEQUEÑA BANDA REVERSIBLE, HACIA VOLQUETAS O HACIA LA BANDA EXTRACTORA DEL SISTEMA. LA BANDA EXTRACTORA LLEVA EL MATERIAL QUE RECIBE DESDE LAS CUATRO MEZCLADORAS Y LO ENTREGA EN UNA TOLVA CON CAPACIDAD DE 35 M³, QUE A SU VEZ ENTREGA A LA BANDA METERING UN CAUDAL UNIFORME, REGULADO MEDIANTE UNA COMPUERTA. PLANTA PUG MILL.

4.2.2.1. PRODUCCION DE AGREGADOS Y LOCALIZACION DE LA PLANTA.

El almacenamiento del agregado en pilas y la localización de concreto en el CCR, es aun más importante que para un concreto convencional. Usualmente, grandes pilas de agregados están disponibles antes de comenzar con la colocación del CCR. Algunas razones para esto son:

- 1.-Control de temperatura, producción de agregados durante el invierno para que puedan almacenarse fríos para su uso posterior.
- 2.-Velocidad de colocación rápida. La velocidad en el uso de agregado durante la colocación del CCR puede exceder la capacidad de producción de una planta de agregados. Las grandes pilas de agregados también tienen la ventaja de contenidos de humedad más estables, lo cual reduce las variaciones en la consistencia del CCR.
- 3.-La localización y configuración de las pilas, así como los medios de incorporar y retirar agregados de las pilas debe ser coordinado con la localización de la planta de CCR y el método de alimentarla para minimizar la segregación y la variabilidad.
- 4.-La distribución de los equipos y ubicación de la planta de CCR serán solucionados para minimizar los requerimientos de energía y ser apropiados para el terreno donde el CCR es transportado con equipos o vehículos de transporte según la necesidad del proyecto.

4.2.2.2. PLANTAS DE PRODUCCIÓN DEL CONCRETO

La planta para producción del concreto es un elemento clave para la calidad de la obra y el cumplimiento del programa de trabajo.

4.2.2.3. MEZCLADO DE CCR

Los elementos del control de producción para el colado de concreto masivo como la velocidad de colocación hasta el rendimiento de la planta de concreto cambia completamente en el CCR.

En la planta mezcladora común se requiere aproximadamente de cuatro mezcladoras de 90 m³. Para satisfacer el rendimiento de compactación continua de un rodillo vibrador grande.

Las mezcladoras para CCR deben cumplir con dos funciones básicas: mezclar todos los ingredientes, y el rendimiento para las velocidades de colocación de altas, típicos en los CCR. Que oscilan entre 76 m³/h para proyectos pequeños, 190 a mas de 380 m³/h para proyectos medios, y de 570 a mas de 760 m³/h para proyectos grandes. Es factible usar mezcladoras individuales para incrementar la producción, estas deberán operar con mínimos o sin tiempos muertos.

Existen dos métodos para la producción del CCR; Métodos de mezclado intermitente con mezclador de tambor y Métodos de mezclado continuo.

4.2.2.4. MEZCLADO INTERMITENTE CON MEZCLADORA DE TAMBOR.

Son eficaces las plantas convencionales del tipo intermitente y mezcladoras de tambor sin embargo la producción es mas baja por volumen, son sensibles en la secuencia de carga, descarga lenta y acumulación de mezcla en la tolva.

Los factores para la minimización de los tiempos de mezclado y fabricación, son la secuencia adecuada y la velocidad de alimentación de los agregados y materiales cementantes, al momento de colocarlos en la mezcladora. Tanto para operaciones de mezcladoras intermitentes del tipo de tambor, como para mezcladoras continuas.

Los camiones mezcladores y las plantas intermitentes móviles no son recomendables solo en casos para aplicaciones de volúmenes pequeños con mezclas con contenidos de material cementante relativamente altos, y TMNA limitado a aproximadamente de 25mm, Aun con este tipo de mezcla se pueden anticipar descargas lentas.

Las revolvedoras con capacidad de mezclar tamaños máximos de agregados de 3 “ y 6 “ pueden mezclar la consistencia sin revenimiento y los volumen superiores de agregados del CCR aunque se puede requerir mayor tiempo de mezclado que en concreto común.

Es mejor comenzar con una mezcla demasiado húmeda para conseguir una adherencia adecuada y disminuir en las mezclas posteriores hasta lograr la consistencia deseada.



FIG. 4.16 MEZCLADOR DE TAMBOR

4.2.2.5. MEZCLADORAS CONTINUAS

Utilizadas para la producción de grandes volúmenes de concreto, tales como pavimentación y cuando los requisitos de productividad del proyecto exigen grandes volúmenes como el caso de las Presas.

Las principales ventajas de esta planta son la eliminación de la etapa de mezclado del ciclo de producción y el costo considerablemente mas bajo de la planta en relación con la capacidad de producción. Estos son dos factores primordiales cuando se consideran los requisitos de productividad de los proyectos importantes, en los que el uso de CCR permite el colado de grandes volúmenes de concreto en periodos cortos.

Es de suma importancia el control del tamaño de los agregados para este tipo de plantas, las mezcladoras continuas diseñadas adecuadamente han manejado mezclas con TMNA de 3 “y mas grandes, es recomendable que el material mas grande que 2 “no excederá el 8%, y el tamaño máximo no excederá a 4”. Las mezcladoras continuas de tambor se han usado con éxito con TMNA de 6”.

La alimentación del cemento y la puzolana es importante con las plantas de mezclado continuo. Esto es especialmente cierto en las velocidades de alimentación de materiales cementantes mas bajos. Manteniendo suficiente carga en los silos usando aireadores, alimentadores de paleta, o bombas alimentadoras con desplazamiento positivos, ha proporcionado alimentación de materiales cementantes precisos. Bandas pesadoras pueden proporcionar mediciones precisas de cemento, puzolanas y agregados para plantas de mezclado continuo.

En general es preferible utilizar equipos de dosificación automatizados y mezcladoras de mezclado continuo, para obtener un material que se acerque a una razonable homogeneidad en toda la obra. Por eso, y por la menor posibilidad de segregación, es mejor pensar en revolvedoras o mezcladoras de caja, tipo batidora, que en las de trompo o tambor. Los requisitos de mezclado para el CCR pueden ser tan variados como su aplicación lo permita.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

4.2.2.6. CAMIONES MEZCLADORES COMUNES

No son recomendables para mezclado ni transporte de CCR, a causa de los problemas de segregación anticipados durante el ciclo de descarga.

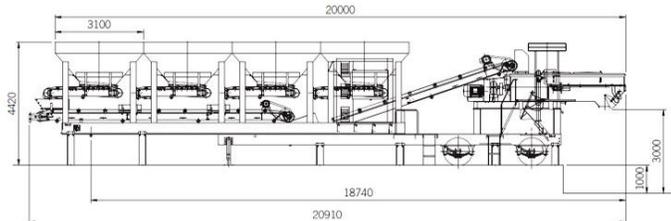


FIG. 4.17 PLANTA DE CCR TEREX , PRODUCCIÓN DE 150 A 600 TON/H, MEZCLADOR DOBLE (PUG MILL)



FIG. 4.18 LAS PLANTAS DE CONCRETO COMPACTADO ASTEC INCORPORAN FUNCIONES AVANZADAS QUE INCLUYEN PUENTES DE PESAJE, UN MEZCLADOR CON DOS EJES Y UN SILO AUTOEREGIBLE QUE LE AYUDAN A GESTIONAR UNA PRODUCCIÓN RENTABLE



FIG.4.19 EJEMPLO DE CENTRAL GRAVIMETRICA DE CCR. UTILIZADA EN CAÑA BRAVA, BRASIL

4.2.2.7. PLANTA PUG MILL

Planta elaboradora de concreto CCR. Sistema de alineación de agregados para cuatro productos, compuesta de cuatro tolvas con capacidad cada una de 25 ton. Las plantas se pueden proveer con dosificadores dobles, triples o cuádruples en la versión fija, y triples en la versión móvil. Las tolvas poseen dimensiones compatibles con la producción de la planta y con la concha de la paleta cargadora necesaria para su carga. Su volumen de almacenaje fue proyectado para garantizar una dosificación continua y precisa. El cliente dispone todavía de diversos opcionales que aumentan la precisión de pesaje, la facilidad de control y la cantidad de mezclas que la planta es capaz de realizar.

4.2.3. TRANSPORTE

La mayoría del equipo y procedimientos recomendados por el ACI 304-14 para el transporte y colocación del concreto convencional también aplican al CCR, pero la incapacidad de fluidez del CCR posibilita un rango más amplio de equipo para transporte y colado de este material. Aunque la poca capacidad de flujo del CCR hace necesario establecer procedimientos especiales de manejo para impedir la ocurrencia de segregación importante, parece haber posibilidades reales de ahorro considerable, especialmente en el transporte y colado del CCR para estructuras grandes.

4.2.3.1. SELECCIÓN DE EQUIPO

El CCR usualmente se transporta por vehículos, equipos transportadores, o una combinación de ambos, y los factores para la selección del equipo y los procedimientos para el transporte del CCR desde la ubicación del equipo al área de colocación son el volumen de material a colocar, el acceso al área de colocación disponibilidad de equipo para rentar, costo de la inversión para equipo nuevo y parámetros de diseño. Así también es de suma importancia el tamaño máximo del agregado y la tendencia de la mezcla a segregarse son factores importantes en la selección del equipo usado para transportar el CCR desde la planta de mezclado al área de colocación.

A medida que las presas de CCR aumentan de tamaño, el ritmo al que debe colocarse el CCR va creciendo igualmente. Los ritmos medios diarios por encima de 10 mil M3 han sido y son habituales en algunas de las grandes presas de CCR más recientes. La producción de agregados, el suministro de conglomerantes, el mezclado del concreto y el transporte del CCR hasta el punto de puesta en obra son todos puntos débiles potenciales en la cadena de construcción. El área donde actualmente se están realizando más innovaciones parece ser el transporte del concreto.

Se han aplicado varios métodos diferentes satisfactorios para transportar el CCR masivo desde las revolventoras hasta el sitio del colado. Sin importar el sistema que se use, debe tener capacidad suficiente para soportar las necesidades del proyecto. Para el transporte de mezclas secas es común usar camiones de volteo, pero en cualquier caso conviene estudiar la posibilidad de utilizar bandas, que Proporcionen ventajas de rapidez, de continuidad y flexibilidad en el transporte de materiales a cualquier parte de la obra en construcción. Las mezclas secas admiten fácilmente el paso de los camiones sobre ellas sin deformación, pero hay que tener cuidados especiales con las mas húmedas.

4.2.3.2. METODOS DE TRANSPORTE

Los dos métodos de transporte de CCR son los equipos transportadores con bandas y los vehículos transportadores. Los equipos ideales para presas son los de transportación continua desde la planta hasta la colocación masiva de CCR.



FIG 4.19.1
LOS PROBLEMAS POTENCIALES COMUNES EN EL EQUIPO DE TRANSPORTE PARA EL CCR SON:
1.-Transporte obstaculizado
2.-Segregacion sobre los rodillos
3.- Bandas lentas, no capaces de arrancar o parar una banda cargada
4.-Secado
5.-Perdidad de pasta
6.- Contaminación de la capa superficial del CCR

El total desarrollo del potencial económico del CCR también depende del mantenimiento adecuado de las pilas de almacenamiento de materias primas para conservar las altas velocidades de mezclado y colado continuo.

Un factor importante es el tiempo de exposición del material sobre los equipos transportadores que debe estar entre 5 a 10 min. Las bandas transportadoras viajan aproximadamente de 3 a 9 m /seg. Para proteger la mezcla del secado y de la lluvia es necesario tener cubiertas de lonas o similar, sobretodo para todas las secciones largas y, preferiblemente, para el sistema completo

Sin una banda transportadora, la productividad decrece a velocidades muy bajas en secciones angostas, como los de la parte superior de una presa. El mantenimiento al sistema es de vital importancia y se debe de considerar un sistema de transporte alternativo en caso de avería del equipo.

La mezcladoras continuas se pueden utilizar junto con transporte intermitente, y las mezcladoras intermitentes junto con equipo de transporte continuo.

4.2.3.3. TRANSPORTE INTERMITENTE

Es un depósito montado en una unidad de acarreo con llantas. Como los camiones convencionales de volteo. El tamaño del equipo depende de la capacidad de colado requerido, duración del ciclo de transporte y el volumen total por colarse. Así también el costo de la unidad de transporte, lo accesible del área, mantenimiento de caminos y puntos de acceso para el transporte.

En caso de usar vehículos para transportar el CCR, se deberá hacer un estudio completo de los caminos. Incluyen terreno escarpado y rugosos, pérdida de material para la construcción del camino, localización de la planta, programación, y consideraciones ambientales.

Al estar la planta de concreto aguas arriba de la presa, el método de llevar el camino a través o sobre el sistema de la cara aguas arriba debe considerarse en el programa de obra por requerir un tiempo considerable para su ejecución, la construcción de los caminos debe completarse antes de iniciar la colocación del CCR. La elevación de los caminos debe ser suficientemente rápida para mantenerlos a la par con la velocidad de elevación de la presa, que puede requerir de mucho tiempo, lo que llevaría a ser un sistema ineficiente a elevaciones más altas. Para evitar que las operaciones de mezclado y colocación se vuelvan lentas, debe considerarse periodos de suspensión de 2 a 4 h/día para la elevación de los caminos para los vehículos durante los cuales se llevara a cabo el mantenimiento y otros trabajos. Los caminos deben mantenerse con pendientes acordes con la capacidad de los equipos y los registros de seguridad.

Se ha realizado el transporte en vehículos con ruedas desde la revolvedora, en forma directa hasta el lugar del colado, con camiones de descarga por detrás, camiones de descarga por debajo y escrepas. Algunos ingenieros prohíben el uso de camiones de descarga por debajo debido a que piensan que éstos tienen más tendencia a causar segregación en los bordes de la pila que dejan. Cuando se aplica el transporte directo sobre ruedas desde la revolvedora, se debe tener mucho cuidado en impedir el arrastre de material extraño al sitio del colado

Las actividades de mezclado, transporte, colocación, tendido, y compactación se deben completar en escaso tiempo y con un traspaleo mínimo

4.2.3.4. EQUIPO SIN AGITACION

Los equipos sin agitación son más adecuados para el transporte intermitente del CCR. Se ha empleado mucho para acarreo de agregados, minería y movimiento de tierras, y se puede emplear fácilmente para el CCR. La mayoría de estas unidades está diseñada para descargar a volteo extremo o inferior, En la selección del equipo debe tomarse en cuenta el costo del manejo de la segregación resultante.

4.2.3.5. EQUIPO CON AGITACION

Los equipos con agitación como se indicó en la selección de los camiones mezcladoras, el equipo convencional de acarreo intermitente con tambor que no sea volteo y que este diseñado para agitar o mezclar el material durante el transporte no debe ser usado para el CCR.

Los camiones mezcladora de volteo podrán manejar el CCR satisfactoriamente pero requieren un periodo relativamente largo para descargarse. Por esta razón, se espera que este tipo de transporte para concreto premezclado se limite solo a algunas aplicaciones y no a la extensa variedad de trabajos en los que se usa hoy en día.

4.2.3.6. TRANSPORTE CONTINUO CON BANDAS

Para el transporte continuo de CCR, el método más aplicable son las bandas transportadoras.

Sistemas de transportadores de banda, adecuadamente diseñados, han probado ser muy satisfactorios. Estos sistemas de transportadores pueden diseñarse para entregar en forma directa el CCR en el lugar en que se va a colar o sencillamente para alimentar camiones que sólo operan en el área de colado y entregan el CCR hasta el lugar en que se va a colar. En cualquiera de los dos casos, el uso de un sistema de transportadores evita el arrastre de lodo y otro material extraño, lo que puede ocurrir cuando vehículos con ruedas transportan el CCR directamente desde la revolvedora.

Los sistemas con bandas para transportar el CCR desde la planta de concreto directamente hasta el punto de puesta en obra son relativamente caros, pero para volúmenes de CCR por encima de un M3 resultan cada vez más económicos y se utilizan más frecuentemente.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Para un uso más eficaz de un sistema todo bandas, la pendiente de uno de los estribos debería ser inferior a 20. En este caso, la banda puede iniciarse en la parte alta de un estribo, descender dicho estribo e ir a lo largo del paramento aguas abajo de la presa. Desde esta banda, una banda tripper transporta el concreto hasta el Crawler/placer.

El crawler/placer coloca luego directamente el CCR en su ubicación. No se necesitan camiones ni otros medios de transporte sobre la presa, lo que incrementa la seguridad y elimina una serie de puntos de transferencia que son fuentes potenciales de segregación.



FIG. 4.20 LA PRESA MIEL 1 EN COLOMBIA INICIALMENTE EL CONCRETO ES TRANSPORTADO UTILIZANDO VOLQUETAS; PERO A MEDIDA QUE LA PRESA AUMENTA DE NIVEL, EL ASCENSO DE LOS EQUIPOS SE HACE MÁS DIFÍCIL, Y ES ASÍ, COMO A PARTIR DEL NIVEL 291 M SE INICIA EL TRANSPORTE DEL CONCRETO A TRAVÉS DE BANDAS TRANSPORTADORAS DE 400 M³/H , UNA TORRE GRÚA Y UN DISTRIBUIDOR DE PLAZA CRAWLER



FIG. 4.21 SEGÚN LA PRESA VAYA SUBIENDO Y LAS ÚLTIMAS DOS BANDAS PUEDEN GIRAR SOBRE SUS DOS EXTREMOS PERMITIÉNDOLE AL DISTRIBUIDOR DE PLAZA QUE SE DESPLACE «ARRASTRÁNDOLAS» TRAS DE SÍ. EL DISTRIBUIDOR DE PLAZA CRAWLER PLACER RECIBE EL CCR DESDE EL SISTEMA Y LO COLOCA MEDIANTE UNA BANDA TRANSPORTADORA DE EXTENSIÓN TELESCÓPICA, SU DESPLAZAMIENTO ES CON ORUGAS Y PUEDE ROTAR EN CUALQUIER SENTIDO.

PRESA MIEL 1.COLOMBIA



FIG. 4.22 BANDA ROTEC DE APROXIMADAMENTE 600 M DE LONGITUD, 90 CM DE ANCHO Y UNA CAPACIDAD NOMINAL DE TRANSPORTE DE 400 M³/HR. ESTÁ COMPUESTA POR SECTORES DE BANDA, TOLVAS, ELEMENTOS DE TRANSFERENCIA Y SOPORTES METÁLICOS SENCILLOS O TELESCÓPICOS. EN EL ÁREA DE LA PRESA SE DISPUSO DE UN DISTRIBUIDOR DE CONCRETO SOBRE ORUGAS COMPUESTO POR BANDAS TRANSPORTADORAS TELESCÓPICAS, CON ALCANCE A CASI TODA EL ÁREA DE TRABAJO Y CAPACIDAD DE HASTA 400 M³/HR (CRAWLER).

PRESA PRRIS ,COSTA RICA

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

4.2.3.7. CANALETAS POR VACÍO

En el caso de que un estribo sea relativamente inclinado es posible utilizar canaletas por vacío para el transporte del concreto. Éstas han sido desarrolladas en China, primeramente en la presa de Puding (altura = 75 m, volumen de CCR = 103 mil m³) y más recientemente en la de Jiangya (altura = 128 m, volumen de CCR = un millón 060 mil m³).

4.2.3.8. TRANSPORTE POR TUBERÍA

Un método de transporte similar a las canaletas por vacío es el transporte por tubería. Este último requiere un estribo inclinado, de ser posible con una pendiente de 45 o mayor, y es de una gran sencillez. El CCR se carga en la parte superior de la tubería, normalmente mediante banda, y se descarga por la parte inferior, manteniendo llena la tubería en la medida de lo posible.

Este método de transporte fue empleado por primera vez a gran escala en la presa de Platanovryssi Grecia (altura = 95 m, volumen de CCR = 420 mil m³), en la que el CCR se dejó caer a lo largo de una tubería desde una altura vertical próxima a los 100 metros.

Para que este método de transporte sea eficaz, el CCR tiene que ser cohesivo. No obstante, hay que indicar que en Platanovryssi se precisaba un CCR con dichas características a causa de las cargas dinámicas muy elevadas. En consecuencia, no hubo costos adicionales y pudo utilizarse el transporte por tubería, que es muy económico. En otras obras, puede ser necesario realizar un balance entre un ligero incremento en el contenido de conglomerante para aumentar la cohesión del CCR y el costo de otros medios de transporte más caros.

El extremadamente bajo contenido de agua y el alto contenido de agregados grueso de este concreto no suministran fluidez para hacer posible que la mezcla sea bombeada a través de tuberías.



. FIG. 4.23 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL CCR

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG. 4.24 TRANSPORTE CON VAGONETA Y COLOCACIÓN CON CANOA EN EL PROYECTO PIRRI EN COSTA RICA. LA DESCARGA DEL CCR A LA PRESA FUE POR MEDIO DE UNA CANOA METÁLICA COMO ALTERNATIVA A LA BANDA, ESTA ES UNA MODALIDAD CON MENOR RENDIMIENTO Y QUE EXIGE CIERTA GEOMETRÍA, CONFIGURACIÓN Y PENDIENTE DE LA CANOA PARA MANTENER LA CALIDAD DE LA MEZCLA, SOBRETODOS EVITAR LA SEGREGACIÓN DEL AGREGADO GRUESO.

4.2.4. CONSIDERACIONES PARA LA SEGREGACION

El concreto con tamaño máximo de agregado de 3" puede transportarse y colocarse en unidades de acarreo sin agitación, pero implica riesgos de segregación cuando se descarga sobre superficies duras, condiciones que prevalecen, como por ejemplo cuando se inicia un nuevo colado en una superficie previamente compactada.

El riesgo de segregación en el colado y el transporte, marca las restricciones sobre el tipo de equipo y los procedimientos que se van a utilizar, por lo que el costo de estas restricciones se debe evaluar dentro de la economía general relacionada con la selección del tamaño máximo del agregado que se va a emplear.

Un concreto con TMNA de 38 mm (1 ½") puede ser transportado y colocado en unidades transportadoras sin agitador diseñadas para la transportación de agregados y movimiento de tierra, sin segregación objetable. Los sistemas transportadores deben diseñarse para minimizar la segregación en puntos de transferencia. Las Mezclas de CCR con TMNA de 75 mm (3") son vulnerables a la segregación cuando se descargan en superficies duras, se han tomado precauciones para evitar la segregación transportando y descargando las remezcladas satisfactoriamente. En mezclas de consistencia mas seca se puede presentar una segregación severa durante el transporte y colocación de TMNA grandes las mezclas de consistencia mas húmeda reducen la tendencia a segregarse.

4.2.5. COLOCACION

La colocación del concreto requiere de muchas actividades previas y durante. Debe prepararse la superficie de la junta y darle curado permanentemente, inducir las juntas de contracción, tener la cantidad necesaria de cimbra colocada, extender y compactar el CCR, dar acabado especial a las superficies expuestas o de contacto y colocar instrumentación si corresponde.

El principal requisito de colocación es asegurar una excelente adherencia y continuidad entre las capas de CCR de 20 a 30 cm de espesor, para lo cual la superficie debe estar fresca o con una adecuada preparación de la junta. Se definen diferentes tipos y tratamientos de juntas, desde la "caliente" hasta la "fría" pasando por juntas "intermedias". Estas diferentes juntas se definen y se verifican en el sitio de colocación mediante el concepto de madurez del concreto (combinación de tiempo y temperatura), y en la práctica la junta "caliente" era posible mantenerla por periodos de entre 18 y 22 horas, para lo cual se utilizó un aditivo retardador de fraguado. Dados los volúmenes de concreto por capa (entre 2 000 y 2 600 m³ en algunos proyectos), las suspensiones por lluvia y posterior secado, así como los múltiples inconvenientes que pueden presentarse, para lograr mantener la junta caliente que es el objetivo pretendido, se requieren capacidades de producción de CCR máximas con carácter puntual idealmente de hasta 400 m³/hr.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG. 4.25 DEBIDO A LOS REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO TÉRMICO DE LAS PRESA, LA TEMPERATURA DEL CONCRETO DURANTE SU COLOCACIÓN DEBE SER INFERIOR A 23°C, PARA LO CUAL EN EL PROCESO DE MEZCLADO EL AGUA SE ENFRÍA A 5°C Y LOS AGREGADOS DE 5CM Y 2,5CM A 9°C.

4.2.6. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE UNA COLADA.

La preparación de la superficie de cada colada precedente de CCR masivo es una de las consideraciones más importantes en la construcción con este material. Gran parte de los requisitos para tener resistencia de adherencia e impermeabilidad dependen de esta preparación. La superficie debe estar por completo limpia. Con procedimientos apropiados de construcción y cuidado, la superficie no debe necesitar alguna limpieza específica, a menos que se haya retrasado el colado. Sin importar el envejecimiento de la capa precedente, se considera una buena practica aplicar una capa adherente de mortero inmediatamente antes de la capa subsiguiente de CCR, en particular si la estructura es una cortina sujeta al almacenamiento continuo de agua. El mortero debe ser uno cremoso de arena y cemento y se le debe dar de 7a 9 mm de espesor. Esta es una garantía relativamente barata para lograr adherencia e impermeabilidad en la junta. El mortero puede entregarse con revolventoras de camión o cualquier otro equipo y se puede extender con una escoba con dientes de sierra, montada en la hoja de empuje de un tractor para jardín de ruedas pequeñas. Las operaciones deben controlarse de modo que el CCR se cuele antes de que el mortero se seque o endurezca.

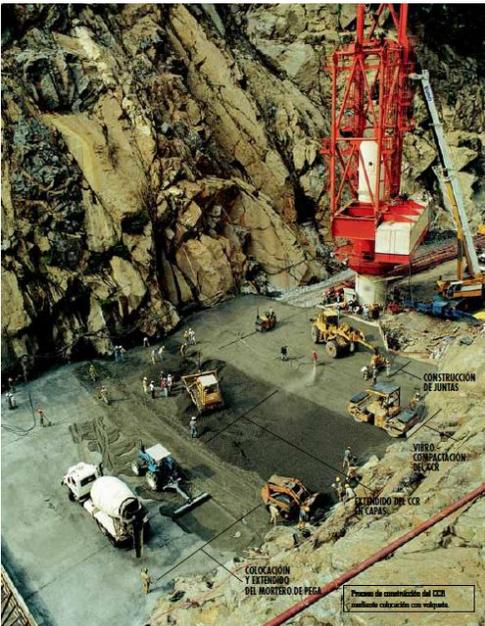


FIG. 4.26 ANTES DE EXTENDER EL CCR FRESCO, SE REALIZA UNA LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE EXISTENTE CON AIRE A PRESIÓN Y LUEGO SE APLICA UNA LÁMINA DE 10 MM DE ESPESOR DE MORTERO DE PEGA SOBRE LA SUPERFICIE ENDURECIDA DE LA CAPA ANTERIOR DE CCR, EL CCR SE EXTIENDE POR MEDIO DE BULLDOZER INSTRUMENTADO CON SENSOR LASER PARA GARANTIZAR EL ESPESOR DE LA CAPA. PRESA MIEL 1. COLOMBIA

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

4.2.7. COLOCACION Y DISTRIBUCION

En una presa es recomendable avanzar capa a capa a lo largo de la cortina de un empotramiento al otro. Excepto donde la distancia entre empotramientos es mas corta que la distancia de la carga aguas arriba a la de aguas abajo, como en la parte inferior de las presas en cañones estrechos. En este caso, la colocación puede comenzar en la dirección aguas arriba- aguas abajo. Al menos que sea controlada cuidadosamente, la colocación en la dirección aguas arriba-aguas abajo se puede originar segregación a lo largo de las colocaciones laterales en los extremos que propician zonas porosas a través de la estructura. Esto puede ser particularmente crítico para mezclas de CCR con tendencia a la segregación.

Se ha colocado CCR con pavimentadoras en algunas presas, usualmente a lo largo de la cortina. los problemas con este sistema son mas serios en las mezclas con contenidos cementantes mas bajos , consistencia seca, y agregaos mas grandes.

Los tractores de orugas son rápidos, suficientemente precisos y contribuyen a que el CCR sea compactado uniformemente. Mediante una distribución cuidadosa, un tractor puede remezclar el CCR y minimizar la segregación que se presenta durante la descarga. Siendo por esto la mejor opción para esparcir el CCR.



FIG. 4.27 PRESA KOUDIAT ACERDOUNE

El tractor esparce el CCR en capas de material suelto de 30cm +- 5 cm de espesor de manera que permita al tractor operar sobre el material sin compactar. Se prefieren tractores con banda de rodamiento de hule, o banda de rodamiento desgastada para minimizar la fractura del agregado o del CCR o de ambos. Usualmente dos rodillos y un tractor Caterpillar Modelo D-6, con un tractor de reserva, pueden esparcir y rodillar un CCR sin retardante a una velocidad aproximada de 230 a 380 m³/h en capas de 30 cm de espesor.



FIG. 4.28 EL CCR USUALMENTE ES COLOCADO EN LAS PRESAS DE GRAVEDAD, EN CAPAS DE 30 CM DE ESPESOR COMO SE PUEDE OBSERVAR EN LA FOTO CORRESPONDIENTE A MIEL-I COLOMBIA.

Una precaución para cuando se requiera que el tractor transite sobre ele CCR ya compactado, se podrán hacer desplazamientos rectos hacia adelante y atrás, o transitar sobre tapetes de hule, tales como las bandas transportadoras viejas.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Cuando se esparce el CCR se deberá dejar una capa con una superficie plana con espesor adecuado antes de la compactación. Cuando se esparce el material y dependiendo de la trabajabilidad de la mezcla, los lomos o escalones entre pasos adyacentes de la cuchilla del tractor puede dar como resultado un esfuerzo de compactación desigual y una calidad variable en el CCR. Es más importante tener una superficie plana lista para rodillar en el menor tiempo posible que tener una nivelación exacta con un rodillado diferido.

Generalmente los espesores de capas comúnmente compactados han sido de 30 cm. Se ha buscado la utilización de capas lo más gruesas posibles compatibles con la mezcla de CCR y con los equipos de distribución y compactación para alcanzar la densidad mínima especificada. Una experiencia en Japón se reporta que han sido compactadas capas más gruesas de aproximadamente 50 cm a 1 m en una capa después de haber sido distribuido con tractos en varias capas. Las proporciones de las mezclas también afectan la trabajabilidad y consecuentemente la capacidad para alcanzar densidad uniforme para todo el espesor de la capa.

Un factor importante para la definición del espesor de la capa, es el tiempo de exposición máximo antes de cubrir una capa con la siguiente. Cada proyecto debe ser estudiado para optimizar los beneficios de varios espesores de capa. Las capas más gruesas exigen tiempos de exposición más largos pero obtienen pocas juntas entre capas y menores trayectorias de fugas potenciales. Con capas más delgadas se generan más juntas de capas pero permiten a las juntas ser cubiertas en menor tiempo, obteniendo una adherencia mejorada.

El CCR debe colarse en capas suficientemente delgadas para permitir una compactación completa por medio de rodillo vibratorio. Hasta la fecha las pruebas de campo han demostrado que el rango de espesor óptimo por las capas de colado es de 20 a 30 cm.

Esto contrasta con las capas normales de concreto masivo común que varía de 46 a 60 cm.

La velocidad de colado que se alcanza con el CCR son mayores con capas de espesor igual a un tercio o la mitad de las de concreto común, resulta evidente que la distribución del concreto antes de la compactación es una operación importante en el proceso de producción y debe ser eficaz para que avance al mismo paso que la capacidad de compactación

4.2.7.1 COLADO INTERMITENTE

El equipo que deposita la mezcla en pilas de concreto debe complementarse con equipo que derribe las pilas y esparza el concreto en capas de 20 a 30 cm de espesor, a la misma velocidad que puede ser transportado y compactado. Los esparcidores del tipo de las excavaciones de cuchilla y las niveladoras de terreno suelen ser más prácticos. Se prefiere el equipo a base de llantas porque los materiales de concreto no tienen tendencia a pegarse en las llantas como lo hacen en las vías, en los rodillos y en las ruedas dentadas del equipo de oruga, la distribución del concreto se facilita con el colado simétrico y constante, siendo conveniente depositar el concreto en franjas para su mejor distribución.

El equipo de transporte a base de llantas puede operar sobre la superficie recién compactada sin ningún efecto negativo en el concreto.

Se debe tomar precauciones para que el equipo de transporte no ruede sobre lodo o suciedad, ya que esto tendría efectos nocivos en la calidad del concreto y podría causar problemas en la integridad de la junta, lo que provocaría la consecuente pérdida de agua.

4.2.7.2 COLADO CONTINUO

Cuando el concreto se cuela en una operación continua mediante bandas transportadoras, la regla más importante es tener el menor número de equipos posibles dentro del área de colado y minimizar tanto como se pueda el movimiento del equipo mientras se cuela el concreto. Para conseguir esto, la distribución del sistema de bandas debe estar bien planeada, de modo que haya un lugar por el que pasen todas las bandas transportadoras sin detener la operación de compactación con rodillos.

4.2.8. CAPAS INCLINADAS

El método de construcción tradicional de las presas de CCR consiste en colocar una capa de 30cm de espesor sobre la capa de 30 cm previamente compactada, dentro del plazo de fraguado de esta última. Para ello, es frecuente añadir un retardador de fraguado al CCR y, en caso necesario, la superficie de colocación se subdivide en bloques mediante cimbrados transversales colocados a lo largo de una de las juntas transversales.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

La altura de cada bloque es de 3 m (equivalente a 10 capas) y el volumen de cada capa es como máximo el producido por la planta durante el plazo de fraguado del CCR. Una vez completado un bloque se pasa al adyacente. La superficie de la carga superior de cada bloque se trata para asegurar la adherencia con la inferior del bloque por encima de la misma, y el cimbrado se eleva para ejecutar el siguiente bloque, lo que suele producirse en un plazo de una a dos semanas.

No obstante, para acelerar la puesta en obra, en octubre de 1997 el contratista de la presa china de Jiangya propuso por primera vez la construcción por capas inclinadas.

Éstas se extienden con una ligera pendiente (del orden de un V/10 H) de estribo a estribo, además de la inclinación habitual entre aguas abajo y aguas arriba, de manera que la parte superior de la capa se sitúa tres m por encima de la base. Ello es en cierta manera similar al método de bloques descrito anteriormente.

La inclinación de la capa se elige de tal forma que el área de la superficie de la capa, y con ello el volumen de la misma, pueda ser colocada dentro del plazo de fraguado de la anterior. Como se dijo, la inclinación de las capas suele variar entre un V/10 H y un V/15 H, y la compactación se realiza de arriba hacia abajo. La limpieza y preparación de la superficie del «bloque» inferior se lleva a cabo justamente por delante del pie de la capa inclinada, mientras que la preparación inicial de la superficie del «bloque» de tres m ya completado y la elevación de la cimbra aguas arriba se llevan a cabo por detrás del avance de la construcción de las capas inclinadas.

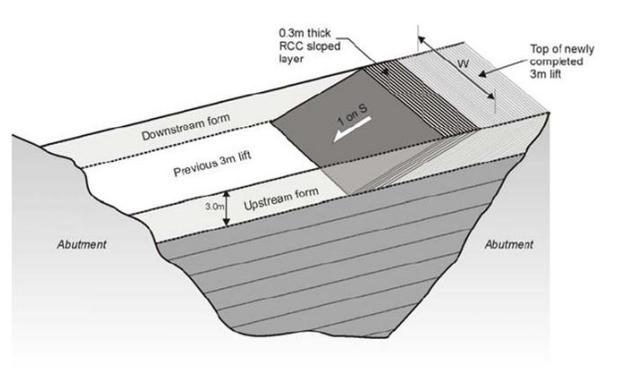
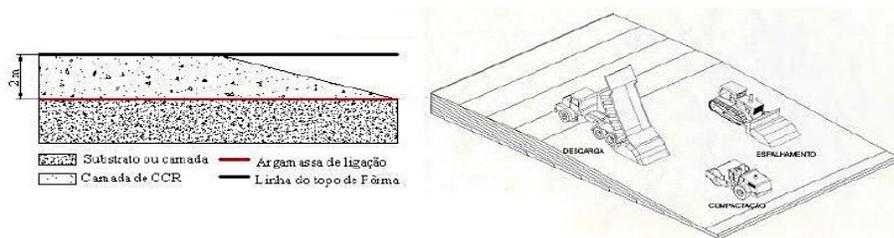


FIG. 4.29 METODO DE CAPAS INCLINADAS

45



Método Rampado - Subcamadas contínuas com $h = 0,33$ m

FIG. 4.30 METODO RAMPEADO , CAPAS DE 33 cm

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG. 4.31 CONTROL DE ALTURA DE CAPAS CON MARCAS PINTADAS EN LA CIMBRA

Algunas de las ventajas de este método son las siguientes:

- 1.- Menor tiempo entre la colocación de las sucesivas capas, lo que se traduce en una mejor adherencia y cohesión entre las superficies de las mismas
- 2.- Ausencia de cimbra transversal
- 3.- Mayor ritmo de puesta en obra

Por el contrario, también presenta algunos inconvenientes:

- 4.- Dificultades en la construcción del paramento escalonado aguas abajo, puesto que necesita un ajuste continuo de la cimbra
- 5.- Hay que prestar una atención particular al pie de la capa inclinada para conseguir una unión con el «bloque» inferior que presente una impermeabilidad adecuada, y eliminar una cuña de CCR al comienzo de cada carga mediante la construcción de una banda horizontal de reducida longitud.

Entre noviembre y diciembre de 1997 se colocaron 151 mil m³ de CCR en la presa de Jiangya empleando el método de cargas inclinadas. Cada «bloque» de tres m se completó en 9 días, en vez de los 15 días consumidos con el método de cargas horizontales utilizado en los primeros 50 m de la presa. Los resultados sobre testigos han mostrado una mejor resistencia a cortante de la parte construida mediante capas inclinadas.

4.2.9. TIEMPO DE COLOCACIÓN

El periodo del mezclado y la terminación de la compactación debe ser menor que el tiempo de fraguado inicial a la mezcla bajo las condiciones en las que será usada. Para las mezclas con poca o sin puzolana es que la colocación, extendido y compactación debe hacerse dentro de los 45 min desde el mezclado, y preferiblemente dentro los 30 min. desde el mezclado en condiciones ambientales de aproximadamente 21°C y sin retardante. Este tiempo puede aumentar para climas más fríos y puede reducirse para climas más calientes. La trabajabilidad puede ser afectada por la baja humedad, condiciones de viento, y un sobremanejo y reducir el tiempo disponible para completar la compactación en menos de 45 min.

Naturalmente, la colocación en un tiempo corto después del mezclado es muy conveniente, y esta se hace en forma continua, en capas horizontales de 20 o 30 cm de espesor e hiladas de cuatro capas, extendiendo el material con bulldozer de un lado al otro de la boquilla y de un lado al otro de la sección de la presa. Una variante que puede resultar ventajosa es usar “rampas”, o capas e hiladas levemente inclinadas (con pendiente del orden del 7 por ciento).



FIG. 4.32 EL CRAWL PLACER PERMITE UNA COLOCACIÓN RÁPIDA Y EN ESPESORES CASI IGUALES A LOS NECESARIOS POR CAPAS PARA SER EXTENDIDO RÁPIDAMENTE CON EL BULLDÓZER . PRESA MIEL 1.COLOMBIA

4.2.10. JUNTAS DE CAPAS

El método constructivo de CCR masivo genera inevitablemente capas o alzadas cuyo espesor es el del material esparcido. Estas se pueden compactar individualmente o en varias capas que pueden ser esparcidas antes de ser compactadas como una alzada antes del fraguado inicial del CCR.

Los diseños requieren superficies en las juntas relativamente frescas y limpias con buena adherencia para lo cual previamente se debe aspirar o aplicar chiflones de agua, con esto se logra una estabilidad al deslizamiento, resistencia de las juntas al cortante o la impermeabilidad.

Una junta fría se genera cuando una capa de CCR no se cubre inmediatamente con otra capa antes de que inicie el fraguado de esta.

La madurez de la junta es resultado de la temperatura superficial promedio y el tiempo de exposición la cual se puede expresada en grados-hora y es calculada como

Madurez de la junta en °C-hr = (TSP) X (TE)

Por ejemplo, para 14.5 h de exposición a una temperatura promedio de 21°C

Madurez de la junta= 21 x 14.5= 304.5°C-h

Las juntas son sensibles a la cantidad y características del material cementante y de la efectividad de los aditivos retardantes del fraguado. Generalmente a una temperatura superficial aproximada de 21°C (70F), una junta fría empieza a presentarse en un CCR sin retardante aproximadamente a las 4 h y la mayor parte de las veces se desarrolla en 6 h.

Para tener una resistencia al cortante adecuada se recomienda tener una exposición de la junta fría a menos de 6 hrs. Pero con el riesgo de no ser impermeable a menos que se le de el tratamiento de limpieza y aplicación de la mezcla de liga fluida o una mezcla de CCR con alto contenido de cementante a una madurez de 260 a 815°C-h. después de aproximadamente 260 °C-h puede ser necesario una mezcla de liga para alcanzar la resistencia al cortante o tensión requeridas.

Para cada proyecto el límite de madurez exacto depende de la mezcla y de los requisitos de diseño.

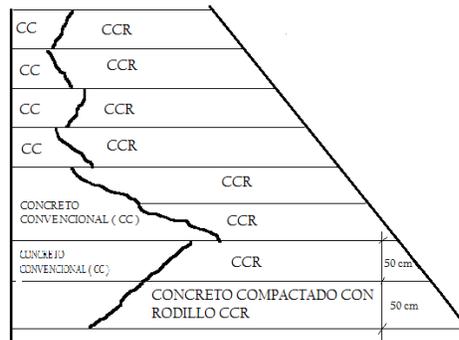


FIG. 4.33 CAPAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

4.2.10.1. JUNTAS HORIZONTALES

Las juntas de construcción horizontales pueden ser de tipo planeado o del no planeado. Cuando una capa de colado no se cubre al comenzar al fraguado, deja de ser trabajable y se convierte en una junta fría, o junta de construcción no planeado. El elemento tiempo depende en gran medida de la temperatura, la cantidad de cemento portland en la mezcla y el tipo de agregado, si se emplea alguno, así como sus características de retardación en el fraguado.

El tratamiento para los colados horizontales o las juntas de construcción difiere del concreto masivo al del método convencional, en que no haya aumento de agua en la superficie durante el fraguado del concreto, de tal forma que no hay una película delgada de lechada en la superficie. El aumento de agua en la superficie es el resultado del asentamiento durante el fraguado cuando el agua sobrante (sangrado) se separa del gel de cemento y por efecto de los materiales mas pesados sube a la superficie.

La cantidad de agua de sangrado esta en relación directa con el volumen de pasta en la mezcla y el espesor promedio de la pasta que cubre los agregados y los finos minerales. En el CCR hay por lo menos un 25% menos de volumen de pasta y la reducción proporcional en el espesor de la cubierta es aun mayor debido al mayor volumen de agregado.

Si la junta de construcción se ha mantenido limpia y no requiere ningún tratamiento pero si se ha contaminado con alguna sustancia extraña y se ha secado, se debe limpiar con chorro de arena u otro medio.

Según experiencias en juntas horizontales se puede asegurar una adherencia satisfactoria utilizando una mezcla de estratificación con agregado cuyo máximo sea 38mm o menos, siempre que la mezcla tenga volumen de pasta, por lo menos 20% mayor que el volumen mínimo de pasta que produce densidad máxima. La mezcla debe tener suficiente exceso de pasta para que fluya durante la compactación y llenar los huecos que hay entre las partículas segregadas de la junta de construcción.

La consistencia de la mezcla de estratificación debe ser idealmente “demasiado húmeda”, extendiendo en una capa de aproximadamente 8 cm de espesor y antes del laminado se debe cubrir con una capa suficiente de la mezcla masiva regular para lograr una capa de espesor total.

4.2.11. TRATAMIENTO DE LA JUNTA DE LAS CAPAS

Las capas se deben conservarse húmeda y con protección para secado o congelación antes de aplicar la siguiente capa y para curar la superficie final. Antes de la colocación de la siguiente capa la superficie debe estar limpia y cerca de la condición saturada y superficialmente seca.

Si la superficie de CCR tiene una edad mayor a 1 o 2 días y ha endurecido la superficie, el lavado será con agua a alta presión. Y evitar cualquier tipo de contaminación.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

En el CCR generalmente no se presenta sangrado ni segregación de finos en la superficie. Excepto si se tiene las mezclas muy fluidas y algunos casos de mezclas secas después de días de curado húmedo.

En ocasiones no es necesario la limpieza en las juntas cuando no se presenta capa débil por segregación de finos, recubrimientos o depósitos, u otra contaminación en la superficie. Para permitir la continuidad de capas de CCR se requerirá el uso de mortero de liga, donde el concreto se compactara dentro de la capa de liga.

Aunque muchos proyectos de CCR han usado un concreto convencional con alto consumo de arena o mezcla de mortero como mortero de liga. La mezcla de liga puede usar aditivos para retardar el fraguado y se recomienda tener al menos 15 cm de revenimiento. Se debe procurar llenar las irregularidades con la capa de liga para lo cual esta debe ser lo suficientemente gruesa, cuando se use concreto en la capa de liga, el agregado grueso debe ser de 9.5 a 20 mm de tamaño máximo.

La resistencia a compresión para la mezclas de liga será mas grande que la del CCR. Los espesores excesivos del mortero de liga pueden propiciar bombeo y dificultar la compactación de la sobrecapa de CCR por lo que se recomienda que este espesor tenga la dimensión de la partícula de agregado más grande en la mezcla. Cuando se usa mortero para la mezcla de liga, el espesor es generalmente de 6mm.

4.2.12. JUNTAS DE CONTRACCION

En las presas de CCR se deben de considerar las juntas de contracción en el diseño .y para el control de las filtraciones se incluye muchos métodos tales como; Construcción de una junta de contracción mediante la inducción de una discontinuidad en la presa, Colocación de una membrana impermeable en la cara aguas arriba, Construcción de una cara de concreto reforzado aguas arriba.

Las juntas de contracción impactan significativamente en la producción y calidad del CCR colocado. Cuando la longitud de corona es corta o de menores volúmenes, la instalación de las juntas de contracción disminuye la producción en forma significativa.

4.2.13. CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS



FIG. 4.34 EN LA PRESA MIEL 1.COLOMBIA EXISTEN 17 JUNTAS DE CONTRACCION TRANSVERSALES EN TODO EL CUERPO DE LA PRESA ESPACIADAS CADA 17,5 M, CON SELLOS DE PVC ALEDAÑOS A LA CARA DE AGUAS ARRIBA Y ADEMÁS UNA JUNTA LONGITUDINAL DIAGONAL PARALELA A LA CARA AGUAS ABAJO. LA JUNTA LONGITUDINAL SE CONSTRUYE DE MANERA SIMILAR, COLOCANDO TIRAS DE GEO-MALLA EN LUGAR DE LÁMINAS.



FIG. 4.35 LAS JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCION SE CONSTRUYEN HINCANDOLÁMINAS DE ACERO GALVANIZADO EN LA CAPA DE CCR RECIÉN COMPACTADO USANDO UNA CUCHILLA METÁLICA ADOSADA A UN CARGADOR. PRESA MIEL 1.COLOMBIA

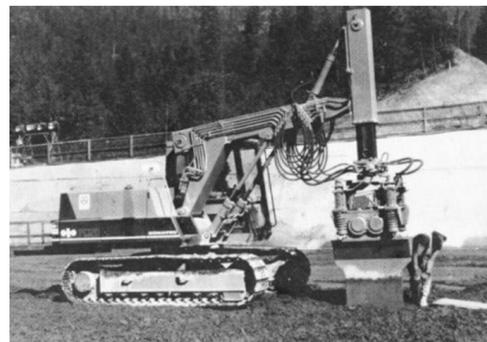


FIG. 4.36 INSTALACION DE LAMINA CON PALA VIBRATORIA

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG. 4.37 CONSTRUCCION DE JUNTAS DE CONTRACCION CON RECUBRIMIENTO PLASTICO



FIG. 4.38 INSTALACION DE BANDA OJILLADA WATERSTOP

4.2.14. CIMBRAS Y PARAMENTOS

Los paramentos de las presas aguas arriba y abajo, pueden ser formadas de cualquier configuración pero se debe tener especial cuidado en los anclajes y los acabados de la superficie.

Las cimbras para la superficie de los vertederos o las cimbras para el paramento aguas abajo, restringe las áreas accesibles a los rodillos vibradores.

La colocación de la cimbra es un factor limitante al rendimiento del CCR. Cerca de la parte superior de una presa, donde el volumen del CCR por capa es pequeño y el área de la cimbra para las caras aguas arriba y aguas abajo es relativamente grande, se puede requerir de más tiempo para colocar y retirar la cimbra que el que se necesita para colocar el CCR.

Los paramentos se pueden construir con cimbra deslizante y concreto convencional o elemento de la fachada contra los cuales la colocación del CCR se puede iniciar aproximadamente 8 horas posteriores. En valles amplios y proyectos grandes se puede utilizar esta cimbra mecanizada donde la velocidad del levantamiento del CCR no excede la velocidad de la cimbra deslizante. La presa Upper Stillwater levanto verticalmente 0.6 m por día, teniendo los paramentos suficiente tiempo para desarrollar la resistencia necesaria.

4.2.15. FORMAS PREFABRICADAS

Los Paramentos verticales o con pendiente considerable se pueden construir con paneles de concreto precolado o bloques coloquialmente llamados “escamas” que son paneles de concreto precolado de alta calidad, relativamente delgadas con aditamentos para su montaje. las cuales constituyen una cimbra fija autosustentable que permite confinar el concreto rodillado contra el concreto de la membrana impermeable, y este contra las propias formas, proporcionando además el acabado final en el paramento mojado.

La cara que estará en contacto con la membrana impermeable deberá quedar escarificada en 1/3 de tamaño del agregado expuesto, a fin de asegurar un adecuado anclaje con dicho concreto.

Se debe de colocar estas formas conforme se avanza en la colocación tanto del concreto rodillado como de aquel que forma la membrana impermeable.

En regiones extremadamente frías los paneles pueden incorporar aislante para proteger al concreto interior con una membrana impermeable flexible para trabajo rudo unida a la parte posterior del panel para proporcionar restricción al paso de agua.

Al colocar el CCR directamente sobre los moldes generalmente se obtiene una calidad baja en la apariencia y con porosidad, para evitar esto se debe tener particular atención a la colocación y al tipo de mezcla.

Para una apariencia de concreto convencional y una protección de la estructura contra el efecto de la congelación y el deshielo. Generalmente se ha usados un concreto convencional con retardante de fraguado.

4.2.16. COLOCACIÓN DE LA FORMALETA

Se definió por facilidad constructiva utilizar una formaleta con paneles verticales de 60 cm de altura. Consistió en una formaleta marca Doka autotrepante anclada al mismo CCR, según se muestra en la figura 4.39. Dado que las capas superiores de CCR recién colocadas tardan en fraguar y desarrollar resistencia, para que los anclajes trabajen deben colocarse de tres a cuatro paneles verticales unidos entre sí, de manera que el empuje del concreto de las capas superiores sea soportado por los anclajes de los paneles de las capas inferiores ya fraguadas.

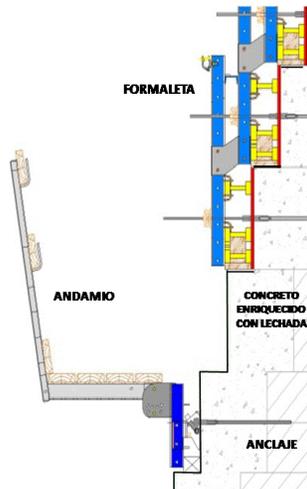


FIG. 4.39 SISTEMA DE FORMALETA AUTOTREPANTE

4.2.17 COMPACTACION

Después de que el concreto masivo se ha transportado y volcado en su lugar, se han aplicado diversos métodos para distribuir y compactar los materiales. Un método común ha sido simplemente volcar el CCR formando pilas o camellones y, a continuación, nivelarlos con una hoja de empuje hasta dejar un espesor que dé el espesor compactado requerido, por lo común 0.3 m. En seguida, esta capa se compacta con un rodillo vibratorio.

La compactación se hace de manera casi estandarizada con varias pasadas de rodillo lisos vibratorios de 10 toneladas, cuyo número se define en el bordo de prueba. Se debe proceder a la compactación de una capa inmediatamente después de su colocación y a la colocación después de la siguiente capa lo mas pronto posible, para lograr el proceso continuo en que consiste uno de los principales atractivos del CCR, pues así se logran tasas medias de colocación de aproximadamente 3000 M³/ día o mas, aun en boquillas no muy amplias.

Es recomendable considerar concreto convencional, vibrando de manera usual, en todos los lugares en que no puede llegar la compactación con rodillo, y es sumamente importante la integración íntima de este concreto con el CCR de la construcción general.

La compactación de la mezcla se hace utilizando vibro-compactadores de doble cilindro, con un peso estático de 10 t, y en el contacto con los estribos con compactadores de menor peso.

Es necesario poner un especial cuidado en la compactación de sectores cercanos a cimbras, en los que no es posible aplicar equipos pesados y se debe recurrir a los manuales.

Un método diferente que, en particular, ha probado su eficacia es usar coladas de 0.6 m formada por cuatro capas con un grueso de 0.15 m. Cada capa se vuelca en su lugar y, a continuación, se distribuye, se trabaja hacia uno y otro lado para superar cualquier segregación posible y se "camina" por completo la superficie, todo con una hoja de empuje sobre orugas de tamaño mediano. Una vez que las cuatro capas se encuentran en su lugar, la colada

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

completa se compacta con un rodillo vibratorio. Con este método, se ha encontrado que las hojas de empuje dan más del 90% de la compactación. Sin importar el método que se aplique, es práctica estándar requerir el uso de rodillos vibratorios con rueda de acero y doble tambor de por lo menos 9070 Kg. de peso bruto y que produzcan una fuerza dinámica de entre 6390 y 8030 Kg. por metro lineal de ancho del tambor. Por lo general, se han requerido cuatro pasadas del rodillo sobre toda el área de cada colada. (Un viaje de ida y vuelta de un rodillo de doble tambor a través de la misma área constituye dos pasadas.)

Cuando las mezclas son demasiado húmedas las dificultades para este proceso se pueden reducirse o eliminarse mediante un colado en capas más delgadas. El exceso de agua emerge durante el colado de las capas subsiguientes, con lo cual se elimina cualquier preocupación acerca de la resistencia de la mezcla demasiado húmeda.



FIG. 4.40 COMPACTACION DE CCR CON EQUIPO VIBROCOMPACTADOR

4.2.18. SELECCIÓN DE RODILLO

El rendimiento de compactación se incrementa con el tamaño físico y la velocidad de rodillo. Los rodillos grandes no pueden accionar cerca de cimbras, orillas u obstáculos, por lo que se auxilia de rodillos más pequeños o equipos de compactación manuales, para compactar el CCR en estas áreas.

Los parámetros importantes para la selección de un rodillo son la maniobrabilidad, fuerza de compactación por unidad de ancho del tambor, tamaño del tambor, vibración, frecuencia, amplitud, velocidad de operación, disponibilidad y mantenimiento requerido, varias experiencias han mostrado que los rodillos con una frecuencia más alta y una amplitud más baja compactan el CCR mejor que los rodillos con una alta amplitud y una frecuencia más baja, aunque se ha alcanzado resultados aceptables en algunos proyectos usando rodillos con ambas frecuencias y amplitudes altas. El compactador típico es un rodillo de 10 ton. De tambor doble o sencillo con una fuerza dinámica de la menos 8 kg/mm de ancho de tambor. Estos rodillos son frecuentemente usados para la compactación de asfalto y material granular. Existen Rodillos de 15 y 20 t con más masa y tamaño usados en las construcciones de enrocamiento y usados con CCR, pero usualmente tienen amplitudes más grandes y bajas frecuencias, son menos apropiados para la graduación de agregados usados en CCR. Es más difícil alcanzar las densidades requeridas y una buena interfaz en la unión de las capas.

En áreas estrechas, tales como las adyacentes a las cimbras y cercanas a las rocas de la superficie, los pisones compactadores de gran potencia son más apropiados.

4.2.19. PASADAS MINIMOS Y ESPESORES DE CAPA

La trabajabilidad de la mezcla de CCR y del espesor de la capa son factores determinantes para obtener el número mínimo de pasadas para un rodillo vibratorio para alcanzar la compactación específica.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El espesor de capa máxima depende más de que tan fresca esta la mezcla en el momento de la compactación, por la granulometría de los agregados, y por la efectividad del tractor que esparce la mezcla, que por el número de pasadas del rodillo.

El espesor de cualquier capa compactada de CCR debe ser al menos tres veces el diámetro del TMNA de agregado.

Se especifica generalmente que la primera pasada sea en el modo estático para consolidar inicialmente el CCR y prevenir que el rodillo se hunda con las mezclas de consistencia humedad. Las mezclas mas secas pueden comenzar con el modo de vibración. La frecuencia y amplitud fijadas pueden tener que ajustarse dependiendo de la trabajabilidad de la mezcla. La compactación mas efectiva usualmente se presenta con una frecuencia alta del orden de 1800 a 3200 vibraciones por minuto y una baja amplitud, aproximadamente dan como resultado la consolidación en mezclas de consistencia humedad con un tiempo Vebe medible. Los mismos intervalos de frecuencia y amplitudes han sido también muy efectivos en la compactación de mezclas de consistencia mas seca.

Generalmente con 4 o 6 pasadas de rodillo vibratorio con tambor doble de 10 t se alcanzara la densidad deseada en el intervalo de 15 a 30 cm de espesor .Esto supone una compactación oportuna con equipo apropiado. Debe evitarse una sobrecompactacion o un rodillado excesivo que puede reducir la densidad en la parte superior de la capa. La compactación en capas gruesas después de su esparcido en capas mas delgadas puede ser efectiva con algunas mezclas de CCR con un tiempo Vebe en el intervalo de 10 a 30 seg; para alcanzar una compactación efectiva con el tractor durante el esparcido del concreto se puede requerir una mezcla de CCR con retardador de fraguado, y puede requerir de pasadas de rodillo en la parte superior de la capa.

La compactación debe finalizarse en el mínimo tiempo después de que el CCR es esparcido, especialmente en climas cálidos, dentro de los 15 minutos después del esparcido y dentro de los 45 min del inicio del mezclado. puede disminuir los valores de la resistencia si el CCR es compactado cuando han pasado más de 30 a 45 minutos de iniciado el mezclado y la temperatura de la mezcla es aproximadamente 21° o más alta. Estos tiempos pueden ser incrementados en mezclas de CCR con un tiempo de fraguado incrementado debido al uso de puzolanas, aditivos, o temperaturas mas frías.

Se debe de esparcir la mezcla de CCR lo mas lisa posible para que al tambor de rodillo ejerza la compactación uniforme bajo el ancho completo del tambor. Si la superficie de la capa compactada de un CCR menos trabajable no es lisa, el tambor puede sobrecompactar los montículos y subcompactar las oquedades.

El desempeño característico para la compactación del CCR depende de la temperatura, humedad, viento, trabajabilidad de la mezcla, contenido de agregados finos y plasticidad , granulometría general, y TMNA.

Se ha empleado una gran variedad de equipos con rodillos vibratorios para pruebas y construcción con CCR .Por lo general, cualquier rodillo vibratorio que se haya utilizado con éxito para compactar enrocamientos puede compactar CCR., se ha comprobado que los rodillos autopropulsados , con tambores vibradores mecánicos, son mas adecuados para el CCR que los rodillos que solo vibran y requieren de otro vehículo o medio de propulsión.

La unidad impulsora de los tambores vibratorios permite al rodillo cambiar de dirección sin agitar el concreto ya compactado. Un recorrido en una sola dirección reduce en gran medida la maniobrabilidad. Las levas excéntricas, que producen vibración sobre los rodillos remolcados, están diseñados para recorridos en una sola dirección y pueden gotear la superficie de concreto recién compactado si cambia de modo de vibrar. Los rodillos vibratorios de distinta manufactura y tamaño se han empleado con buenos resultados por lo que las principales características para la selección de un rodillo son:

- 1.- La maniobrabilidad.
- 2.- La fuerza compactiva.
- 3.-El tamaño del tambor.
- 4.-La frecuencia.
- 5.-La amplitud.
- 6.-La rapidez de operación.

La capacidad de compactación en volumen de concreto por hora aumenta, obviamente con el tamaño y rapidez del rodillo. Por lo general, el tamaño de la obra y las limitaciones de espacio norman la selección.

Los rodillos de más de 4 o 5 toneladas normalmente no pueden trabajar más cerca de 15 a 23 cm. de la cimbra o los obstáculos, por lo que se suelen requerir rodillos de menos de 1 o 2 toneladas para compactar en dichas zonas.

El número mínimo de pasadas de un rodillo vibratorio necesario para lograr una compactación completa (máxima densidad alcanzable) depende básicamente de la mezcla de concreto y del espesor de la capa

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Para controlar el espesor de la capa sirve mas la habilidad para distribuir la mezcla que los requisitos de compactación, ya que los rodillos grandes son totalmente capaces de compactar capas de rocas en bruto de hasta 24 pulgadas (60 cm) e incluso mas.

En la mayoría de los colados de CCR se ha empleado capas 20 a 30 cm . para determinar el numero mínimo de pasadas necesario para logra una compactación completa, usando la mezcla correcta y espesor de capas planeado, se deben aplicar pruebas en bordos de prueba ya sea antes o durante las primeras etapas de la construcción. Se tiene eexperiencia de hacer capas de 30 cm final, es decir de 36 cm de material suelto y luego compactarlo.

La identificación del concreto totalmente compactado depende hasta cierto grado de la mezcla de concreto. Si la mezcla se ha proporcionado para volúmenes de pasta, excediendo el mínimo, entonces el concreto totalmente consolidado mostrara plasticidad y se podrá detectar una onda de presión en frente del rodillo, particularmente cuando se han colado dos o mas capas plásticas.

Si el contenido de pasta no es suficiente para llenar todos los huecos del agregado entonces habrá contacto entre las rocas y con la compactación total el agregado se va a quebrar un poco. Las pasadas adicionales solo aumentaran la cantidad de trituración y cada capa resultara casi rígida como una junta fría.

La masa compactada de una mezcla con volumen de pasta adecuado responderá a los trabajos en la superficie como el barro para modelar o como la gelatina cuando se ha endurecido. Esta acción permite que las rocas dispersas sobre juntas de colado se introduzcan en la superficie debido al esfuerzo de compactación de los rodillos vibradores, con lo que se obtienen una masa solida a partir de la construcción en capas.

La humedad superficial que aparece inmediatamente después de la compactación se evapora rápidamente, antes de que ocurra el endurecimiento, de manera que no se deben confundir con el agua de sangrado o con la lechada.

La única forma segura de determinar la compactación total en la obra consiste en medir la densidad compactada y compararla con la mezcla totalmente compactada en el laboratorio mediante vibración prolongada.

Las pruebas aplicadas a corazones extraídos han respaldado la evolución visual de la compactación total hecha por los inspectores.

En los estudios de campo de CCR en la presa de Lost Creek el numero mínimo de pasadas aplicado en una capa de 8 pulgadas (20 cm) de espesor fue de 4. En muchos casos, el número de pasadas no controlan la producción, pues al parecer la distribución es el factor que la controla.

Los aparatos nucleares de medición que se emplean actualmente para determinar la densidad del suelo se puede usar para medir la densidad plástica de las capas compactadas.

Cuando el número mínimo de pasadas llegue a ser critico con respecto a la capacidad productiva, será necesario un método rápido para medir la densidad compactada.



FIG. 4.41 CONSTRUCCION CON RODILLOS VIBRATORIOS

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

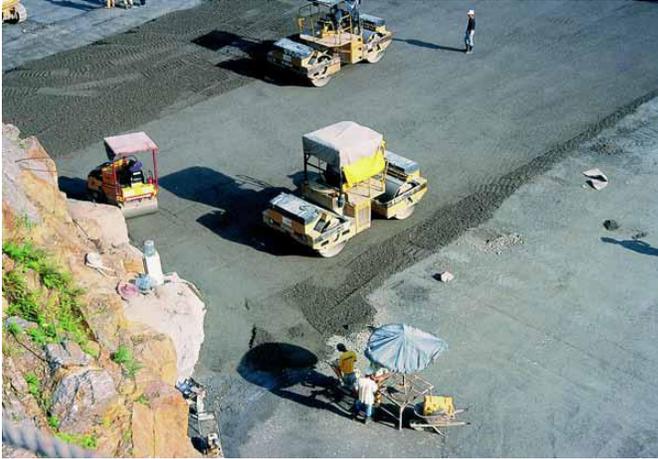


FIG. 4.42 EL VIBRO-COMPACTADOR HACE SEIS PASADAS, LUEGO DE LO CUAL SE VERIFICA LA DENSIDAD LOGRADA DEL CCR POR MEDIO DE DENSÍMETROS NUCLEARES Y EN ZONAS DE DIFÍCIL ACCESO SE UTILIZAN CARGADORES Y COMPACTADORES LIVIANOS. EL TIEMPO MÁXIMO ENTRE MEZCLADO Y COMPACTACIÓN ES DE 40 MINUTOS Y SE DA UNA PENDIENTE A LAS CAPAS DE CCR DEL 1% HACIA AGUAS ABAJO PARA DRENAJE. PRESA MIEL 1.COLOMBIA.

4.2.20. CURADO Y PROTECCIÓN.

Una vez que se completa el paso de los rodillos, las superficies de las coladas deben humedecerse y conservarse húmedas en todo momento, hasta que se realiza la siguiente colada o hasta el final del periodo requerido de curado, por lo general 7 días. Es imprescindible que no se deje secar la superficie. En esencia, el CCR no sangra agua que ayude a conservar húmeda la superficie al principio del envejecimiento. Hasta que el CCR haya endurecido, debe aplicarse agua de curado con boquillas de rocío de niebla fino. Después de que la superficie ha endurecido, pueden usarse rocíos más gruesos. Existe una tendencia común en usar los rocíos gruesos desde el principio, pero esto no debe permitirse. Aun cuando el CCR masivo no desarrollará lechosidad, esos rocíos gruesos usados con demasiada anticipación pueden producir una nata superficial muy semejante a la lechosidad, debido al exceso de humedad y a la erosión. Por supuesto, la superficie de cada colada debe protegerse contra la congelación, la lluvia intensa y la abrasión del tráfico, El propósito debe ser colar el CCR masivo con bastante rapidez como para que la superficie de cada colada quede expuesta durante el menor tiempo posible.



FIG. 4.43 MAQUINA AUTOMATICA ATOMIZADORA DE AGUA PARA CURADO DE CCR.

Después de la colocación y compactado del CCR, la superficie debe ser curada y protegida manteniendo la superficie en condición húmeda. deberá protegerse de altas temperaturas hasta alcanzar la resistencia suficiente. La colocación de CCR debe suspenderse si la lluvia excede de aproximadamente de 2 a 3 mm/h (0.1 in /hr).

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Durante la lluvia al usar vehículos sobre las capas de CCR, las llantas pueden suavizar la superficie dañándola. Por lo cual se debe esperar a que el CCR endurezca para efectuar una limpieza extensa y remover la superficie completa de la capa.

Cuando se usan equipos transportadores para las entregas, y se requiere poco o ningún tráfico vehicular sobre el CCR, la construcción puede continuar con una lluvia ligera. Esta puede requerir una reducción en la cantidad de agua de mezclado usada debido a la humedad más alta y la pérdida del secado superficial.

Terminada de compactar una capa de CCR, este no sea dañada por alguna lluvia entre ligera y moderada siempre que no hay tránsito sobre la superficie de la capa. Después de una lluvia, el arrastre sobre la superficie puede iniciarse solamente después de que la superficie ha empezado a regresar naturalmente a una condición saturada-superficialmente seca. Es recomendable una ligera pendiente descendente hacia la cara aguas arriba de la presa para ayudar al drenaje del agua libre y reanudar las operaciones de colocación inmediatamente después de la lluvia.

El curado se ha llevado a cabo con pipas de agua adaptadas para los proyectos más grandes, y con mangueras. Las pipas pueden tener boquillas atomizadoras generando una niebla que no lava o erosiona la superficie. El camión pipa debe hacer una mínima cantidad de viajes evitando el maltrato a la superficie. Por lo general el uso de camiones pipas es impráctico por lo que se ha optado en numerosos proyectos usar rociadores y mangueras manuales.

En el curado de la última capa de CCR se hará generalmente 14 días como mínimo. No se recomiendan los compuestos de membrana de curado.

En climas fríos es factible la colocación del CCR cambiando el calor de hidratación generado por la masa de CCR y la secuencia de colocación continuada, aun cuando las condiciones ambientales ocasionalmente caigan por debajo de la temperatura de congelación, cuidando que la superficie permanezca al menos 1°C de la temperatura de congelación hasta que sea cubierta por la capa subsecuente.

El curado para CCR es similar al del concreto común, por lo que el concreto debe mantenerse en condiciones húmedas y a una temperatura favorable para la hidratación del cemento. Los procedimientos recomendados por ACI 308-71, ACI 305R-77 Y ACI 306R-78 son aplicables a la construcción con el CCR.

El CCR se debe mantener constantemente húmedo durante 7 días o hasta que se cubra con otra capa de concreto. No se debe usar ningún otro material de curado que no sea agua, arena u otra cubierta que se pueda retirar después, sobre la superficie de las juntas a las que será necesario adherir la siguiente capa de concreto. Todas las superficies permanentemente expuestas y las que no se van adherir pueden curarse mediante la aplicación de agua, compuestos líquidos para curado con membranas, asfalto líquido o cubierta de tierra.

Puede requerirse el no curado de la superficie compactada en condiciones de construcción en las que las capas sucesivas se colocan tan rápido que la superficie no llega a secarse, siendo este el caso del colado continuo.

La Protección del CCR en clima caluroso en donde el secado se acelera, es necesaria la protección de las superficies del CCR, cuando se tiene esta condición se debe añadir agua a la superficie para complementar la humedad evaporada. Los problemas que generalmente se asocian con las obras de concreto convencional en clima caluroso son la demanda de agua, pérdida de revenimiento y agrietamiento por contracción plástica, los cuales no suelen ser graves en la construcción con CCR, debido al bajo requerimiento de agua y a los métodos de transporte, colado y compactación empleados. Sin embargo, puede ser necesario tomar ciertas medidas para controlar la temperatura en ciertos casos en los que sea importante el control del agrietamiento por inducción térmica.

En clima frío se debe proporcionar suficiente protección a la superficie expuesta de CCR durante siete días después del colado, cuando se suponga que la temperatura del aire puede descender hasta o por debajo del punto de congelación.

La protección puede lograrse cubriendo la superficie con esteras aislantes, capas de paja, 15cm de tierra o con alguna otra forma de material aislante.

4.2.21. GALERIAS Y DRENAJE

Existen varios métodos para la construcción de galerías uno es mediante el cimbrado convencional, y mediante la colocación de grava o arena en la parte donde se localizara la galería retirando posteriormente este material para abrir la galería. después de que todo el material suelto es removido el área resultante permite la inspección del CCR

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

En este método se genera un inconveniente al resultar rugosidad en las paredes de la galería y la adherencia de la grava o arena en el CCR, para subsanar esto se usan separadores de madera entre el CCR y el relleno de grava, pero aun así se generan segregación, bolsas de grava, y CCR menos denso en las caras de la galería

También se usa colocar el CCR en la parte superior de la galería y luego removerlo con un excavador antes de que alcance mucha resistencia. También es usual el empleo de prelosas de concreto para el techo de las galerías, se han usado secciones de concreto precolado instaladas como recubrimiento permanente de la galería. pero es preferible el CCR expuesto en las galerías donde los escurrimientos drenan libremente y se permite la inspección de las condiciones interiores.



FIG. 4.44 AL INTERIOR DEL CUERPO DE LA PRESA SE DEJARÁN GALERÍAS DESDE LAS CUALES SE PERFORARÁN DRENAJES DENTRO DE LA MASA DE CCR Y EN LA FUNDACIÓN DE LA PRESA, Y SE ADELANTARÁ LA EJECUCIÓN DE LAS CORTINAS DE INYECCIÓN PROFUNDA. LAS GALERÍAS SE PROLONGAN POR LA ROCA DENTRO DE CADA ESTRIBO EN UNA LONGITUD DE 40 A 60 M APROXIMADAMENTE, LO CUAL PERMITE CONFIRMAR DE UN LADO LA EXPLORACIÓN DE LA ROCA Y DEL OTRO EL TRATAMIENTO DE LOS ESTRIBOS. LA SECCIÓN DE LAS GALERÍAS SERÁ DE 2,5 X 3,0 M, PARA FACILITAR LA EJECUCIÓN DE LAS PERFORACIONES.

PRESA MIEL 1.COLOMBIA

En cuestiones de costos y programación de obra se debe considerar que en el método de construcción de relleno no cimbrado incrementa de 10 a 15 % al tiempo de colocación de la capa ejecutada, mientras que un cimbrado más complejo y los métodos de precolados pueden agregar 20 o 30 % al tiempo de colocación

También en lugar de usar las galerías se han usado drenes de grava, concreto poroso, y tubos de drenaje porosos para coleccionar los escurrimientos y aliviar la presión. Se pueden barrenar agujeros de drenaje desde las juntas de construcción planeadas del CCR a las galerías y desde las galerías hasta adentro del CCR. Esta actividad se inicia, después del compactado y usualmente se hace con equipo para taladrar de percusión rotatorio.

4.2.22. CONTROL DE CAMPO

El control de laboratorio de campo sobre los contenidos de agua de la mezcla es necesario para asegurar que hay suficiente pasta en la mezcla.

Se logra un mejor control en el laboratorio de campo mediante la observación de la compactación de muestras de rutina tomadas en la planta de mezclado. El equipo de vibrado del laboratorio de campo debe estar correlacionado con el equipo utilizado para determinar la consistencia de las mezclas de prueba analizadas. Con vibración continua, se puede suponer que la mezcla tiene un volumen adecuado de pasta cuando esta sube a la superficie y es claramente perceptible en toda el área.

Para el control en el campo de contenidos de agua, el límite de tiempo de vibrado no debe ser más de 1.5 veces el tiempo establecido en el programa de mezclas de prueba para la compactación total. Si la pasta no llena la superficie dentro del periodo asignado, el contenido de agua de la mezcla debe ser incrementado hasta que esto suceda. El método de Vebe modificado resulta un procedimiento de prueba satisfactorio para el control de la consistencia en el campo.

Cuando la mezcla tiene un volumen de pasta adecuado, la determinación gravimétrica de la densidad compactada se puede hacer midiendo la cantidad de agua necesaria para llenar el espacio que hay de la parte superior del concreto compactado a la parte superior del recipiente de peso específico, obteniendo el peso neto del concreto y aplicando los cálculos pertinentes. La densidad del concreto se ve afectada principalmente por el peso específico de los agregados, Cuando no hay cambios en el peso específico de los agregados las densidades compactadas no

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

sufrirán modificaciones de mas de 16 kg/m³ para un cambio de 9 kg. en el contenido de agua. De modo similar se requiere una modificación significativa en las proporciones del agregado para efectuar un cambio más importante en la densidad.

Es de esperarse que las pruebas de control, incluyendo la fabricación de especímenes para prueba de resistencia a la compresión del CCR. Se harán con la misma frecuencia que aquellas que se hacen actualmente para evaluar la calidad del concreto convencional.

4.2.23. CONCLUSIONES

El sistema constructivo en CCR es diferente al de construcciones de concreto masivo convencional que por lo regular son construcciones verticales con bloques monolíticos independientes, las construcciones de CCR se basan en colocación de capas de espesores delgados sobre áreas grandes.

El concreto masivo convencional se requiere de una alta relación de horas-hombre a volumen colocado ya que requiere de superficies moldeadas, preparación de juntas, y la compactación con vibradores de inmersión generalmente el CCR consume una relación mas baja de horas-hombre a volumen colocado debido al equipo mecánico utilizado para esparcir y compactar la mezcla, requiere menos superficies moldeadas, y menos interrupciones para limpieza de juntas. Sin embargo es más complejo el curado húmedo para el CCR ya que los membranas están prohibidos por sus efectos adversos en la adherencia entre capas.

Antes de la colocación del CCR son esenciales la planeación y preparación de materiales, accesos, partes embebidas, y limpieza de la cimentación y de las capas, es esencial la comunicación entre residentes para resolver los problemas y dar cumplimiento a las especificaciones que puedan afectar el progreso de la obra y aminorar las interrupciones y retardos. Se debe programar y planear integralmente el acceso de vehículos al área de trabajo así como la cimbra, y objetos embebidos procurando que todos los vehículos y personal no necesario debe mantenerse fuera del área de colocación y de la trayectoria de los equipos.

4.3. DISEÑO DE MEZCLAS

4.3.1. PROPIEDADES.

Se puede diseñar el CCR para diferentes resistencias, propiedades térmicas, cambio de volumen, durabilidad y costos. Una estructura de CCR con todas sus propiedades requeridas se puede construir a un costo mas bajo que una estructura de concreto convencional, a pesar de que el CCR masivo exige un cuidado extremo, procedimientos y equipos de construcción diferentes de los empleados para el concreto masivo convencional.

Como en el caso de los pavimentos, el CCR empleado en obras hidráulicas requiere de un diseño de mezcla previo, en el cual se defina el contenido de humedad óptimo y la máxima densidad a alcanzar.



Fig. 4.45 PROCESO DE ELABORACION DE MEZCLAS

- 1.-Localización y cuantificación de bancos de agregados.
- 2.-Caracterización físico-química de agregados y limo.
- 3.-Caracterización de cemento, agua, puzolana, ceniza volante.
- 4.-Diseño de Mezclas en el laboratorio.
- 5.-Evaluacopn de propiedades en estado fresco (tiempo Vebe), aire, densidad y endurecido
- 6.-Resitencia a compresión, módulos de elasticidad, resistencia a tensión indirectas, etc.
- 7.-Determinacion de humedad optima, densidades de diseño, recomendaciones para bancos, dosificaciones de CCR.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

4.3.2. DISEÑO

El diseño estructural de CCR es semejante al del concreto convencional. En una cortina de CCR se debe primordialmente garantizar una adherencia y una resistencia al corte entre capas así como la impermeabilidad en estas. Se deben efectuar estudios térmicos para la construcción con CCR semejantes a los usados para el concreto masivo convencional.

4.3.3. MATERIALES

Los mismos materiales que usa el concreto convencional componen el Concreto Compactado con Rodillo: cemento, agregados, agua, adiciones y aditivos.

4.3.3.1. CEMENTO

El cemento adecuado para la fabricación del CCR son los tipo II o IV según la norma ASTM, o un cemento mixto. En la mayoría de las presa el cemento tipo IV es el mas utilizado, su composición es una mezcla de cemento con adiciones entre un 30 hasta un 80 % en peso de puzolanas naturales o artificiales

Los cementos para la construcción de CCR deben tener bajo contenido de álcalis para bajar el calor de hidratación producidos por los mismos, y pueden ser fabricado con cualquiera de los tipos de cemento Portland básicos y con cualquier clase de puzolana.

La selección del cemento esta en función de las solicitaciones estructurales y no en el método constructivo del concreto. En el caso de utilizar y seleccionar puzolanas se deben considerar las especificaciones estándar para determinar el tipo de puzolana y las ventajas que ofrecen estas, así como en su comportamiento y en el concreto requerido para la obra, de acuerdo con las pruebas pertinentes.

La diferencia fundamental en la selección y el proporcionamientos de los cementos y la puzolana que se emplean en el concreto compactado con rodillos y los utilizados en concretos para fines estructurales normales radica en el empleo de mayores volúmenes de puzolanas y en la menor importancia de estas en la trabajabilidad.

Usualmente el contenido de cemento en la mezcla varía desde 40 kg/m³ hasta 380 kg/m³ de acuerdo con su aplicación. Las características del material a utilizar en obras viales e hidráulicas son tan diferentes como lo son sus solicitaciones de trabajo.

El cemento seleccionado debe tener propiedades de bajo calor y donde resulte adecuado, bajo contenido de álcali y resistencia al sulfato. Generalmente se usa una puzolana frecuentemente ceniza muy fina, para ayudar a controlar la ganancia de calor, mejorar la trabajabilidad y disminuir el costo.

4.3.3.2. AGREGADOS

Los agregados pueden ser naturales o de trituración e integran aproximadamente el 80 % del volumen del CCR. La finalidad de los agregados es conformar el esqueleto de concreto.

Es de suma importancia la selección y control de la granulometría de los agregados ya que estos factores influyen en la calidad y propiedades del CCR, aunque los requerimientos de calidad de los agregados utilizados en el concreto no se ven influidos directamente por los requerimientos de resistencia del concreto.

Los requerimientos de cemento y agua de la mezcla son afectados por la variabilidad del agregado que, a su vez, alteran la resistencia y la fluidez del concreto.

Para satisfacer los requerimientos mínimos de la pasta se debe buscar que la granulometría seleccionada produzca máxima densidad variable en seco, con la mínima área de superficie, y debe estar complementada con un porcentaje de finos no plásticos como las cenizas volantes o limos; la proporción tentativa de estos materiales fluctúa entre 5% y 6% en peso. La inclusión de estos agregados es requerida para desalojar la mayor cantidad de vacíos que pudiera ayudar a contrarrestar la permeabilidad del concreto.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Los agregados de alta calidad son de suma importancia tanto para el CCR como para el concreto convencional, inicialmente se esperaba que se pudiera usar agregados de menor calidad y material en bruto en el CCR.

Actualmente se recomienda que el tamaño máximo nominal no sea mayor de 75 mm, ya que siendo el tamaño mayor se incrementa la tendencia a la segregación de CCR durante el manejo.

Aunque la tendencia actual es usar gradaciones convencionales, con agregado fino y con el agregado grueso separados por tamaños en los de 19 y 37.5 mm.

Una buena práctica para prevenir que no haya interrupción en la producción del CCR es tratar de que por lo menos la mitad del agregado necesario para un proyecto se produzca y se apile cerca de la planta dosificadora, antes de comenzar la producción del CCR.

El tamaño máximo del agregado grueso, diseñado a escala de las presas, en ocasiones apenas superan los 76mm. En el otro extremo de la banda granulométrica, la cantidad admisible de material fino (pasa tamiz # 200 < 0.075 mm) puede llegar al 10% del peso seco de los agregados, de acuerdo con su plasticidad, lo que es un porcentaje inadmisibles en un concreto convencional.

Es importante la granulometría de un agregado ya que influye en la calidad de los concretos, tanto en su trabajabilidad como en su resistencia.

N°0 – 4,8 a 9,5 mm N°1 – 9,5 a 19 mm N°2 – 19 a 25 mm N°3 – 25 a 38 mm N°4 – 38 a 76 mm	FIG.4.46 SE COMERCIALIZA CINCO LÍMITES GRANULOMÉTRICOS DE AGREGADOS PARA SU APLICACIÓN EN CONCRETOS, CUYA ELECCIÓN DEPENDERÁ DE LA UTILIZACIÓN DE ESTOS. LOS LÍMITES SON.
---	---

En la actualidad es común aumentar los finos en el agregado fino ligeramente más que lo dado en la ASTM C33.

Generalmente el tamaño máximo del agregado para la fabricación del CCR, se limita a la cuarta parte del espesor de la capa ya compactada, para capas de 30 cm se utilizan agregados con tamaño entre 75 y 80 mm, para evitar la segregación al verter y extender el material se recomienda un tamaño máximo del arido entre 65 mm y 80 mm, siendo este último el más utilizado, aunque en algunos proyectos se ha limitado a 40 o 50 mm. El tamaño máximo usado generalmente no excede de 150 mm, empleado por los Japoneses.

En cuanto al número de fracciones de aridos para la composición granulométrica de los mismos, algunos proyectos disponen de una fracción fina (0-5mm) y una gruesa repartida en varios tamaños. En otros proyectos el criterio se aparta del tradicional, aduciendo que en el caso del CCR la granulometría de los aridos no reviste mucha importancia debido al método de puesta en obra, y que la ventaja económica es aprovechar los aridos disponibles en la proximidad de la obra. En la tabla de la fig. 4.47 se presentan algunos ejemplos del número de fracciones utilizados en la fabricación del CCR.

Presa (País)	Tmax (mm)	# Fracciones	Fracciones (mm)
Ohkawa (Japón)	80	4	0-5,5-20,20-40,40-80
Shin-Nakano (Japón)	80	4	0-5,5-20,20-40,40-80
Shin-Nakano (Japón)	150	5	0-5,5-20,20-40,40-80,80-150
Monkville (USA)	76	2	0-25,25-76
Willow Creek (USA)	76	3	0-20,20-38,38-76
Saco (Brasil)	70	2	0-30,30-70
Castiblanco (España)	50	4	0-5,5-12,12-25,25-50
Morales (España)	80	4	0-5,5-20,20-40,40-80
Morales (España)	40	3	0-5,5-20,20-40
Erizana (España)	100	4	0-6,6-20,20-50,50-100

FIG. 4.47 FRACCIONES DE ARIDOS EMPLEADOS EN LA FABRICACION DEL CCR

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Para determinación de la composición granulométrica del arido total del CCR existen varios procedimientos: los que prescriben un huso granulométrico para el esqueleto del material seco que incluye tanto el arido como el cemento y adiciones, y en el otro grupo se encuentran los recomendados por el ACI y el Technology Center for National Land Development, que estudian mediante ensayos de laboratorio, los siguientes parámetros:

La composición de distinta granulometría de arido grueso para determinar la menor proporción de huecos en la mezcla.

La determinación de la relación óptima mortero-árido grueso para que se obtenga un concreto con la consistencia justa para su correcta puesta en obra, con la máxima densidad posible. Previamente se habrá determinado las características del mortero tales como: contenido de pasta, relación agua/ cemento y relación cenizas /cemento.

Con respecto al tema de los áridos menores de 5 mm o arenas, en unos proyectos los han clasificado en un solo intervalo 5-0mm (tabla 4.47), en otros proyectos los han clasificado en dos y hasta tres intervalos.

Las cuantías de arena en un CCR son del 20 al 25 % del total del árido. Las granulometrías de las arenas utilizadas por varios proyectistas están comprendidas dentro de un huso cuyos límites figuran en la fig. 4.48.

% EN PESO QUE PASA POR CADA TAMIZ								
Límites	(apertura de malla en mm)							
	0.08	0.15	0.3	0.6	1.25	2.5	5	10
Superior	5	15	30	62	85	95	100	100
Inferior	0	4	12	30	55	75	95	100

FIG.4.48 GRANULOMETRIAS DE LAS ARENAS

Es habitual desechar los finos que pasan el tamiz N^o. 200 ASTM (0.074) y a veces hasta el N^o 100 ASTM (0.15 mm). En forma general se habla de cuatro ventajas al suprimir los tamaños inferiores a 0.08 mm:

- 1.-Mejora la durabilidad de los concretos
- 2.-Mejora la impermeabilidad
- 3.-Mejora la resistencia
- 4.-Disminuye la cantidad de agua para igual docilidad.

Sin embargo, Austriacos y Japoneses mencionan cierto aumento de resistencia para un contenido de hasta un 10 % de finos en la arena. Los noruegos preconizan el empleo de finos menores de 0.15 mm en proporción del 15 % de las arenas, con aumento ostensible de la compacidad. El Ruso Stolnikov, presenta la necesidad de controlar los finos sin llegar a eliminarlos totalmente, los Americanos de la Army Corporation, preconizan el empleo de finos como adición al conglomerante. Obviamente todos estos valores están condicionados a la naturaleza de los finos, por lo que no es fácil una mayor precisión.

Los agregados finos para el CCR normalmente contendrán una gran proporción de material que pasa la malla no.200.

Un CCR que contiene agregado en bruto con un mínimo de proceso requiere de un gran contenido de agua, será menos durable, tendrá menos resistencia y menos adherencia entre capas que un CCR conteniendo agregados propiamente procesados. Los agregados para el CCR deben tener los mismos estándares altos de calidad y graduación tal como los del concreto convencional.

4.3.3.3. ADICIONES EN EL CONGLOMERANTE

Las adiciones en el conglomerante del CCR presenta ventajas económicas y un fraguado más lento dando más tiempo de compactación y facilitar la unión entre capas así como un reducido calor de hidratación.

Las adiciones deben de cumplir prescripciones técnicas así como garantizar el suministro a costos razonables, disponibilidad y suministro.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Generalmente los tipos de adiciones mas utilizados en las Presas son las Cenizas volantes aunque también se utilizan escorias granuladas de alto horno

La falta de adiciones adecuadas ha obligado a la utilización de materiales menos idóneos, como son las cenizas volantes de alto contenido de cal empleadas en la presa Platanovryssi (Grecia, altura = 95 m, volumen de CCR = 420 000), «finos manufacturados» de algunas presas brasileñas.

4.3.3.4. CENIZA VOLANTE

Actualmente en la mayoría de presas de CCR se ha utilizado la ceniza volante de bajo contenido de cal, siendo aun mas elevada la utilización que en las presa de concreto convencional. A la par del desarrollo del CCR se han obtenido mayor conocimiento del comportamiento de las adiciones en el concreto. Por esta circunstancia se han podido diseñar los conglomerantes para el CCR para optimizar el comportamiento del cemento como de la adición. La adición de la ceniza volante no se debe de considerar un sustituto de cemento, sino un componente aparte valioso por sí solo y con sus propias propiedades particulares.

Las mezclas con un alto contenido de pasta CCR contienen habitualmente 250 kg/m³ de material cementante, del cual 70 o 80 % es una puzolana. La ceniza volante se ha usado como una puzolana en la mayoría de las presas CCR. La presa Upper Still Wáter en Estados Unidos requirió 1.24 millones de metros cúbicos de concreto que contenía 79 kg/m³ de cemento portland y 173 kg/m³ de ceniza volante.

En total, se utilizaron más de 200 mil toneladas de ceniza volante con bajo contenido de calcio en seis diferentes plantas de generación de energía eléctrica. Se necesitaron grandes volúmenes de materiales puzolánicos para la presa Zungeru en Japón, que contiene 5 millones de metros cúbicos de CCR, y la presa Longton, de 217 m de altura, en China, contendrá 7.5 millones de metros cúbicos de CCR., incluso la ceniza volante no estándar está siendo usada exitosamente como un componente de las mezclas CCR.

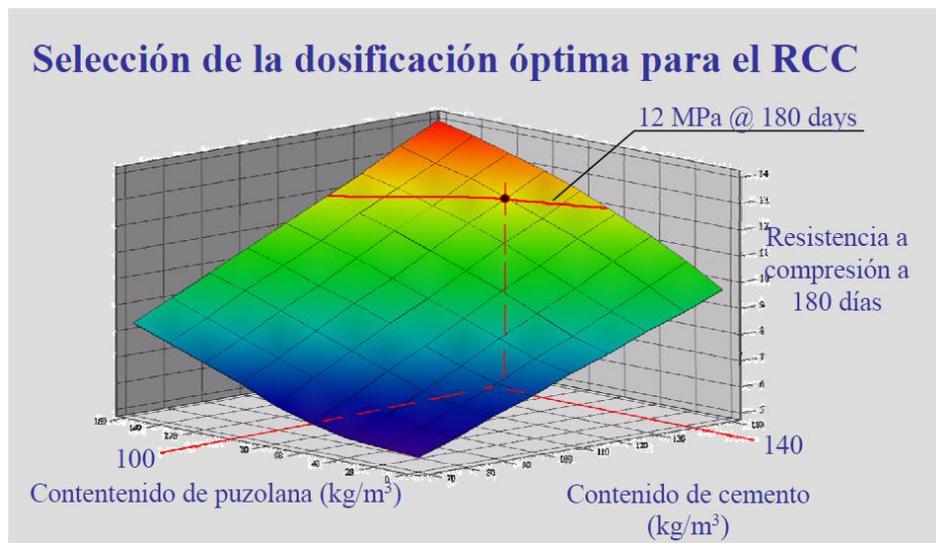


FIG. 4.48.1 SECCION DE LADOSIFICACION OPTIMA PARA CCR

Por ejemplo, la mezcla CCR para la construcción de la presa Platanovryssi, de 95 m de altura, en Grecia, contiene 35 kg/m³ de cemento portland y 250 kg/m³ de una ceniza volante que tiene un contenido inusualmente alto de calcio (42 por ciento de CaO en total). La ceniza volante se genera en las estaciones termoeléctricas que usan lignito como combustible, y que fue pretratado (pulverizado e hidratado) antes de usarse.

Se define como puzolana al material natural o artificial, que contiene sílice y alumina capaz de combinarse con la cal grasa, hidráulica o de hidrólisis del cemento (portlandita), en presencia de agua y a temperatura ambiente, para formar compuestos hidráulicos similares a los originados en la hidratación de los constituyentes del clinker de portland.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Las puzolanas naturales y artificiales se suelen adicionar al cemento de dos formas:

En la fabrica de cemento: se mezcla durante el proceso de molienda junto con el clinker y el yeso; muchos paises prefieren esta forma, por razones de calida y homogenizacion de la mezcla.

En la planta de mezclado de la obra: la puzolana se incorpora molida a la mezcladora, de forma analoga a como se hace con el resto de los componentes. Esta forma permite mayor agilidad para modificar las dosificaciones en obra y un menor precio, pero se debe tener un silo aparte para su almacenamiento.

En las primeras presas el contenido de conglomerante (cemento mas puzolana) fue bajo y se presentaron problemas de permeabilidad , luego en los años 80 se observa una evolucion hacia un CCR mas compacto e impermeable, con un aumento del contenido de conglomerante.

la utilización de ceniza volante para CCR sirve para tres propósitos:

- 1).- Como sustituto parcial de cemento para reducir la generación de calor
- 2).- Para reducir costos
- 3).- Como un mineral adicional a la mezcla que provee partículas finas para dar trabajabilidad a la misma.

La utilización de alto contenido de ceniza volante ayuda a la obtención de una adecuada pasta en las situaciones que no hay finos naturales disponibles.

4.3.3.5. CEMENTO CON ALTOS VOLÚMENES DE ESCORIA.

Cada año se producen aproximadamente 100 millones de toneladas de escoria de alto horno en el mundo. Su tasa de utilización como material cementante es bastante baja debido a que en muchos países únicamente una pequeña porción de la escoria está disponible en la forma granulada, que es cementante. Aunque se permiten cementos portland combinados que contengan hasta 65 por ciento de escoria, de acuerdo con las especificaciones estándar del ASTM, generalmente el contenido de escoria de los cementos comerciales no excede de 50 por ciento.

Un trabajo reciente de Lang y Geisler sobre un cemento de escoria de alto horno alemán (405 m²/kg de superficie específica) que contenía 77.8% de escoria, mostró que se obtuvieron excelentes características mecánicas y de durabilidad en mezclas de concreto superfluidificado con 455 kg/m³ de contenido de cemento y una relación de a/mc de 0.28. La resistencia a la compresión a edades de 1, 2, 7 y 28 días fue de 13, 37, 58 y 91 MPa (133, 379, 590 y 914 kg/cm²) respectivamente. El concreto mostró buena resistencia a la carbonatación, penetración de líquidos orgánicos, ciclos de congelación y deshielo (sin aire incluido) y descascaramiento por sales.

Algunas presas francesas de CCR se han construido utilizando conglomerantes que son una combinación de puzolanas (escoria granulada de alto horno, ceniza volante de alto contenido de cal y filler calizo) sin cemento portland.

Cabe indicar que Francia es un país muy avanzado en el aprovechamiento de subproductos industriales y en el desarrollo de este tipo de conglomerantes, los cuales son muy empleados también en obras de carreteras para la estabilización de explanadas y la ejecución de subbases y bases compactadas con rodillo.

4.3.3.6. FINOS MANUFACTURADOS

Los finos manufacturados se han empleado en algunos países como un filler/ puzolana. Se desarrollaron inicialmente en Brasil, donde hay escasez de puzolanas y donde las presas pueden proyectarse para resistir una tracción muy reducida o inexistente, pues no hay cargas dinámicas. Estos finos han dado buenos resultados en este entorno particular, pero no es probable que sean económicos donde haya una fuente de puzolanas normales a un costo razonable.

4.3.3.7. ADITIVOS

Los aditivos no han tenido tanto uso en la construcción con RCC como con el concreto convencional.

En función de los procedimientos de colocación del CCR, puede ser necesario el uso de aditivos, fundamentalmente para aumentar el tiempo de trabajo del material, en cantidades semejantes a las usadas en los concretos tradicionales.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

La inclusión de un aditivo plastificante o plastificante-retardante, como el Plastiment CCR que comercializa Sika, extiende los tiempos de fraguado de forma considerable, reduciendo la necesidad de generar juntas frías entre capas durante la construcción. El plastiment CCR es recomendable para Concretos Compactados con Rodillo tanto de bajo como de alto contenido de cementante.

Hay en el mercado cementos con bajo calor de hidratación, que retardan el desprendimiento de calor en piezas de gran volumen de concreto, lo que evita la aparición de fisuras debido a este problema Maccaferri suministra la fibra sintética Fibromac 12, que contribuye a controlar el calor de hidratación durante la fase temprana de los concretos.

Según el Rusos Stolnikov, los aditivos aireantes mejoran la resistencia al hielo, la permeabilidad, y la manejabilidad de los concretos y por consiguiente, la durabilidad; de forma aproximada, entre un 3 a un 4 % de aire ocluido reduce la cantidad de agua para igual docilidad.

Los italianos afirman que el aire ocluido puede rebajar el concreto de arena de un concreto desde 24% 25% del total de árido hasta un 18% o 19 %, disminuyendo la cantidad de conglomerante en un 10 % a 11%.

Los Americanos del Berau of Reclamation, con la experiencia obtenida en varias presas, concluyen que el óptimo de aire ocluido oscila el 3 y el 6 %, en función del tamaño máximo del árido: con ¾” el 6% de aire ocluido; con 6” el 3 %.

La empresa española CABI, SA., concluye con respecto al aire ocluido: “ La resistencia al hielo-deshielo depende de la cantidad del aire ocluido en el concreto. Valores del aire ocluido superiores al 5-6% garantizan una resistencia al hielo-deshielo suficiente.

Los concretos elaborados con cenizas volantes, a igualdad del aire ocluido en el concreto, tienen una resistencia al hielo deshielo equivalente a los concretos de cemento Portland. Los Noruegos consideran beneficio hasta un 3 o un 4% de aire ocluido.

Como se puede ver el aditivo mas estudiado y empleado es el aire ocluido aunque actualmente los aditivos retardantes y reductores de agua son de uso común.

4.3.4. CRITERIOS DE DISEÑO DEL CCR

Para cada presa en particular se debe estudiar el tipo de CCR que se debe aplicar tomando en consideración: el propósito de la presa (control de avenida, energía, riego, etc.) características deseadas para el CCR, materiales disponibles y condiciones económicas, El diseño de la mezcla se va ajustando gradualmente en función de los resultados obtenidos en los análisis estático, dinámico y térmico de la presa, sin embargo los ajustes de campo para la mezclas de CCR se deben hacer de acuerdo a los cambios que se presenten durante la construcción de la obra y en razón de las variaciones de las características de los materiales y del comportamiento del CCR bajo las condiciones ambientales del sitio (velocidad del viento, temperatura, radiación solar y humedad), transporte, colocación, compactación y curado.

Además el diseño de la mezcla de CCR debe asegura el cumplimiento de los siguientes aspectos:

- A. Que el CCR fresco sea lo suficientemente seco para que los equipos puedan transitar sobre el.
- B. Que el CCR pueda transportarse y colocarse con un mínimo de segregación, para lo cual es conveniente limitar el tamaño máximo del agregado a 65 o 75 mm, según autores Americanos, pues los japones emplean agregados de hasta 150 mm.
- C. Que el CCR tenga suficiente cohesión entre capas para que resista, junto con la componente friccionante, la carga hidrostática impuesta con un factor de seguridad apropiado.
- D. Que exista buena adherencia entre capas, para contar con una resistencia alta a la tensión en las juntas, que contraste los efectos dinámicos del sismo de diseño.
- E. Que el concreto una vez compactado alcance la máxima densidad que pueda lograrse con los agregados utilizados en la mezcla.
- F. Que el CCR una vez compactado tenga una permeabilidad igual o menor que 10^{-11} m/s, para prevenir la penetración de agua y minimizar los problemas de supresión entre capas.

La dosificación de las mezclas del CCR tiene dos enfoques:

Suelos (geotecnia) y Concreto. Las mezclas que tengan el concepto del concreto tienen una consistencia más húmeda que las mezclas con el concepto de suelos, debido al mayor contenido de pasta en la mezcla.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Para determinar la consistencia de las mezclas de CCR diseñadas por el método del concreto, se utiliza el Vebe que por lo general el tiempo es menor de 45 segundos y el rango típico es de 15 a 20 segundos, mientras que las mezclas diseñadas con el enfoque de suelos y geotecnia, no hay ningún aparato para medir su consistencia. Las mezclas obtenidas por los dos enfoques producen un asiento (revenimiento) cero, que es el adecuado para la compactación con rodillo.

PRESAS	CEMENTO (KG)	CENIZAS VOLANTES (KG)	FINOS No. 200 ASTM (Sobre 2299 Kg de Andos)		Total Cemento + C.V + finos (Kg)	Tamaño máximo (mm)	RAIZ 5' $\sqrt{d}/150$	Finos homogeneizados (kg)	Agua
			%	KG					
TARABELA-Pakistán	110		3	66	176	150	1	176	
TAMAGAWA-Japón	91	30	3	66	196	150	1	196	95
BAYONA-España	90	90	3	66	246	100	0.92	226	110-115
WILLOW CREEK-USA	66		7	154	220	80	0.882	194	80
MIDDLE FORK-USA	71		4-10	88-220	159-291	75	0.87	138-253	106
MONKSVILLE-USA	62		10	220	282	75	0.87	245	
UPPER STILLWATER-USA	85	142	1	22	269	75	0.87	234	106
BRAAM RAUBENHEIMER-Sudáfrica	153		5	110	263	75	0.87	229	99
	62	36	10	220	282	75	0.87	245	
GALESVILLE-USA	53	68	5	112	201	75	0.87	174	74
	99	68	5	112	179	75	0.87	242	77
MILTON BROOK-USA	85	142	1	22	249	40	0.76	189	
CASTILBLANCO-España	80	103		5	188	40	0.76	143	

FIG. 4.49 DOSIFICACIONES DE ALGUNAS PRESAS IMPORTANTES

En la mayor parte de los proyectos de CCR masivo se ha usado equipo de dosificación por peso semejante al que se usa para el concreto masivo convencional.

En muchos proyectos se han utilizado con éxito revolvedor convencional para concreto, por lo general revolvedor grandes de tambor inclinable para mezclar el CCR masivo. Actualmente se han usado con mucho éxito grandes malaxadoras de doble flecha para mezclar el CCR masivo. Y se cree que las malaxadoras en realidad son superiores para mezclar el CCR relativamente seco y áspero en virtud de su intensa acción de frotado.

4.3.5. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA

Los estudios para la dosificación de la mezcla para el CCR deben considerar la resistencia, trabajabilidad, compactabilidad y durabilidad requeridas.

Los factores que deben considerarse para cumplir con estos criterios son el uso de agregado máximo con el tamaño máximo nominal práctico más grande, el uso de la cantidad mínima requerida de material cementoso, siendo una puzolana parte de este, y la aplicación de enfriamiento para los materiales ingredientes, en particular el agua y los agregados.

Son aplicables los métodos de dosificación del concreto convencional. El tamaño máximo del agregado grueso se fija principalmente por las condiciones de segregabilidad del concreto, oscilando éste entre 3/4" y 3", según sea la aplicación que se le dará.

Para determinar la granulometría más adecuada para el concreto puede utilizarse como punto de partida alguna curva de referencia similar a las del concreto convencional, pero tal, que el contenido de partículas de agregado grueso mayor que 5 mm no supere, ni que el contenido total de partículas de tamaño sea inferior a 0.08mm.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

TAMAÑO MÁXIMO	DOSIS DE AGUA (Lt/m3)
3"	100
1 1/2"	110
3/4"	120

FIG. 4.50 TAMAÑOS DE AGREGADOS

TAMAÑO MÁXIMO	VOLUMEN REAL DE AGREGADO GRUESO
3"	50%
1 1/2"	55%
3/4"	60%

FIG. 4.51 TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADOS

Estas características del concreto deben ser verificadas, por lo que antes de su uso en obra debe partirse empleando dosificaciones tentativas y verificar su comportamiento real en terraplenes de prueba, empleando los mismos equipos y técnicas constructivas que se emplearan en obra.

Esta verificación debe apuntar principalmente a la verificación del grado de compactación obtenido y de su segregabilidad.

El diseño de la mezcla se efectúa en función de una composición, que aproveche los insumos disponibles y logre al mismo tiempo satisfacer los requerimientos estructurales.

Si no se cuenta con una forma automatizada de definir el diseño, tiende a aceptarse el siguiente procedimiento:

- A. Se establece una granulometría de agregados, adaptada a la banda disponible.
- B. Se fija un consumo de cemento "C" y se calculan diferentes humedades con su proporción C: X, donde "X" es la cantidad de agregado total por cantidad de cemento por metro cubico de CCR.

Es decir, para un determinado consumo "C" y para una humedad fija, W, se tendrá una determinada cantidad de agregado total "X".

Variando la Humedad se obtienen diferentes cantidades "X" para un determinado consumo, con lo que se determina la humedad optima del CCR, a través de un ensayo de compactación (adecuación del ensayo Proctor). La óptima es aquella que permite alcanzar una máxima densidad específica.

PRESA	AÑO DE TERMINACION	ALTURA(m)	PROPORCIONAMIENTO (KG/M3)					DENSIDAD (KG/M3)
			AGUA	CEMENTO	PUZOLANA	ARENA	GRAVA	
WILLOW CREEK	1982	53	107	47	19	666	2581	2520
LONGTAN	2012	217	74	90	110	738	1497	2470

FIG.4.52 MEZCLAS DE CCR DE DOS PRESAS NOTABLES

4.3.6. PRUEBAS

Durante la construcción, las pruebas primarias son la modificada de Vebe, para la consistencia y, de este modo, para el control del contenido de agua, y la determinación de la densidad del CCR compactado in situ mediante el uso de un Nuclear Density Meter (medidor nuclear de la densidad), ASTM C1040. Se ha encontrado que los medidores de la densidad, "calibradores de estratos" de dos sondas, son en particular apropiados para los colados de concreto masivo de colada más gruesa. Aun cuando no se usan con amplitud para el control en el campo, a menudo se fabrican y prueban cilindros y vigas para fines de registro. Los cilindros y las vigas se fabrican y prueban de manera análoga a las del concreto convencional, excepto que la consistencia más rígida del CCR requiere que se hagan mientras está recibiendo la acción de una mesa vibratoria y con sobrecargas adecuadas en la parte superior.

4.3.7. TIPOS DE MEZCLAS

Según las tendencias seguidas en el mundo, Dustan (D2) del Reino Unido, establece cuatro tipos de CCR, tres se refiere al contenido de conglomerante y el cuarto a la Técnica:

CCR pobre en pasta (tabla4.53): el contenido de material cementante es menor de 100 kg/m3 de concreto con adiciones puzolanicas entre 0 y 30 %.

El bajo contenido en pasta conduce a densidades más bajas y unión deficiente entre capas, por falta de fluencia de la pasta en la superficie de cada capa. La permeabilidad promedio "in Situ" es del orden de 10^{-4} a 10^{-6} cm/s.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Esto requiere un tratamiento de la junta de construcción entre capa mediante el uso de un mortero de adherencia, la creación de una zona de concreto mas rico aguas arriba que impida el paso del agua, junto con un drenaje aguas abajo, junto con un drenaje aguas debajo de esta zona impermeable, o la utilización de una membrana que garantice en alguna forma la impermeabilidad del núcleo.

CCR contenido medio en pasta (tabla 4.53): posee un contenido de cemento entre 100 y 150 kg/m³ de concreto, con adiciones de puzolanas que varían entre 31 y 60 %. Tiene la pasta necesaria para rellenar todos los vacíos en el agregado, pero sin exceso de pasta, por lo que se requiere uso de morteros de adherencia entre capas.

CCR rico en pasta (tabla 4.53): el contenido de cemento es superior a 150 kg/m³ de concreto, con sustituciones de puzolana entre 61 y 80%. Se obtiene un material suficientemente impermeable (10^{-10} a 10^{-13} m/s); buena unión entre capas, por la fluencia de pasta a la cara superior de la tongada, y una densidad que oscila entre 98 y 99% de la densidad máxima del concreto sin huecos. Por lo tanto no requiere protección aguas arriba, ni mortero de adherencia entre tongadas. Sin embargo, en razón de su relativo alto contenido de materiales cementante, requiere la construcción de juntas transversales verticales de contracción.

Técnica japonesa: El contenido de cemento esta en el rango de 120 a 130 kg/m³ de concreto con un contenido de puzolana del 30 %, y espesores de capa de 70 cm, este espesor obliga al tratamiento de la junta entre capa y a la realización de un mayor numero de juntas transversales verticales de dilatación que son de menor cantidad en los tipos anteriores al permitir la sustitución de mayor cantidad de cemento por puzolana para obtener menores calores de fraguado, con capas de menor espesor.

Presa (País)	Cemento (Kg)	C.V. (Kg)	C+C.V. (Kg)	Agua (lts)	A.Fino (Kg)	A.Grueso (Kg)
RCC POBRE EN PASTA						
Willow Creek (USA)	47	19	66	107	704	1643
RCC CONTENIDO MEDIO EN PASTA						
Galesville (USA)	53	51	104	113	777	1519
Elk Creek (USA)	70	33	103	103	728	1439
Stagacoach (USA)	71	77	148	138	686	1459
Copperfield (Australia)	80	30	110	130	848	1272
Craigbourne (Australia)	70	60	130	117	819	1456
RCC RICO EN PASTA						
Upper Stillwater (USA)	77	170	247	107	672	1365
Marmot (USA)	71	107	178	104	753	1222
Castiblanco (España)	72	117	189	96	671	1450
Morales (España)	72	127	199	98	560	1519
Morales (España)	81	14	221	108	615	1415
TECNICA JAPONESA						
Ohkawa (Japón)	96	24	120	102	686	1490
Shin-Nakano (Japón)	84	36	120	95	723	1415
Tamagawa (Japón)	91	39	130	95	657	1544
Mano (Japón)	96	24	120	103	735	1520
Pirika (Japón)	84	36	120	90	668	1588

C.V. = Ceniza volante
C + C.V. = Cemento más ceniza volante.

FIG. 4.53 DOSIFICACION DE CCR PARA PRESAS

4.4. BORDO DE PRUEBA

Antes de dar inicio a la colocación del CCR en la presa es costumbre comprobar en el sitio de la obra la dosificación elegida en el diseño de la mezcla en el laboratorio, mediante la construcción de un bordo de prueba, en la cual se pone a prueba los equipos, materiales, tratamientos de juntas, encofrados, ensayos, además de los procedimientos de transporte, colocación y compactación que se pretenda utilizar, etc.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

La sección o bordo de prueba debe ser suficientemente grande como para permitir que el equipo y los procedimientos se "asienten" a la acción normal. Todos los materiales, equipo y procedimientos deben ser como los propuestos para ser aplicados en el proyecto principal.

Por término medio la longitud del bordo de prueba (Placa de ensayo en algunos países) es de 70 m y una altura de 5 a 10 m. Como planteamiento general del bordo de prueba a escala natural se estudian los siguientes aspectos: Diferentes dosificaciones frente a espesores de tongadas, número de pasadas del rodillo vibrante, densidad, permeabilidad, consistencia, porosidad, resistencia a la compresión, a la tensión y al esfuerzo cortante. Para establecer la incidencia de la realidad en los ensayos de laboratorio.

Solo así se podrá tener una razonable apreciación del comportamiento probable del material y de la presa misma en el futuro. El bordo se debe construir con la debida anticipación, para poder hacer calas y ensayar las muestras en el laboratorio, a fin de estar seguros de las propiedades del material terminado:

Se establecen periodos de tiempos diferentes para las juntas entre tongadas con tratamiento distinto o nulo de las mismas, midiendo la permeabilidad resultante en cada caso, Ensayos para diferentes tipos de tratamientos de los parámetros, control de la variación térmica dentro de la masa mediante termómetros.

Análisis de la segregación con diferentes métodos de puesta en obra. Utilización de diferentes compactadores con distinta frecuencia y amplitud.

Estudios de tratamiento mas sencillos en las interfaces entre concretos de diferente dosificación dentro del cuerpo de la presa, para conseguir la solución optima.

El bordo de prueba de la presa la “Manzanilla” en León Guanajuato México, se dividió en tres zonas con la finalidad de aplicarle a cada una un diferente número de pasadas con rodillo liso vibratorio durante el proceso de compactación. De tal forma que se aplicaron 2,4 y 6 pasadas respectivamente.

La zona de desplante de concretaplen se limpio con pico y pala, sopleteando con agua y aire hasta que el piso quedo perfectamente limpio. Una vez realizada la limpieza, se procedió a fabricar el concreto de liga seleccionado para este fin, con una relación grava-arena de 65/35 %= 1.86. consumo de cemento de 172.3 kg/m3. Relación agua cemento 0.63 con revenimiento cero.

Sobre la capa de 80 cm. De espesor de concreto de liga, se coloco la capa de 22 cm de CCR con tamaño de agregado de 3 “.Ya colocado el concreto, se procedió a su compactación respetando la zonificación predeterminada.

El control de calidad se efectuó mediante calas volumétricas, dando por resultado que se debía colocar el CCR en capas de 30 cm, con seis pasadas de rodillo liso vibratorio de 10 ton.

Terminado el bordo, se procedió a curar durante 28 días para proceder a la obtención de núcleos de concreto de prueba de 4” y 10 “ de diámetro, a los cuales de les efectuaron los estudios y pruebas necesarias, arrojando resultados satisfactorios.

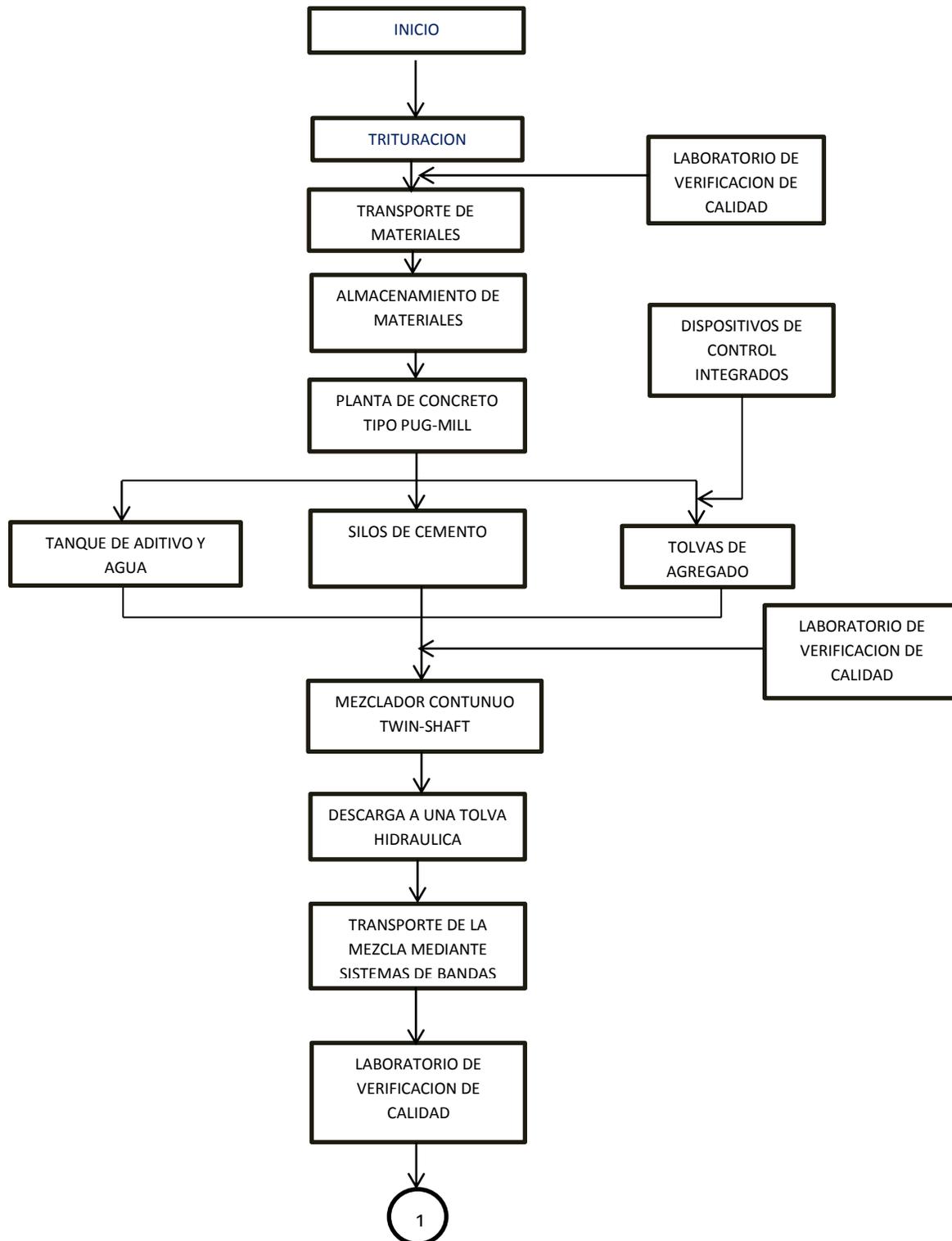


4.54 BORDO DE PRUEBA EN CAÑA BRAVA, BRASIL

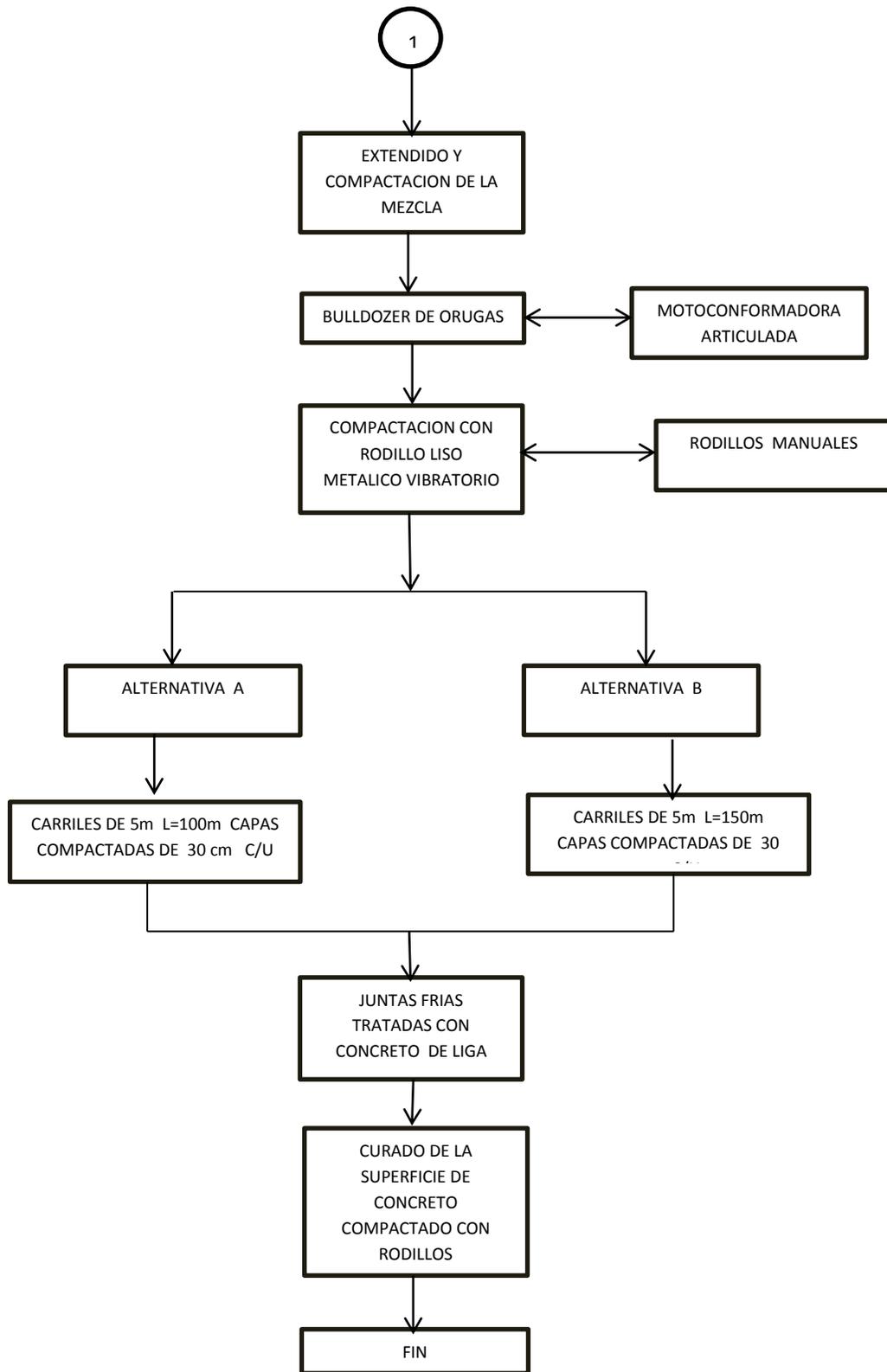


4.55 BORDO DE PRUEBA PRESA " ROMPEPICOS" SINALOA ,MEXICO

FIG. 4.56. DIAGRAMA DE FLUJO PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CCR



“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



4.6. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA UNA PRESA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO “CCR”.

1. Aprovechamiento del material producto de bancos de explotación previamente establecidos para la obtención de agregados que puedan utilizarse en la elaboración de las mezclas de concreto convencional y del concreto compactado con rodillo (CCR).
2. El material producto de banco de explotación se transporta y almacena en bancos de almacenamiento temporal para posteriormente ser acarreado por medio de camiones o cargador frontal y alimentar las plantas de agregados.
3. El material según sea el caso se lava, criba y clasifica.
4. Posteriormente se transporta a los bancos de agregados.
5. Dichos bancos se clasifican en gravas, gravarena y finos. Estos agregados clasificados se apilan junto a la planta de CCR llevando a cabo el control que se marca en las especificaciones.
6. Antes de empezar la fabricación del CCR se debe verificar ó hacer una inspección minuciosa de los sistemas y equipos, tanto de alimentación de materiales como del equipo de mezclado y de descarga con el objetivo de garantizar las condiciones óptimas para el buen funcionamiento de la planta de producción de CCR.
7. Se deberá verificar que siempre se tenga la cantidad de material disponible para garantizar que no se interrumpa la producción de CCR por falta de cualquiera de los materiales a utilizar.
8. Se deberá de inspeccionar que todos los equipos ó sistemas de transportación y manejo de materiales estén limpios y libre de cualquier sustancia que contamine a los materiales mismos.
9. Según el sistema de transporte ó acarreo que se vaya a utilizar para la colocación del CCR en el sitio, se deberá mantener en óptimas condiciones los sistemas, equipos, accesos y caminos para evitar segregación y pérdida excesiva de humedad de la mezcla, durante su transportación al sitio de colocación.
10. Se deberá producir el CCR manteniendo los proporcionamientos indicados por el personal autorizado.
11. Dependiendo del sistema de transporte del CCR se tendrá que revisar y controlar la descarga del mismo hacia los camiones ó bandas transportadoras con la finalidad de evitar al máximo posible la segregación y el mínimo tiempo posible de maniobras.
12. Para el mezclado, transportación, colocación, extendido y compactado se harán de acuerdo a los tiempos marcados en las especificaciones de construcción.
13. Antes de iniciar los trabajos de colocación se revisará la limpieza adecuada del área que debe ser libre de finos, material suelto y agua o cualquier material contaminante.
14. Posteriormente se colocará el concreto de liga en las áreas marcadas por las especificaciones y con los espesores indicados en las mismas.
15. Respetando los tiempos determinados en las especificaciones de construcción se procederá a la colocación, extendido y compactado del CCR realizando las juntas de diseño que se marcan en las especificaciones.
16. Dependiendo del sistema de colocación del CCR se deberá revisar lo siguiente: Si es con sistema de bandas, en la descarga se colocara tubo flexible y se revisará que la altura de la descarga sea la apropiada para evitar segregación y se formarán apilamientos de material que faciliten el extendido de los mismos.
17. Si es por medio de camiones se revisará que los neumáticos estén limpios y no contaminen la superficie limpia que recibirá el CCR, además que no deberá transitar sobre material fresco.
18. Independientemente de la forma de colocación del CCR se deberá tener el personal suficiente para remover cualquier segregación posible.
19. Se deberá colocar la cantidad de material adecuada para garantizar que el equipo lo extienda y compacte cumpliendo con los tiempos que se indican en las especificaciones.
20. Se deberán programar anticipadamente las áreas de colocación del CCR a manera de evitar paros por falta de material y juntas frías no necesarias.
21. El material se extenderá a una altura adecuada que nos garantice que el espesor de la capa ya compactada sea de 30 cms.
22. Al extender el material se cuidará que se mantenga la humedad superficial por medio de riego de aspersión, pero evitando la humedad excesiva o encharcamientos.
23. Para el extendido se recomienda utilizar el equipo adecuado para evitar pérdidas de tiempo por maniobras.
24. Inmediatamente después de haberse extendido el CCR, deberá compactarse con el equipo establecido en las especificaciones y que sea comprobada su eficacia. Con el cual nos garantice que con el mínimo de pasadas establecidas obtengamos la compactación para la densidad especificada. La cual se verificará con Densímetro nuclear de doble sonda.
25. Como se marca en las especificaciones se utilizará equipo de compactación mas pequeño pero que nos de los resultados de compactación especificados. Dicho equipo se utilizará en las áreas donde se limite el acceso al equipo de compactación mayor.
26. Se deberá evitar que circule cualquier maquinaria sobre el CCR recién compactado, ya que podría causar daños en dicha capa.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

27. En caso que se interrumpa la producción de CCR y la capa extendida y parcialmente compactada se aproxime al tiempo límite permitido, se procederá a cerrar dicha capa y dejar la preparación para la junta fría.
28. Inmediatamente después de la compactación se procederá al curado del CCR mediante riego por aspersión debiendo quedar la superficie húmeda sin producir encharcamientos y así deberá mantenerse hasta colocar la siguiente capa de CCR.
29. NOTA: Este procedimiento general deberá estar sujeto a cambios según especificaciones de un proyecto en particular.



Jiangya Dam, China 1997, altura 131m, 1,100,000 m³ concreto, bloques 3m de CCR de 10 capas

FIG.4.57



PreasWaldi Dayqah , Oman 2008, 600,000 m³ de CCR

FIG.4.58



Presa Kinta .

pre-cast block forms for 0.6m d/s steps for SLM in 3m lifts



FIG. 4.59 ETAPAS DE CONSTRUCCION

4.7. PROCESO CONSTRUCTIVO EN PAVIMENTOS

4.7.1. DISEÑO.

El diseño estructural del pavimento de CCR es similar al del pavimento de concreto convencional. La excepción es que lo normal es que al pavimento de EEC no se le tenga confianza respecto a cualquier transferencia de carga en las juntas o grietas. Aun cuando se puede esperar que el pavimento de CCR tenga una resistencia a la flexión algo mayor que el de concreto convencional con el mismo contenido de material cementoso, rara vez se le tiene confianza en el diseño estructural.

4.7.2. DISEÑO DE LA MEZCLA

Se efectúa en función de una composición económica, que aproveche los insumos disponibles y logre al mismo tiempo satisfacer los requerimientos estructurales.

Si no se cuenta con una forma automatizada de definir el diseño, tiende a aceptarse el siguiente procedimiento:

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

- a) Se establece una granulometría de agregados, adaptada a la banda disponible.
- b) Se fija un consumo de cemento “C” y se calculan diferentes humedades con su proporción C:X, donde “X” es la cantidad de agregado total por cantidad de cemento por metro cúbico de CCR.
Es decir, para un determinado consumo “C” y para una humedad fija, W, se tendrá una determinada cantidad de agregado total “X”.
- c) Variando la humedad se obtienen diferentes cantidades “X” para un determinado consumo, con lo que se determina la humedad óptima del CCR, a través de un ensayo de compactación (adecuación del ensayo Próctor). La óptima es aquella que permite alcanzar una máxima densidad específica.

4.7.3. MATERIALES.

En pavimentos los materiales que se emplean para la fabricación del CCR son los mismos que se usan para el concreto convencional, pero mezclados en diferentes proporciones.

4.7.3.1. CEMENTO

El cemento usado para el pavimento de CCR será semejante al usado para el de concreto convencional. Se debe reconocer cualquier necesidad de contenido bajo de álcali y de resistencia al sulfato. Aun cuando se han tenido proyectos en los que se usa sólo cemento portland, en la mayor parte de las pavimentaciones con CCR se ha empleado una puzolana, por lo general ceniza muy fina. Lo normal es que esto haya sido con la razón del 20 al 30% del material cementoso, principalmente para aumentar la trabajabilidad.

El cemento podrá ser Pórtland común, de alta resistencia inicial, escoria granulada de alto horno, puzolánico u otro. Para reducir su costo se pueden emplear mezclas de cemento con cenizas volantes o con grandes cantidades de adiciones activas.

El contenido por metro cúbico de material depende de la resistencia requerida. Para CCR usados como bases de pavimentos rígidos flexibles, la cantidad de cemento varía entre 40 kg/m³ y 120 kg/m³; mientras que para revestimientos expuestos al tráfico, se incrementa a un rango de entre 160 kg/m³ y 380 Kg/m³.

Los Agregados pueden ser naturales o productos de trituración que cumplan con la granulometría de diseño, dureza, ausencia de materia orgánica y arcilla.

Diferentes naciones definen, para las distintas aplicaciones, un tamaño máximo del agregado, que varía de los 14 mm hasta los 38 mm. Conviene tener presente que al aumentar el tamaño del agregado incrementan las probabilidades de segregación del CCR. La curva granulométrica definitiva de diseño deberá ser determinada en laboratorio, para lograr las características técnicas deseadas.

Cuando es necesaria una alta capacidad de soporte inicial (CBR), se incentiva el uso de grava triturada, lo que permite el tráfico inmediato sobre el pavimento después de la construcción.

Los agregados para el CCR deben tener los mismos estándares altos de calidad y graduación tal como los del concreto convencional. sin embargo los agregados finos para el CCR normalmente contendrán una gran proporción de material que pasa la malla no.200.

Un CCR que contiene agregado en bruto con un mínimo de proceso requiere de un gran contenido de agua, será menos durable, tendrá menos resistencia y menos adherencia entre capas que un CCR conteniendo agregados propiamente procesados.

Los agregados necesitaban ser de la misma alta calidad requerida para los pavimentos de concreto convencional. Se ha probado un tamaño máximo nominal de 37.5 mm, pero se encontró que las partículas más grandes causan un desgarramiento excesivo de la superficie cuando pasa sobre ellas la emparejadora de la pavimentadora. En casi todos los proyectos se ha usado un tamaño máximo nominal de 19.0 mm. En muchos de los proyectos de pavimentación con CCR ahora se piden dos tamaños de agregados, con un máximo de 19 mm, separados en la malla de 4.75 mm de modo que puedan combinarse para producir una gradación total dentro de una banda que va desde el 83 al 100% en peso que pasa la malla de 19.0 mm hasta el 2.8% que pase la malla de 75 mm.

4.7.3.2. AGUA

Debe estar libre de sustancias perjudiciales a la hidratación del cemento, por lo que es adecuado el uso de aguas potables. El porcentaje por metro cúbico de CCR varía entre 4% y 7% del peso de los materiales secos, es decir, aproximadamente un 70% del agua que normalmente se utiliza para fabricar un concreto común.

El control de la humedad de los agregados y de la mezcla es de gran importancia, pues los CCR son muy sensibles a la variación del contenido de agua. Su falta aumenta el riesgo de segregación y dificulta la compactación y el

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

acabado superficial, mientras que su exceso produce inestabilidad de la mezcla durante la compactación y disminución de la resistencia mecánica del material.

4.7.3.3. ADITIVO

En función de los procedimientos de colocación del CCR, puede ser necesario el uso de aditivos, fundamentalmente para aumentar el tiempo de trabajo del material, en cantidades semejantes a las usadas en los concretos tradicionales

Se han usado aditivos en las mezclas para pavimentación con CCR pero no hasta el punto en que se usan en el caso del concreto convencional. En varios proyectos se ha usado con éxito un aditivo retardador para dar lugar a un tiempo de trabajo más largo para manejar el CCR. En particular para ayudar en la obtención de una buena adherencia en las juntas de construcción. Hasta la fecha, en ningún proyecto de pavimentación con CCR se ha aplicado la inclusión de aire en otra forma que no sea como prueba. Aun cuando los resultados de las pruebas de laboratorio de congelación y deshielo rápidos, ASTM C666, en las mezclas de pavimentación con CCR han conducido a resultados mezclados, el registro real de servicio de durabilidad del CCR en diversos tipos de climas de invierno severo ha sido excelente.

4.7.4. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA.

La dosificación de la mezcla para el CCR de pavimento sigue las directrices del concreto masivo, excepto en que las cualidades esenciales serán la resistencia a la flexión, trabajabilidad, compactibilidad y durabilidad, sin interés particular por la elevación del calor debida a la hidratación del cemento. Como la resistencia es un factor principal, la mezcla del CCR para pavimento tendrá un contenido cementoso mucho más elevado que el del CCR masivo, en general en el rango de 282 a 356 kg/m³. El método más común de dosificación de la mezcla es la dosificación con la aplicación de conceptos de compactación de suelos, según se da en el análisis sobre el CCR masivo. Una vez más, toda la dosificación de la mezcla exige el uso de mezclas de prueba para determinar lo adecuado de esas mezclas para la construcción.

El tipo de planta de elaboración de concreto depende del volumen de la obra y de los rendimientos requeridos, así como de los agregados que ejecutaran el transporte, la colocación y la compactación.

La dosificación y el mezclado del CCR para pavimentación se puede efectuar de la misma manera que la del CCR masivo. Sin embargo casi todos los proyectos de pavimentación con CCR se ha aplicado la alimentación continua y revolventoras malaxadoras continuas de doble flecha, en virtud de la capacidad de este tipo de planta y la economía resultante. Se considera que es preferible el uso de malaxadoras por su intensa acción de frotado sobre la mezcla de CCR y por el hecho de que los ingenieros y contratistas de pavimentación están familiarizados con ellas. El tamaño de la malaxadora y el tiempo que el material esté en ella deben ser tales que la mezcla se entre mezcle uniformemente y las partículas de agregado se recubran por completo. Se puede lograr esto al ajustar la razón de alimentación y el ángulo de las paletas en la malaxadora, incluso invirtiendo algunas de éstas. Los materiales del agregado se deben alimentar desde pilas de almacenamiento hacia depósitos de alimentación en la planta dosificadora. Es muy importante que la alimentación de cada material ingrediente desde su depósito sea uniforme y pueda ajustarse con facilidad. Las buenas plantas tendrán velocidad ajustable en las bandas de alimentación para cada agregado, con básculas para banda y acoplamientos electrónicos entre la alimentación del agregado y las alimentaciones para los materiales cementosos. Es importante tener la seguridad de que las proporciones en la mezcla permanecen constantes. Un artículo necesario cuando se utiliza una planta continua es una tolva de transferencia en el extremo de la alimentación final hacia los camiones de acarreo, con el fin de permitir que la planta dosificadora funcione en forma continua sin detenerse entre los camiones que acarrear la mezcla. Detener la planta dosificadora siempre causa un cambio apreciable en la mezcla durante el rearranque.

Si el CCR es muy seco, el tiempo de mezclado necesario es mayor, se debe obtener muestras en planta para confirmar y corregir el contenido de humedad.

4.7.5. PRUEBA Y SECCIÓN DE PRUEBA.

Durante la construcción, la prueba principal de control es la prueba de densidad en el campo del pavimento de CCR compactado in situ y, por supuesto, la prueba de nivelación de la superficie del pavimento. La determinación de la densidad en el campo del CCR compactado se realiza con un medidor nuclear de densidad, según la ASTM C1040. Por lo común se usa un medidor de una sola sonda para los pavimentos de CCR. Un criterio común para la densidad requerida es que se satisfaga al menos el 98% de la densidad máxima alcanzada en el laboratorio con el mismo material, aplicando la ASTM Standard 01557. Es muy importante que el medidor nuclear se calibre a diario con un bloque de prueba de la mezcla de CCR de dimensiones y pesos conocidos. Se deben hacer pruebas frecuentes de gradación de los agregados. Unas cuantas dependencias aplican la prueba de Vebe para las mezclas para pavimento de CCR. La cantidad de agua incorporada a la mezcla se debe controlar de manera constante por parte del operario de la revolvedora con base en examen visual de la mezcla al pasar por la revolvedora y en los informes del sitio de la pavimentación. El operario debe controlar con cuidado el contenido de agua para proporcionar una mezcla de CCR que se cuele y compacte de manera apropiada; una variación en más o en menos de sólo el 0.1% en el contenido de agua producirá una diferencia significativa en el colado y la compactación. Aunque rara vez se usan vigas de prueba para el control, se fabrican a menudo y se prueban con la finalidad de llevar registros. Las vigas se fabrican del mismo modo que para el concreto convencional excepto que, debido a la mezcla relativamente seca y áspera, normalmente se soportan sobre una mesa vibratoria durante la fabricación y se usa una sobrecarga en la parte superior.

Para los pavimentos de CCR se deben usar secciones de prueba de campo, antes de iniciar la pavimentación, para verificar las proporciones de la mezcla seleccionada y hacer cualquier ajuste que sea necesario, así como para que el contratista determine lo conveniente del equipo y de los procedimientos de construcción. La sección debe tener un ancho de dos carriles, con parte de la junta entre los carriles construida como una junta fresca y parte como una junta fría. La sección de prueba debe ser suficientemente larga para dar lugar al equipo para que se establezca en el modo usual de operación. Todos los materiales, equipo y procedimiento deben ser como los propuestos para ser usados en el proyecto principal de pavimentación.

4.7.6. TRANSPORTE.

La mezcla de CCR se acarrea desde la planta dosificadora hasta el sitio de la pavimentación en camiones de descarga por detrás. A diferencia del CCR masivo que se vuelca sobre el área de trabajo, el CCR para pavimentación se voltea directamente en la tolva de las máquinas de pavimentación (de tendido). El transporte, y todas las demás operaciones, deben programarse y controlarse de modo que llegue una alimentación uniforme y continua de mezcla de CCR a la pavimentadora, con el fin de evitar que ésta se detenga. Es imposible detener la pavimentadora y volver a arrancarla sin causar una irregularidad en la superficie del pavimento.

4.7.7. PAVIMENTACIÓN (TENDIDO).

Mientras que el CCR masivo se distribuye y compacta para dar lugar a una superficie sólo aproximadamente lisa, el CCR para pavimentación debe distribuirse y compactarse para suministrar una superficie densa, uniforme y muy lisa, semejante a la que se espera de los pavimentos de concreto convencional y de asfalto. Para lograr esto, es necesaria una máquina de pavimentación para distribuir, nivelar y consolidar parcialmente el CCR. Las máquinas usadas son las mismas que las usadas para la pavimentación con asfalto o similares a éstas. Al principio, se usaron máquinas convencionales American para pavimentación (tendido) con asfalto, La pavimentadora moderna American para asfalto sólo tiene emparejadoras vibratorias, las cuales hacen poco para consolidar el CCR, y esas máquinas no se diseñaron para manejar con éxito las gruesas coladas que se usan con el CCR. Pronto, un fabricante alemán sacó al mercado una pavimentadora para servicio pesado con emparejadoras apisonadoras, así como emparejadoras vibratorias, construidas para manejar los pavimentos de CCR.

Estas máquinas hacen de la pavimentación con CCR un proceso mucho más práctico y hay varias de ellas en uso en Estados Unidos así como en otros países. Esta máquina manejará en forma satisfactoria coladas compactadas hasta de 0.25 m y la emparejadora apisonadora dará del 90 al 95% de la compactación total requerida, dejando de este modo menos trabajo para los rodillos. Se debe tener cuidado en conservar todas las fases de esta máquina y su operación ajustadas apropiadamente para evitar que aparezcan pequeños desgarramientos en la superficie. La pavimentadora debe controlarse electrónicamente desde líneas de cordeles a cada lado del carril, o bien, una línea de cordel en uno de los lados y un esquí que corra sobre un carril colado previamente. No se deben usar aparatos de control de la pendiente sobre la pavimentadora. En algunos casos, han trabajado bien controles láser. Se deben realizar todo tipo de esfuerzos para mantener coordinados la velocidad de la pavimentadora y la alimentación de la mezcla de CCR, de modo que no se detenga el movimiento hacia adelante de esa pavimentadora. Una vez más,

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

cuando la pavimentadora se detiene y vuelve a arrancarse, siempre se presenta una imperfección. Durante la pavimentación de carriles subsiguientes, la emparejadora de la pavimentadora debe estar ligeramente más arriba para tomar en cuenta el asentamiento por la compactación. La emparejadora debe traslaparse ligeramente sobre el borde del otro carril. El material depositado sobre el borde del carril previo debe empujarse hacia la línea de la junta con una arcilla, antes de pasar los rodillos.

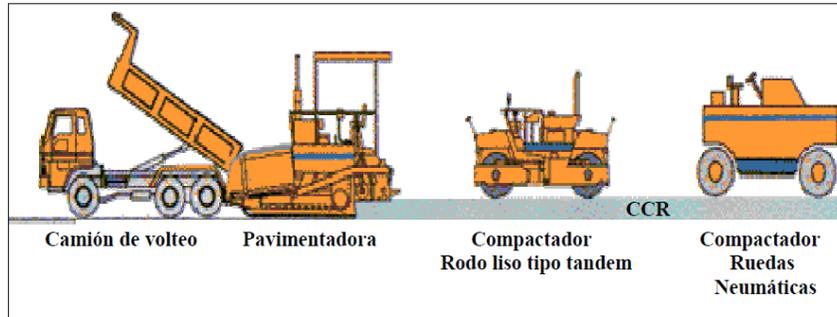


FIG. 4.60 TREN DE COLOCACION Y COMPACTACION DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

4.7.8. COMPACTACIÓN.

Después de que la mezcla de CCR ha sido distribuida y parcialmente compactada por la pavimentadora, se realiza la compactación final por medio de rodillos vibratorios de rueda de acero y tambor dual. Los requisitos usuales han sido los mismos que para los rodillos usados para la construcción con CCR masivo: peso bruto de 9070kg y la producción de una fuerza dinámica entre 6390 y 8030 kg por metro lineal de ancho del tambor. Es obvio que debe usarse el vibrador sobre el rodillo para dar lugar a la compactación requerida. Como se hizo notar con anterioridad, los requisitos usuales son de que, después de la compactación, la densidad en el campo debe ser al menos el 98.5% de la densidad máxima alcanzada en el laboratorio con el mismo material, aplicando la ASTM Standard D1557. Por lo general se necesitan cuatro pasadas del rodillo vibratorio de doble tambor sobre el área completa, de todos modos, y más si no se ha alcanzado la densidad requerida. (Un viaje de ida y vuelta de un rodillo de doble tambor a través de la misma área constituye dos pasadas.) La densidad en las juntas longitudinales de construcción suele especificarse en un valor más bajo, a menudo el 96.5%. Sin embargo, la densidad en la junta es un asunto de extrema importancia y debe tenerse gran cuidado con ello. El paso de los rodillos sobre las juntas debe controlarse con cuidado. Los rodillos deben mantenerse en operación muy cerca detrás de la pavimentadora. De lo contrario, en particular en tiempo cálido, la mezcla se endurecerá hasta el punto en que no pueda completarse la compactación.

El concreto se suele compactar hasta una densidad del 95 % - 100% de la correspondiente al ensayo de Proctor modificado (A.A.S.H.T.O. T 180) con rodillos vibratorios con una carga normal de 20 kg a 35 kg por cm de ancho de rueda. En espesores mayores de 200 mm se aconseja su compactación en dos capas, en el mismo día, con un corto intervalo entre ellas.



FIG. 4.61 COMPACTACION CON RODILLO LISO Y DETERMINACION DE DENSIDAD

4.7.9. JUNTAS

Se ha propuesto el uso de juntas de construcción cada 3.5 m, aunque en algunas regiones se han presentado agrietamiento transversales, semejantes a los de los pavimentos. Se hacen cortando el pavimento durante los primeros días posteriores a la colocación del concreto.

Debe evitarse la ejecución de juntas longitudinales de construcción, razón por la cual se recurre al uso de aditivos retardantes de fraguado.

Como el concreto tiene una baja relación agua cemento las fisuras o grietas suelen producirse a relativamente grandes distancias, de 10 m a 20 m. Estas grietas no causan serios problemas, razón por la cual generalmente no se practican juntas.

4.7.10. JUNTAS LONGITUDINALES DE CONSTRUCCIÓN (JUNTAS DE CARRILES).

Las juntas longitudinales de construcción son áreas críticas en la construcción de pavimento con CCR. En el problema principal interviene el hecho de que es casi imposible compactar en forma adecuada las pocas pulgadas exteriores del borde libre de un carril de pavimentación, es decir, hasta que se haya colado un carril adyacente junto a él para soportar el rodillo. Ésta es la razón por la que, en la pavimentación de carriles múltiples, existe un tiempo límite dentro del cual debe colarse el carril adyacente, antes de que se le considere una junta fría. Un tiempo límite usual es de 60 min, en condiciones atmosféricas moderadas, y de 30 min en tiempo cálido. Si el carril subsiguiente se cuela dentro de este tiempo límite, el CCR del primer carril estará suficientemente plástico como para que se pueda aplicar el rodillo a los dos lados de la construcción en conjunto, los dos lados quedarán adecuadamente compactados y los dos se entrelazarán entre sí. Si se sobrepasa el tiempo límite, deben quitarse del primer carril los 0.15 a 0.20 m exteriores de material subcompactado, antes de colar el segundo carril. Por lo general se cortan con una cortadora giratoria (disco) y el material exterior se quita y desecha. En los proyectos grandes, a menudo se resuelve de modo parcial este problema si se tienen dos pavimentadoras operando en escalón, la segunda detrás de la primera en el carril adyacente.

4.7.11. JUNTAS TRANSVERSALES.

Originalmente, los pavimentos de CCR se construyeron sin juntas transversales de construcción y se dejó que los carriles desarrollaran grietas transversales en donde fuera. Debido a la extrema sequedad de la mezcla y a su alta resistencia, estas grietas se espaciaron más de lo que se habría esperado con el concreto convencional, por lo común de 15 a 20m. Estas grietas presentaron una tendencia mínima a desmoronarse o a causar otro problema. Este método ha probado ser bueno en donde el aspecto no representa un problema. En los últimos años, la concepción ha ido cambiando y en muchos proyectos, en particular aquellos en donde el aspecto sea un factor, se tendrán que aserrar y sellar juntas transversales, de modo semejante a los pavimentos de concreto convencional. El espaciamiento será alrededor de 12 m. En otras palabras, háganse las grietas en líneas nítidas en donde se deseen. Hasta ahora, nadie ha realizado mucho acerca de la manera de aserrar y sellar las juntas longitudinales. En general, una junta longitudinal de construcción bien construida entre carriles se abre muy poco y muestra que no constituye un problema.

4.7.12. CURADO Y PROTECCIÓN.

Es fundamental curar el concreto con cualquiera de los procedimientos conocidos. El curado del CCR es crítico en extremo. El curado se debe iniciar inmediatamente después de los rodillos y nunca debe permitirse que la superficie se seque. A diferencia del concreto convencional, que tiene agua de sangrado, aun cuando sea limitada, que mantiene húmeda la superficie durante los primeros minutos, el pavimento de CCR no cuenta con esa agua y, de inmediato, debe agregarse agua y debe ser en forma continua. De lo contrario, la superficie puede morir con rapidez y es ella la que debe absorber la abrasión debida al tráfico. Hasta que la superficie haya endurecido, debe aplicarse agua con boquilla nebulizadoras de rocío fino. Después de endurecer, pueden usarse rocíos más gruesos y un sistema común y muy eficaz es usar tubería para irrigación y rociadores.

El curado debe continuarse por lo menos durante 7 días. Aun cuando no es tan bueno, se ha usado compuesto para curado formador de membrana. Si se emplea, se le debe dar el doble del espesor usual y debe aplicarse con un aplicador mecanizado del tipo para pavimentación montado en una armadura a horcadas sobre el carril. El pavimento de CCR debe protegerse contra la congelación y el tráfico pesado mientras dure el periodo de curado. En algunos proyectos se usarán camiones con agua para el curado. Si es necesario que estén sobre el pavimento, deben controlarse con cuidado y no permitir que realicen vueltas pronunciadas, para evitar que desgasten la

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

superficie. Durante la pavimentación, debe contarse con suficiente forro de plástico en el sitio para proteger el concreto fresco y no endurecido, en el caso de que caiga una fuerte lluvia.

Guía para el uso del CCR en Pavimentos recomendada por el Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto para el trabajo del Concreto Compactado con rodillo.

1.- Mezcla de insumos que forman el concreto: la combinación de insumos se realiza en un mezclador de eje horizontal con descarga basculante o de doble eje horizontal con paletas. La carga que recibe el mezclador debe estar acorde con su capacidad total, con objeto de obtener un mezclado homogéneo de todos los componentes del concreto seco.

2.-Determinación del porcentaje de humedad: se debe tener un adecuado control de la humedad de campo de los agregados para ajustar correctamente el agua de mezclado. Recordar que se trata de una mezcla muy seca.

3.-Protección de la mezcla en la vagoneta: para evitar la evaporación superficial de la mezcla durante el transporte, se debe de tomar todas las precauciones del caso, como utilizar un aditivo retardador de evaporación.

4.-Transporte de la mezcla a la obra: se realiza con camiones volquetes o vagonetas coordinados muy bien en ciclos de cargas, transporte y descarga, con el objeto de evitar demoras en la colocación del producto.

5.-Posicionamiento de la vagoneta, frenado y descarga: la aproximación de la vagoneta hasta el mecanismo de empuje de la pavimentadora se debe realizar con cuidado para evitar que se riegue el producto por los costados de la tolva o se pierda la dirección de la máquina.

6.-Colocación del concreto seco con máquina pavimentadora: lo realiza la máquina pavimentadora a la que, previamente, se le da el ancho a colocar. Dependiendo del espesor del pavimento se gradúan la presión de las reglas con el objeto de obtener una precompactación en el rango de 96%. 98% del ensayo Proctor Modificado ASTM D-557. De esta forma se asegura la durabilidad del pavimento de Concreto Compactado con Pavimentadora.

7.- Condiciones climáticas: se debe colocar el concreto a una temperatura ambiente entre 5° C y 35° C. No se permite su colocación en caso de lluvias, porque puede producir erosión o daños.

8.-Precaución contra la evaporación superficial extrema: por tratarse de un concreto con muy poca agua, se debe de tomar las medidas necesarias para evitar la evaporación superficial extrema.

9.-Compactado y determinación del porcentaje de compactación final: la compactación final sobre el 98% asegura la durabilidad del pavimento y esto se consigue con la pavimentadora o con el paso de un rodillo de doble tambor. La determinación del porcentaje de compactación se obtiene con un Densímetro Nuclear.

10.- Curado del pavimento: el CCR necesita un buen curado para evitar fisuras propias de la retracción. Esta fase se realiza con una emulsión asfáltica que se aplica con rociador, con agua o con un compuesto de cura.

11.-Colocación de arena y corte: en caso de curado con la emulsión asfáltica y con la finalidad de que esta no desprenda la capa superficial del CCR se coloca arena seca o material de secado. Luego se realiza cortes de juntas transversales cada 4 m o 5 m y un corte longitudinal en la mitad del ancho del pavimento (si se ha colocado en ancho de doble carril). Con lo que se previene la aparición de fisuras aleatorias.

12.- Limpieza y relleno de juntas: una vez terminados los cortes se limpian las juntas con aire o agua a presión y se rellenan con cintas de caucho o silicón. Estos materiales evitan el ingreso de agua y la rotura de filos.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

4.7.13. UTILIZACION

La mayor utilización del concreto compactado con rodillo en pavimentos se ha extendido al de las playas de acopio de materiales en las que maniobran equipos muy pesados y en general al de los caminos con tránsito de cargas también de gran peso.



FIG. 4.62 ETAPAS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

5.- CASO PRACTICO “PRESA DE ALMACENAMIENTO EL REALITO”

5.1 ANTECEDENTE

Para aprovechar las aguas del Río Sta, María, La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) construye una presa de almacenamiento con cortina rígida tipo gravedad, construida bajo la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) sobre el mismo río, para suministro de agua a la ciudad de San Luis Potosí en una primera etapa y al estado de Guanajuato en una segunda. El sitio se encuentra localizado sobre el río Santa María, a unos 500 metros aguas arriba de la comunidad de El Mineral de El Realito, Mpio. de San Luis de la Paz, Gto. en las coordenadas 21°37'30" de latitud norte y 100°15'00" de longitud oeste hasta la población de Tierranueva.



FIG.5.1 PRESA DE ALMACENAMIENTO EL REALITO EN CONSTRUCCION

LOCALIZACION DEL PROYECTO

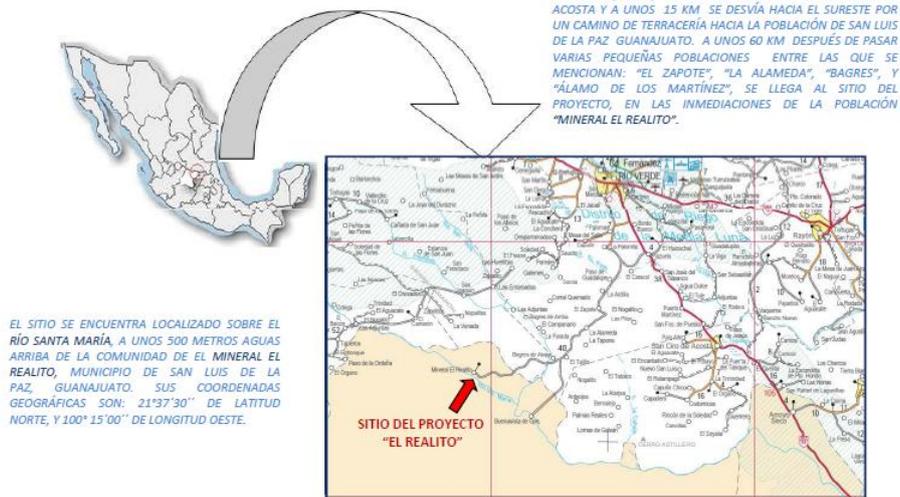
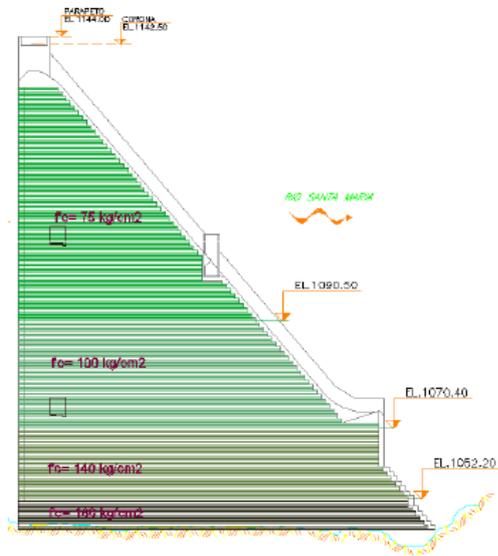


FIG. 5.2 LOCALIZACION DE PROYECTO

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



TIPO DE PRESA	CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)
ELEVACIÓN CORONA	1,142.50 m.s.n.m.
ELEVACIÓN DE DESPLANTE	1,052.00 m.s.n.m.
ALTURA MÁXIMA	90.50 m
LONGITUD DE LA PRESA	270.00 m
ANCHO DE LA CORONA	6.00 m
ANCHO DE BASE	77.00 m
CAPACIDAD ÚTIL	30 Millones de m ³
CAPACIDAD DE AZOLVES	20 Millones de m ³
VOLUMEN DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO	430,000 m ³
ANCHO DE LA CRESTA VERTEDORA	80.00 m
GASTO DE VERTEDOR	1,670 m ³ /s
OBRA DE TOMA, TIPO TORRE Y TUBERÍA A PRESIÓN.	Q= 2.0 m ³ /seg. DIAM. 54 PULGS.

FIG.5.3 DATOS BASICOS DEL PROYECTO

Vaso de almacenamiento		
Elevación al NAMINO	1,098.50	msnm
Elevación al NAMO (Nivel de aguas máximas ordinarias, que deberá coincidir con la cresta vertedora)	1,137.60	msnm
Capacidad Muerta	20	Millones de m ³ (Mm ³)
Capacidad de Conservación	50	(Mm ³)
Elevación correspondiente a la capacidad de azolves	1,115.55	msnm
Elevación al NAME (Nivel de aguas máximas extraordinarias)	1,142.38	msnm
Longitud del vertedor	80	m
Curvas de capacidades áreas elevaciones del vaso	Fig. 1.1	
Obra de desvío		
Periodo de retorno (TR) para el diseño	50	Años
Cortina		
Bordo Libre (Presa de Concreto)	1.70	m
Obra de excedencias		
Tipo	Cresta libre	
Gasto máximo de entrada al vaso de la presa	1,744.00	m ³ /s
Gasto máximo de descarga del vertedor (Gasto de diseño).	1,670.00	m ³ /s
Periodo de retorno de la avenida de entrada (Tr)	10,000	Años
Obra de toma para agua potable		
Gasto	2.00	m ³ /s
Diámetro conducto de descarga de la obra de toma	54	pulgadas
Elevación umbral de la entrada 1	1,097.00	msnm
Elevación umbral de la entrada 2	1,107.00	msnm
Elevación umbral de la entrada 3	1,117.00	msnm
Elevación umbral de la entrada 4	1,127.00	msnm
Toda esta información y datos de proyecto no se podrán modificar		
msnm = metros sobre el nivel del mar		
Mm ³ = millones de metros cúbicos		
m ³ /s = metros cúbicos por segundo		

EMPRESA CONTRATISTA: GRUPO CARSO INFRAESTRUCTURA Y CONSTRUCCION SA DE CV

EMPRESA DE SUPERVISION: PYP SA GRUPO PROFESIONAL PLANEACIOY PROYECTOS SA DE CV

CLIENTE: CONAGUA

FIG.5.4 DATOS TECNICOS

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El proyecto consiste en las siguientes obras o estructuras:

- Obra de Desvío
- Cortina
- Obra de Toma para agua potable
- Obra de Excedencias
- Obras Asociadas



FIG.5.5. DIFERENTES OBRAS QUE INTEGRAN EL PROYECTO

5.2 CONSTRUCCION

El material que se utiliza para construcción de la cortina es concreto compactado con rodillo (CCR), el cual esta formado por una mezcla de grava, arena, cemento y agua, con revenimiento nulo, que será compactada mediante vibración externa, utilizando rodillo liso vibratorio y tamaño máximo de agregado de 76.2 mm (3”).

5.2.1 BORDO DE PRUEBA.

Antes de iniciar la colocación de concreto compactado con rodillo en la cortina y con la suficiente antelación, se construyo un bordo de prueba con objeto de verificar la eficiencia del equipo, tanto para transportar como para extender y compactar el CCR así como para evaluar el diseño, características de la mezcla tentativa establecida por el contratista y aceptada por el cliente. y efectuar las correcciones necesarias para obtener una mezcla manejable y apta para la compactación con rodillo, el bordo tuvo las características siguientes: Longitud 24 m, Ancho de corona Dos veces el ancho del rodillo que se utilizará en la construcción de la cortina, 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. tendrá una sección transversal. Un paramento será vertical y el otro paramento tendrá un talud de 0.8:1.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG.5.6 BORDO DE PRUEBA

El bordo se construye en el sitio de la obra, evitando que formara parte de la cortina o que interfiriera con las actividades para la construcción de la misma. El lugar preciso se fija siempre aguas abajo de la cortina. Los materiales de construcción fueron los mismos que se utilizarán en la construcción de la cortina, con base en la establecida granulometría y la mezcla de partida a la cual se le harán los ajustes que previamente haya propuesto la CNA o los que resultarán durante la ejecución del bordo de prueba.



FIG. 5.7 COLOCACION DE JUNTA DE CONSTRUCCION EN BORDO DE PRUEBA

Previo a la construcción del bordo, se deberá contar con lo siguiente: La o las clasificadoras para la obtención de agregados en operación satisfactoria, agregados triturados y clasificados (grava 3, 2 y 1) y transportada la arena triturada, cribada y si fuera el caso lavada. La o las dosificadoras totalmente instaladas, calibradas y en operación a satisfacción del cliente.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El sistema de descarga de las tolvas para alimentar la banda transportadora o cargar los transportes, sin que se presente segregación, todo debidamente instalado y probado. Vehículos de transporte de CCR y de concreto convencional. Las formas prefabricadas para la formación del paramento vertical del bordo, con la resistencia y características señaladas en el proyecto, que la CNA le aprobó al contratista. Colada la losa de regularización del desplante del bordo de prueba formada con concreto convencional y de un espesor mínimo de 30 cm con el fin de tener una superficie sensiblemente horizontal.

El equipo de colocación, extendido de las capas de CCR, el equipo de compactación (rodillo liso vibratorio) y equipo de compactación especial (placa vibratoria o el propuesto por el Contratista).

Cemento puzolánico Norma Mexicana C-2 almacenado en silos.



FIG. 5.8 COMPACTACION EN BORDO DE PRUEBA

Previo a la colocación del CCR en el bordo de prueba se coló una losa de regularización, cuya superficie tuvo la mejor adherencia posible para lo cual se preparo dicha superficie en una de las formas siguientes:

- Provocando huellas cuando el concreto aún se encontraba fresco, aumentando con ello la superficie de adherencia entre concreto convencional y CCR.
- Descubrir 1/3 (un tercio) del tamaño máximo de agregado después de endurecida la superficie del concreto, mediante medio mecánicos o químicos.



FIG. 5.9 NIVELACION DE CIMBRA



FIG. 5.10 COLADO DE MURO DE CONCRETO

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Una vez colada la losa de regularización, se curó la superficie durante siete días con agua. La superficie permaneció húmeda al inicio de la colocación del CCR. En el borde el CCR se dividió longitudinalmente en tres zonas: A, B y C, las cuales se compactaron con 4, 6 y 8 pasadas respectivamente de rodillo liso vibratorio autopropulsado de 10 toneladas de peso. El concreto se elaboró utilizando el método propuesto por el Contratista para la construcción de la cortina, pudiendo modificarse o rechazarse si a criterio del cliente no cumple con las características deseadas.

El CCR y concreto de liga se transportó y colocó con el equipo propuesto por el Contratista para los trabajos de la cortina, formando capas de 30 cm de espesor de material suelto. El paramento vertical se construyó con las formas prefabricadas que se emplearon en la construcción de la cortina, las formas se manufacturaron con el tiempo necesario para alcanzar la resistencia de proyecto. La forma se colocó conforme avanzó la construcción y se coló concreto convencional de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ entre la forma y el CCR en un ancho de 150 cm en la base, compactando este concreto convencional con vibrador de inmersión. La primera capa se formó con 8 cm de concreto de liga y 22 cm de CCR sueltos y se compactó el espesor suelto de 30 cm. Se colocaron y compactaron las siguientes tres capas de CCR de tal forma que el proceso fue continuo evitando la formación de juntas frías. La superficie del CCR se curó 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.



FIG.5.11 CALIBRACION DE PLANTA DE CONCRETO Y PRODUCCION DE CCR.

La formación de la quinta capa se efectuó colocando una capa de concreto de liga de 8 (ocho) cm de espesor e inmediatamente una capa de CCR de 22 (veintidós) cm y se procedió a compactar. Las siguientes dos capas se colocaron y compactaron en forma continua para que en estas tres últimas no se formen juntas frías. La superficie de la séptima capa se curó durante veinticuatro horas antes de colocar la siguiente capa. La formación de la octava capa se efectuó colocando una capa de concreto de liga de 8 (ocho) cm de espesor e inmediatamente una capa de CCR de 22 (veintidós) cm y se procedió a compactar. Las siguientes dos capas se colocaron y compactaron en forma continua para que en estas tres últimas no se formaran juntas frías. Durante la construcción del borde de prueba el Contratista realizó con el equipo que propuso, la compactación especial en los extremos de las capas de CCR (en la zona adyacente al concreto de la membrana impermeable y en el talud).

Entre capa y capa se efectuaron dos calas en cada una de las zonas en que se subdividió el borde de prueba, para conocer el peso volumétrico húmedo del material compactado. El borde de prueba se curó mediante la aplicación continua de agua durante 28 días. Para determinar la resistencia a la compresión simple de las diez capas del borde de prueba se obtuvieron núcleos con diámetro de 15 (quince) cm y relación de esbeltez del orden de 2 (dos).

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG.5.12 COLOCACION DE CONCRETO DE LIGA Y EXTENDIDO DE CCR



FIG. 5.13 BORDO DE PRUEBA

Para la programación de la colocación en la cortina de los concretos compactados con rodillo el Contratista debió considerar que los resultados del bordo de prueba se tendrán aproximadamente 40 (cuarenta) días después de la colocación y compactación de la primera capa en el bordo.

5.2.2 CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL BORDO DE PRUEBA SE DETERMINO:

- La Evaluación del sistema de soporte del paramento vertical.
- La Evaluación de la eficiencia del equipo utilizado para la compactación especial.
- La Evaluación de la eficiencia del equipo utilizado para la transportación, descopetado y extendido de las capas.
- Se Determino el número de pasadas requeridas para obtener el peso volumétrico del proyecto que el contratista considero en el análisis de estabilidad.
- Se definió si es necesario hacer alguna modificación a la mezcla establecida por la Contratista o las propuestas por la CNA.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG. 5.14 COLOCACION DE JUNTAS DE CONSTRUCCION

5.2.3 COLOCACION DE MATERIALES EN LA CORTINA.

La cortina se formo con los materiales mostrados en los planos del proyecto. Los taludes de los materiales indicados en los planos del proyecto pudieron sufrir alguna modificación si durante la ejecución de la obra fuera necesario. El Contratista efectuó la construcción de la cortina, colocando los materiales que la forman, dentro de las líneas de proyecto. Se marcaron en forma visible en las laderas, las trazas correspondientes, así como las escalas de nivel que sirvieron como referencia para su colocación.



FIG. 5.15 PROCESO DE COLOCACION Y COMPACTADO

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

5.2.4 BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO.

Los agregados para concreto se obtienen de los bancos “tres piedras” que se explota la roca y por trituración se obtienen las gravas y arenas requeridas para la fabricación de concretos CCR e hidráulicos. También se consideraron si los playones del rio santa María son suficientes y no reactivos con los álcalis del cemento y establecerá el tratamiento que se tenga que hacer para la autorización de la grava y la arena.



FIG. 5.16 EXPLOTACION BANCO DE MATERIALES “ TRES PIEDRAS “

Una vez seleccionado y autorizado la explotación de un banco de agregados, solo se podrá efectuar el cambio de este si el Contratista hace la petición por escrito. En este caso, la CONAGUA hará los estudios de calidad que procedan, los que una vez terminados conducirán a tomar la determinación correspondiente.

5.2.4.1 BANCOS DE DEPOSITO TEMPORAL.



FIG.5.17 PRODUCCION DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS EN LA PLANTA DE TRITURACION

Para cumplir correctamente con los fines a que se destinan estos bancos de depósito temporal, fue necesario que el Contratista realizara los siguientes trabajos:

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

- a) Desmonte del área destinada a los bancos de depósito temporal.
- b) Nivelación de la superficie del terreno.
- c) Construcción del sistema de drenaje apropiado.
- d) Formación del piso del patio de almacenamiento.
- e) Formación del almacenamiento.
- f) Colocación de mamparas para evitar la contaminación de un agregado con otro.



ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS

FIG.5.18 ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS

Los trabajos de desmonte se realizaron previamente a cualquiera de los otros trabajos señalados para la formación del banco de depósito temporal.

Por la nivelación del patio de almacenamiento se proporcionó a la superficie una pendiente uniforme que desaloja el agua de lluvia ejecutando cortes y rellenos necesarios en y sobre el terreno natural para obtener una superficie uniforme con pendiente de 5 % como máximo. Los rellenos requeridos se compactaron al noventa por ciento del peso volumétrico máximo Próctor SRH o noventa y cinco por ciento de la Compacidad Relativa SRH, en capas de espesor suelto máximo de 20 (veinte) y 30 (treinta) centímetros respectivamente.

El sistema de drenaje del patio de almacenamiento consiste en el conjunto de obras que realizó el Contratista como son cunetas, alcantarillas, contracunetas, etc., las cuales evitan que los escurrimientos originados por la lluvia dificulten o impidan el aprovechamiento del material almacenado. Con esta finalidad, se construyeron las estructuras necesarias para que los escurrimientos sean interceptados y conducidos fuera de él.

El sistema de drenaje construido garantiza que todo el material almacenado podrá utilizarse en el momento que se requiera. Los taludes del almacenamiento de gravas y arenas, no deberán exceder de 2:1. En el caso de que en un mismo patio se almacenen distintos materiales, se deberá contar entre ellos con una separación definida que impida su contaminación. El ataque del almacenamiento deberá realizarse solo en forma vertical y de abajo hacia arriba, evitando segregación. No se permitirá el tránsito de vehículos pesados sobre los materiales almacenados y especialmente del equipo con bandas tipo oruga. Para la formación de bancos de almacenamiento, fueron necesarios diversos trabajos como son: Excavaciones, rellenos, nivelación, compactación, construcción de los materiales para la formación del piso y de los patios, incluyendo el cemento y la conservación de los caminos de acceso.

La construcción del piso del patio de almacenamiento consiste en las operaciones que deba realizar el Contratista para colocar la capa de material que sirve de frontera entre el suelo y el material almacenado. El piso de almacenamiento puede formarse por una capa del mismo material almacenado, cuyo espesor no será inferior a 30 (treinta) centímetros o una capa de concreto pobre con espesor mínimo de 20 (veinte) centímetros.

Se podrá elegir cualquiera de las opciones propuestas u otra que se proponga y se apruebe. Por formación del almacenamiento se entienden las operaciones que llevará al cabo para formar pilas por capas, de los materiales que cumplan con los requerimientos de calidad establecidos por la Comisión y previamente aprobados por el Ingeniero para su utilización posterior en la obra. La formación del almacenamiento se realizará invariablemente por capas.

5.3 CONCRETOS UTILIZADOS

La fabricación del concreto cubre todas las operaciones requeridas para la manufactura, transporte, colocación, acabados, curado y protección del concreto, así como el suministro de los equipos y materiales necesarios.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

5.3.1 CONCRETO CONVENCIONAL.

La composición del concreto convencional esta compuesta por cemento, agua, arena, gravas y aditivos en caso de requerirse cuyo revenimiento será mayor de cero y cuyas resistencias serán de 100, 150 y 250 kg/cm².

La composición del concreto compactado con rodillo y de liga será: Cemento, agua, arena gravas y un 3 (tres) % máximo de finos que contengan los agregados.

5.3.2 CEMENTO.

El cemento utilizado para la fabricación del CCR es de la marca Apasco CPEG-30 RS/BRA, la característica de este cemento es que viene embasado con adición de escoria de altos hornos en una proporción: 53% clinker con 41 % de escoria.

Componentes de los cementos							
Tipo	Denominación	Componentes (% en masa)					
		Principales					Minoritarios ⁽¹⁾
		Clinker Pórtland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales puzolánicos ⁽²⁾	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento Pórtland Ordinario	95 - 100	--	--	--	--	0-5
CPP	Cemento Pórtland Puzolánico	50 - 94	--	6 - 50	--	--	0-5
CPEG	Cemento Pórtland con Escoria Granulada de Alto Horno	40 - 94	6-60	--	--	--	0-5
CPC	Cemento Pórtland Compuesto ⁽³⁾	50 - 94	6-35	6-35	1 - 10	6 - 35	0-5
CPS	Cemento Pórtland con Humo de Sílice	90 - 99	--	--	1 - 10	--	0-5
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	20 - 39	61 - 80	--	--	--	0-5

FIG.5.19 COMPONENTES DE LOS CEMENTOS

Especificaciones físicas							
Clase Resistente	Resistencia a compresión (N/mm ²)			Tiempo de fraguado (min)		Estabilidad de volumen en autoclave (%)	
	3 días mínimo	28 días mínimo	máximo	Inicial Mínimo	Final Máximo	Expansión Máximo	Contracción Máximo
20	---	20	40	45	600	0,80	0,20
30	---	30	50	45	600	0,80	0,20
30 R	20	30	50	45	600	0,80	0,20
40	---	40	---	45	600	0,80	0,20
40 R	30	40	---	45	600	0,80	0,20

FIG.5.20 ESPECIFICACIONES FISICAS

CPEG: Cemento Portland Escoria Granulada
 RS: Resistencia a los Sulfatos
 BRA: Baja Reactividad Alkali Agregado.
 30: Clase resistencia; 30 N/mm²

5.3.3 ALMACENAJE. El cemento que se utilizo para la fabricación de CCR y el convencional, se suministro a granel, se almaceno en silos protegidos contra la intemperie y equipados con los 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.



FIG. 5.21 PLANTA DE PRODUCCION DE CONCRETO



FIG.5.22 DOSIFICADORA DE CONCRETO

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El cemento que se emplea para la fabricación de todos los concretos procede de la misma fábrica, para evitar variaciones en su composición, que puedan requerir ajustes a las mezclas. Si se suministra el cemento en sacos como es el caso del empleado en el tratamiento de cimentación (inyectado) o en casos excepcionales en que la Comisión compruebe problemas de almacenaje en silos, deberán almacenarse en locales debidamente acondicionados para este fin; se colocarán sobre plataformas de madera con ventilación para circulación de aire, que estén sobre el piso de la bodega como mínimo a una altura de 15 (quince) centímetros, además deberán estar separados de 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, o 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° (diez grados), 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 en el mismo orden cronológico en que fueron recibidos, colocando a cada lote y remesa la marca y el tipo de cemento para el inyectado o la fabricación de concretos, la fecha de fabricación, la fecha de recepción y la fecha límite en la que podrá utilizarse. No se emplearán cementos que tengan más de 90 (noventa) días de la fecha de fabricación, salvo muestreo y nueva aprobación de estos por el cliente. Se deberá prever las capacidades de almacenamiento, para contar con una nueva reserva de 15 días de consumo normal de cemento y en caso contrario será responsabilidad del Contratista, la suspensión de los trabajos.

5.3.4 ADITIVOS PARA CONCRETO.

Los aditivos para concreto los proporciona el Contratista y se sometieron a la aprobación por escrito de la CONAGUA, cuando menos con dos meses de anticipación a su uso. Una vez aprobados los tipos y marcas de aditivos, el Contratista no podrá sustituirlos sin previa autorización por escrito de la CONAGUA; cada remesa de aditivos aprobados deberá ser muestreada y su calidad verificada en la obra cuando menos con dos meses de anticipación a su uso. En este proyecto se utilizó el aditivo fluidizante reductor de agua EUCON LC 150.

 EUCLID CHEMICAL	Hoja de Datos de Seguridad (HDS):				Salud	0
	EUCON LC 150				Inflamabilidad	0
				Reactividad	0	
HDS-PT-164	Emisión: Agosto 22/2007	Revisión: 2	Fecha: Feb 23 2009	EPP	A	

Sección I. Datos Generales de la Hoja de Datos de Seguridad.						
Nombre del Fabricante o distribuidor:	EUCOMEX, S.A. de C.V.		En caso de emergencia:		01 800 4000 404/55 5864 99 70	
Calle:	Vía José López Portillo	Nº Ext.	69	Colonia:	Sn. Fco. Chilpan	Código Postal:
Delegación o municipio:	Tultitlán		Localidad o población:		Estado de México	

Eucomex, S.A. de C.V. no se hace responsable en ninguna forma por el uso que se le de a la información aquí contenida. El usuario asume todos los riesgos incidentales que se puedan derivar del uso de este producto.

Sección II. Datos Generales de la Sustancias Químicas Peligrosas.				
Nombre comercial:	EUCON LC 150		Nombre químico o código:	N.A
Familia química:	Aditivo fluidizante reductor de agua		Sinónimos:	N.A

Sección III. Identificación de la Sustancias Químicas Peligrosas.								
Sustancia	Nº. CAS:	Nº. ONU:	LMPE-PPT: mg/m³	IPVS:	GRADO DE RIESGO:			EPP
					S	I	R	
N/D	N.D	N.D	NA	N.D.	N/D	N/D	N/D	N/D

Sección IV. Propiedades fisicoquímicas				
Temperatura de ebullición	N/D		Temperatura de fusión °C	N/D
Temperatura de inflamación (°C):	N/D		Temperatura de auto ignición: °C	N/D
Peso específico (H ₂ O=1):	N/D		Densidad:	1.19
Peso molecular	N/D		Estado físico color y olor	CAFE OSCURO / CARACTERISTICO
Velocidad de evaporación	N/D		Solubilidad en agua:	N/D
Presión de vapor (mm de hg)	N/D		Volatilidad:	N/D
Limite de inflamabilidad	Inferior	N/D	p H	4.5-8.5
	Superior	N/D		

FIG. 5.23 HOJA DE DATOS DE ADITIVO ADITIVO FLUIDIZANTE REDUCTOR DE AGUA EUCON LC 150.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

5.3.5 TRANSPORTE.

El cemento a granel no fue descargado directamente a los silos impermeables de la planta de mezclado, se llevo a los silos de almacenaje intermedio a la planta mezcladora en carros impermeables adecuadamente diseñados, u otros medios de transporte que protegen al cemento contra la acción de la humedad, abasteciendo a la planta de mezclado los cementos que tengan mas tiempo de haberse depositado en los almacenajes intermedios. En la descarga y manejo del cemento se deberá evitar daños o pérdidas. Los silos y tolvas para cemento en la planta mezcladora estarán provistos de colectores de polvo efectivos que, colocados en las ventilas, impidan la pérdida del material.

No se liberan órdenes de embarque de cemento hasta que el Contratista presente las características mediante el certificado de calidad de la planta, mismas que deben cumplir la Norma Mexicana C-2 y que oferto el Contratista. Los embarques deberán hacerse bajo la vigilancia de la CONAGUA. El sellado de los silos en la fuente de provisión y el sellado y resellado de cualquier medio de transporte, se hará bajo la supervisión de la CONAGUA. El cemento que resulte dañado en el embarque, manejo, transporte o almacenaje, será retirado de la obra.

5.3.6 SUMINISTRO DE AGUA PARA CONCRETO CONVENCIONAL Y CCR.

El Contratista presento los resultados de laboratorio que avalen la calidad del agua de acuerdo con la Norma Mexicana C-283 para cada una de las fuentes que se disponga.

5.3.7 AGREGADOS PARA CONCRETO CONVENCIONAL.



FIG. 5.24 EXPLOTACION DEL BANCO TRES PIEDRAS

Los agregados para concreto grava y arena se obtienen del banco de roca de tres piedras y en caso de ser factible técnicamente provendrán de la explotación de los playones del río Santa María, las operaciones necesarias se mencionan a continuación:

Extracción del material en greña o mediante explosivos, trituración, disgregado, cribado y clasificación, lavado, suministro de agua necesaria, retiro del material de la planta y de los bancos de almacenamiento, carga y descarga, Los agregados clasificados en la planta serán almacenados, separando cada almacenamiento de manera que no se mezclen unos tamaños con otros, el material se depositará empleando procedimientos que no provoquen segregación de sus distintos tamaños; los agregados deberán mantenerse en los bancos con un contenido de agua cercano al de su saturación.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

CLASIFICACION. Se manejarán cuatro tipos de agregados, los cuales se clasifican como sigue:

ARENA Pasa por la malla N° 4 y se retiene en la N° 200.

GRAVA 1 Pasa por la malla de 19.1 mm (3/4”) y se retiene en la N° 4.

GRAVA 2 Pasa por la malla de 38.1 mm (1 ½”) y se retiene en la de 19.1 mm (3/4”).

GRAVA 3 Pasa por la malla de 76.2 mm (3”) y se retiene en la de 38.1 mm (1 ½”).

En las Gravas las dimensiones mayores o menores no deberán exceder el 5 % en peso, para cada tamaño especificado. El tamaño máximo de agregado lo definió la Comisión, de acuerdo con las características de cada estructura y los procedimientos de colocación que propuso el Contratista tomando en cuenta este tamaño máximo. En general, se empleará el máximo tamaño de agregados compatible con las características de la estructura, estableciéndose que para $f'c=100$ kg/cm² se empleará tamaño máximo de agregado de 3” y para los concretos de $f'c=150$ y 250 kg/cm², se empleará tamaño máximo de agregado de 1 1/2”.

En la Arena la curva granulométrica deberá apegarse a lo establecido en los manuales de concreto usados por la Comisión y su módulo de finura estará comprendido entre 2.3 y 3.1. Las proporciones de la mezcla y la relación apropiada de agua - cemento las determino el Contratista sobre la base de obtener concreto que tenga trabajabilidad, impermeabilidad y durabilidad adecuadas y la resistencia necesaria sin el uso de cantidades excesivas de cemento, las cuales se comprobaron en campo por la empresa de Supervisión y Control de Calidad, diseño que podrá ajustarse de acuerdo a los resultados obtenidos.

5.3.8 AGREGADOS PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR) Y DE LIGA.

Los agregados para concretos CCR y de liga son los materiales pétreos clasificados como gravas, arenas y un porcentaje de finos no mayor al 3 (tres) % que contengan los agregados.



FIG. 5.25 PLANTA DE TRITURACION EN BANCO TRES PIEDRAS

Las gravas y arenas para el concreto se obtienen del banco de roca “tres piedras” por trituración, el contratista puede investigar si los playones del río Santa María se pueden obtener grava y arena aptas para fabricar concretos. Los trabajos para la obtención de grava y arena serán los siguientes: 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 descarga en el sitio de utilización.



FIG.5.25.1 BANDAS EN PLANTA DE TRITURACION

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG. 5.26 TRITURACION DE GRAVA, ARENA LAVADA EN BANCO TRES PIEDRAS

Las gravas y arenas serán almacenadas separándolas de manera que no se mezclen unos tamaños con otros, de 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.

5.3.9 CLASIFICACION.

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

ARENA. Pasa por la malla N° 4 y se retiene en la N° 200.

GRAVA 1 Pasa por la malla de 19.1 mm (3/4 ") y se retiene en la N°4.

GRAVA 2 Pasa por la malla de 38.1 mm (1 1/2") y se retiene en la de 19.1 mm (3/4").

GRAVA 3 Pasa por la malla de 76.2 mm (3") y se retiene en la de 38.1 mm (1 1/2").

Dimensiones mayores o menores de las gravas no deberán exceder el 5% en peso, para cada tamaño especificado.

El tamaño máximo de agregados será de 76.2 mm (3 ") para el concreto compactado con rodillo y de 38.1 mm (1 1/2 ") para el concreto de liga.



FIG. 5.27 ESPECIMEN DE CCR

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

5.4 FABRICACION, TRANSPORTE Y COLOCACION DE CONCRETO CONVENCIONAL.

El concreto lo fabrica el Contratista de acuerdo con la dosificación que se propuesto y comprobada en obra por la empresa de Supervisión y Control de Calidad con los ajustes que resultaran para obtener las diferentes resistencias a los 28 días. Para el proporcionamiento y fabricación del concreto se considero lo que sea aplicable de las “Normas CNA”. CNA es sinónimo de CONAGUA. Que significa comisión nacional del agua.

Las cantidades de cemento, de arena y de cada uno de los tamaños de agregado grueso que formen cada bachada o carga, se determinaron por peso. La proporción en que deberá intervenir cada uno de los elementos constitutivos del concreto, podrá ser modificada por la Comisión de acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio para garantizar la resistencia requerida en las estructuras cubiertas por las 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 determinaron 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, fueron determinadas por peso.



FIG. 5.27 PLANTA DE CONCRETO CONVENCIONAL



FIG. 5.28 COLOCACION DE CONCRETO CONVENCIONAL EN LA PANTALLA IMPERMEABLE

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

5.4.1 MUESTREO Y PRUEBAS DE LABORATORIO DE CAMPO.

La Comisión obtendrá 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 elaboran cilindros de prueba para confrontar su comportamiento con los requisitos de revenimiento y resistencia, se curan y prueban conforme a lo especificado por la Comisión. El control de calidad se efectúa de acuerdo con los criterios de la Norma ASTM C-94, desde la explotación de los bancos de agregados hasta la terminación de las estructuras de concreto.

5.4.2 MEZCLADO.

El Contratista empleo camiones agitadores como mezcladoras de concreto, con el tiempo de mezclado para ese tipo de equipo, el cual se basará en la norma ASTM C-47; en el caso usarse revolvedoras estacionarias, no deben ser menores de 5 m³ de capacidad. En cualquier caso, el Contratista deberá contar como mínimo con un camión agitador como mezcladora de concreto y dos revolvedoras de dos sacos de capacidad o más.



FIG.5.29 COLADO DE CONCRETO CONVENCIONAL EN LOSA DEL CONDUCTO DE DESVIO

5.4.3 TRANSPORTE.

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

Se colocarán indicadores y señalamientos, utilizando métodos 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 botes al salir de la planta mezcladora, con el fin de que el concreto pueda ser bien identificado en el lugar de las formas y colocado en el sitio del proyecto.

5.4.4 COLOCACION.

Previamente a la colocación de concreto en la cortina, se efectuó la preparación de la superficie de desplante. El objetivo que se persigue es esencialmente proporcionar un apoyo estable y seguro a la cortina debido a las condiciones particulares de carga y saturación a que se encontrará sometida la cimentación. Las actividades para efectuar el

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

tratamiento se dividen en:

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 realizaron en toda el área de desplante de la cortina hasta los niveles en que se descubrió la roca sana en los que la Comisión autorizó 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 de desplante, la remoción de materiales indeseables que rellenan las discontinuidades geológicas menores (fracturas, grietas, juntas, etc.) y el relleno de oquedades con concreto convencional ($f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$), la corrección de contrapendientes en laderas y la protección de rocas susceptibles a alteración por intemperismo. Las superficies de preparación de desplante se conservaron húmedas, previamente a la colocación de los concretos de regularización del desplante. Esta humedad será tal que no afecte la relación agua – cemento del mismo. La colocación de concreto convencional también se hizo entre el CCR y las formas prefabricadas de concreto (membrana impermeable) y entre el CCR y el terreno natural en las laderas, se deberá llevar sensiblemente al mismo nivel de colocación de CCR. Para la colocación del concreto se cumple con lo indicado en las “Normas C. N. A.”. No se vaciará concreto alguno mientras el trabajo de formas 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.

En la medida de lo posible no se permite la existencia de juntas frías en el concreto, en caso de que se suspenda la colocación después de 6 (seis) horas de haber colocado la última capa, se debe descubrir 1/3 del tamaño máximo de agregado convencional antes de continuar el colado.



FIG. 5.30 LIMPIEZA DE SUPERFICIE

Las superficies que formen el respaldo del concreto deberán conservarse húmedas previamente a la colocación del concreto, esta humedad será tal, que no afecte la relación agua cemento del mismo. Las superficies de las juntas frías se conservarán continuamente mojadas, cuando menos las 3 (tres) horas anteriores a la continuación de los colados del concreto. El agua libre se debe remover antes de colocar el concreto.

En los trabajos de preparación y colocación de concreto si se erosiona, enloda, encharca o se produce algún deterioro en las superficies finales de apoyo del mismo, se deberá corregir estos defectos.

Las superficies de roca sobre las cuales deba colocarse concreto, estarán limpias, libres de aceites, de agua corriente o estancada, de hielo, lodo, adherencias, lajas sueltas, cascajo y partes sueltas, semidestruidas o poco consistentes. Las fallas y grietas se limpiarán hasta encontrar roca firme en los lados, o hasta una profundidad satisfactoria. Inmediatamente antes de colocar el concreto, las superficies de roca se limpiaron completamente usando chorros de aire y agua con chiflones de alta velocidad, o cualquier otro método aprobado. Todas las superficies de roca se mantendrán mojadas cuando menos las 3 (tres) horas anteriores a la colocación de concreto sobre ellas. La colocación se ejecutará con tal rapidez, que se evite en la medida de lo posible la formación de juntas frías.

El concreto será cuidadosamente colocado en las esquinas y ángulos de las formas y alrededor de los refuerzos y objetos embebidos, evitando la segregación del material; el concreto se colocará en las formas tan cerca de su posición final como sea posible. En el lecho bajo de losas y vigas, donde la acumulación de acero de refuerzo cerca del molde dificulta la colocación del concreto, se colocará primero una capa de mortero de resistencia igual a la del concreto, de 25 (veinticinco) milímetros de espesor.



FIG.5.31 AVANCE AL 14 DE ABRIL DEL 2011

5.4.5 FORMAS PREFABRICADAS DE CONCRETO.

Las formas prefabricadas se manufacturan en obra, en moldes metálicos, con un concreto de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de edad y de acuerdo con los planos de proyecto, no debiendo emplearse antes de que tenga la resistencia mencionada anteriormente.

La cara que estará en contacto con la membrana de impermeabilización deberá quedar escarificada con 1/3 de tamaño de agregado grueso expuesto. Se deberá disponer de un 30% (treinta por ciento) como mínimo de las formas prefabricadas de concreto, antes de iniciar los trabajos. En el paramento de aguas arriba se colocarán las formas prefabricadas de concreto, de acuerdo con lo indicado en los planos de proyecto.



FIG. 5.31 b CIMBRA EN AJUSTE EN HOMBRO



FIG. 5.31 c AJUSTE EN HOMBRO DE CORTINA

COLOCACION DE PANELES PREFABRICADOS EN PARAMENTO AGUAS ARRIBA

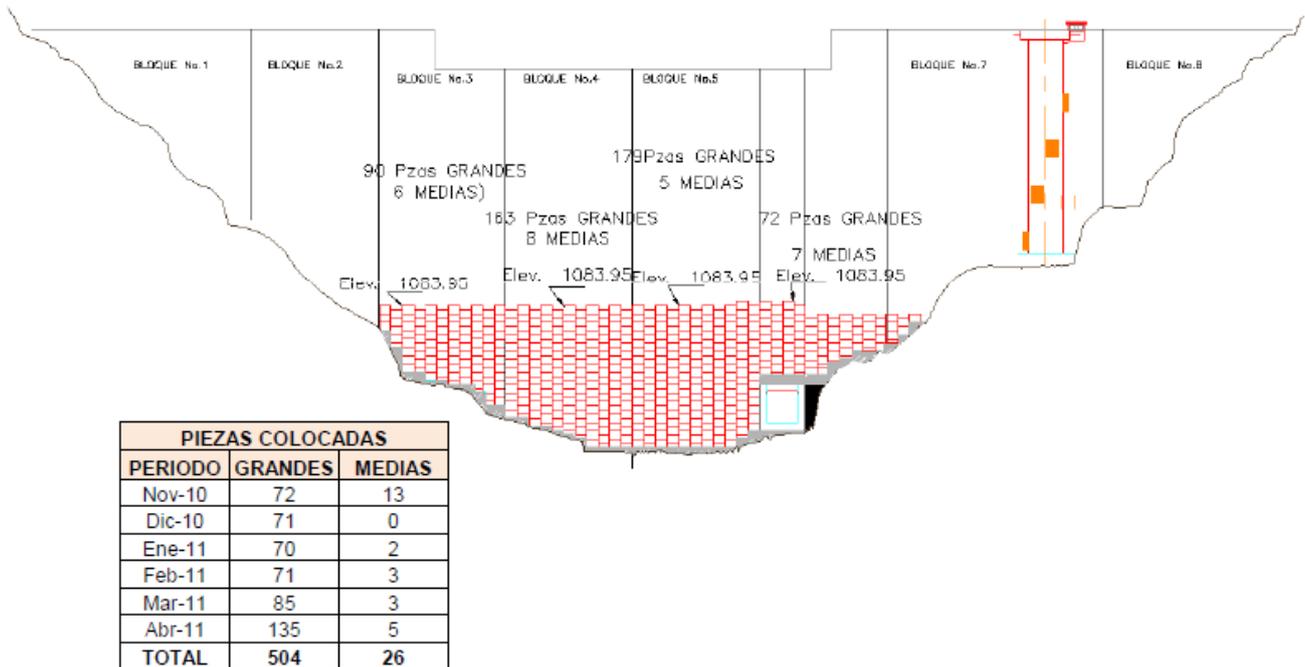


FIG. 5.32 COLOCACION DE PANELES PREFABRICADOS



FIG.5.34 FABRICACION DE ELEMENTOS PREFABRICADOS CON CONCRTEO CONVENCIONAL

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

5.4.6 COLOCACION CON BOMBA. Las bombas para la colocación del concreto, deberán ser del tipo adecuado para manejar los concretos. El concreto se colocará dentro de los 30 (treinta) minutos siguientes al mezclado.



FIG.5.35 COLOCACION DE CONCRETO CONVENCIONAL EN LA OBRA DE TOMA

5.4.7 TEMPERATURA DE COLOCACION.

No se permite la colocación del concreto cuando la temperatura ambiente es mayor de cuarenta grados centígrados o menor de cuatro grados centígrados. En la colocación del concreto durante los meses de verano se emplearán medios efectivos, tales como regado del agregado, enfriado del agua de mezclado, colado de noche y medios aprobados para abatir la temperatura del concreto.

5.4.8 HILADAS DE CONCRETO.

La altura del concreto en cada hilada será la indicada por la comisión nacional del agua. El concreto en losas se colocará en una sola hilada o colada, a menos que se autorice de otra forma. El concreto en masa, en muros sección gravedad, se colocará en hiladas de 1.5 (uno punto cinco) metros excepto que los planos indiquen otra medida. La altura de cada hilada, se alcanzará con un mínimo de 3 (tres) capas sucesivas escalonadas, de 50 (cincuenta) centímetros. Cada hilada de concreto se colocará sobre la que tenga mas tiempo expuesta, con un mínimo de 7 (siete) días de haber sido colada la superficie expuesta. Las hiladas de monolitos adyacentes podrán colarse con una diferencia que variará entre tres y cinco días posteriores al último colado. La diferencia máxima de altura entre dos monolitos adyacentes, no excederá de 4.50 (cuatro punto cincuenta) metros.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

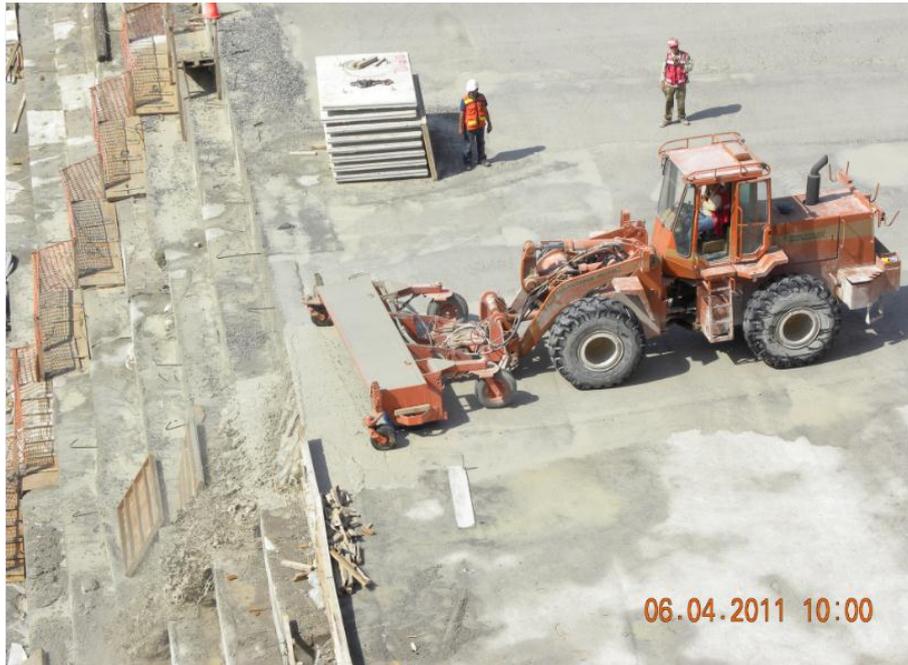


FIG.5.35.1 COLOCACION DE CIMBRA PARA FORMACION DE CAPAS EN AGUAS ABAJO.

5.4.9 VIBRADO DEL CONCRETO CONVENCIONAL.

El concreto se compactará con equipo de vibración mecánica, y en casos particulares será suplementado con picado y apisonado manual previa autorización de la Comisión. El concreto, una vez colocado en su sitio, será llevado a su máxima densidad empleando baterías de vibradores eléctricos o neumáticos de inmersión, que se operarán a 7000 r.p.m. como mínimo, para los colados masivos y de contacto en los casos de colados de concretos reforzados donde no sea posible el empleo de vibradores de inmersión. Los vibradores de inmersión deberán ser de dimensiones tales, que abarquen como mínimo ¾ (tres cuartos) del espesor de la capa por compactar y el diámetro del vibrador será cuando menos 1 ½ (uno y medio) el tamaño máximo del agregado; no se permitirá que los vibradores trabajen en forma horizontal. El tiempo de vibrado será aquel que, sin producir segregación o sangrado, dé al concreto su máxima densidad. La manipulación del concreto para formar cada capa de una hilada, será la mínima para producir la compactación requerida, evitando la segregación por el traspaleo o manejo excesivo.

5.5 FABRICACION, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO Y CONCRETO DE LIGA.

5.5.1 CONCRETO DE LIGA.

Es el concreto de liga es la mezcla formada por grava, arena, cemento y agua, con revenimiento nulo, que será compactada mediante vibración externa, utilizando rodillo liso vibratorio y tamaño máximo de agregado de 38.1 mm (1 ½”).

PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO DE LIGA

CEMENTO (kg)	300
ARENA (kg)	1233
GRAVA (kg)	529
AGUA (kg)	192
ADITIVO (ml)	1800
REV (cm)	22



FIG. 5.36 PROPORCIONAMIENTO DE CONCRETO DE LIGA

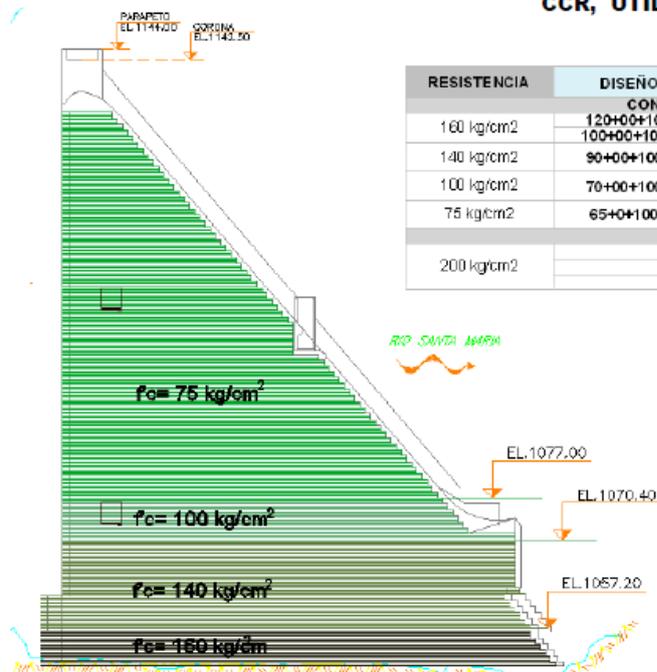
FIG. 5.37 COLADO DE CONCRETO CONVENCIONAL

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG. 5.38 PLANTA DE CONCRETO DE CCR

DISEÑOS DE MEZCLA PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO CCR, UTILIZADOS EN LA CORTINA



RESISTENCIA	DISEÑO DE MEZCLA	OFICIO DE REFERENCIA	FECHA DE AUTORIZACION
CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO			
160 kg/cm ²	120+00+105 SIN ADITIVO	B.O.O.E.42.R.0015/2011	16/FEB/11
	100+00+105 CON ADITIVO		
140 kg/cm ²	90+00+100 CON ADITIVO	B.O.O.E.42.R.0016/2011	16/FEB/11
100 kg/cm ²	70+00+100 CON ADITIVO	B.O.O.E.42.R.0045/2011	09/MAR/11
75 kg/cm ²	65+00+100 CON ADITIVO	B.O.O.E.42.R.0038/2011	04/MAR/11
CONCRETO DE REVESTIMIENTO			
200 kg/cm ²	164	B.O.O.E.42.R.031/2011	16/FEB/11
	182		
	193		

FIG.5.39 DISEÑO DE MEZCLAS PARA CONCRETETO CCR, UTILIZADO EN LA CORTINA

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

5.5.2 PROPORCIONAMIENTO.

Los concretos invariablemente deberán ser dosificados por peso para cada bachada, la proporción en que deberán intervenir cada uno de los elementos constitutivos de los concretos, podrá ser modificada por la Comisión 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 determinaron sobre la base de obtener concretos que tengan trabajabilidad, manejabilidad, durabilidad adecuada y los pesos volumétricos de proyecto.

PROPORCIONAMIENTO DE CCR

	MEZCLA	MEZCLA	MEZCLA	MEZCLA
	1	2	3	4
CEMENTO (kg)	120	100	90	75
ADICIONES	0	0	0	0
AGUA (kg)	105	95	100	100
FINOS (%)	6.9	6.9	6.9	6.9
GRAVA (kg)	1348	1340	1338	1346
ARENA (kg)	901	931	929	936
ADITIVO (ml)		900	675	450

FIG.5.40 PROPORCIONAMIENTO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO UTILIZADO EN LA PRESA

5.5.3 MUESTREO Y PRUEBAS DE LABORATORIO DE CAMPO.

Se obtienen 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 son los correctos. Se obtienen calas para comprobar la compactación y determinar si el peso volumétrico es el requerido, de acuerdo con las especificaciones, adicionalmente se ejecutará determinaciones de pesos volumétricos y humedades usando el equipo denominado densímetro nuclear.



FIG. 5.41 LECTURAS CON EL DENSIMETRO NUCLEAR EN EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN EL BLOQUE No.5 DEL CUERPO DE LA CORTINA

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

5.5.4 MEZCLADO.

El CCR y el concreto de liga es elaborado usando revolvedora de producción continua, teniendo una producción tal que garantiza la continuidad en la colocación del mismo durante veinte horas diarias y seis días a la semana, para evitar un número excesivo de juntas frías.



FIG. 5.42 PLANTA DE PRODUCCION DE CCR

5.5.5 TRANSPORTE.

Para transportar el CCR y el concreto de liga se utilizará equipo igual al usado para movimiento de tierras, camiones no agitadores, bandas transportadoras tipo “ Crawler Placer ” que consiste en un equipo diesel dotado de orugas y una cinta telescópica, que le permite distribuir directamente el concreto en cualquier punto del área de trabajo. 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 los sitios de carga, con el fin de que el concreto pueda ser bien identificado en el sitio de colocación.



PANORAMICA DE COLOCACION DE CCR EN CORTINA

FIG.5.43 PANORAMICA DE COLOCACION DE CCR



FIG. 5.44 EQUIPO CRAWLWR PLACER DOTADO DE ORUGAS

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG. 5.45 COLOCACION DE CCR EN BLOQUE 5

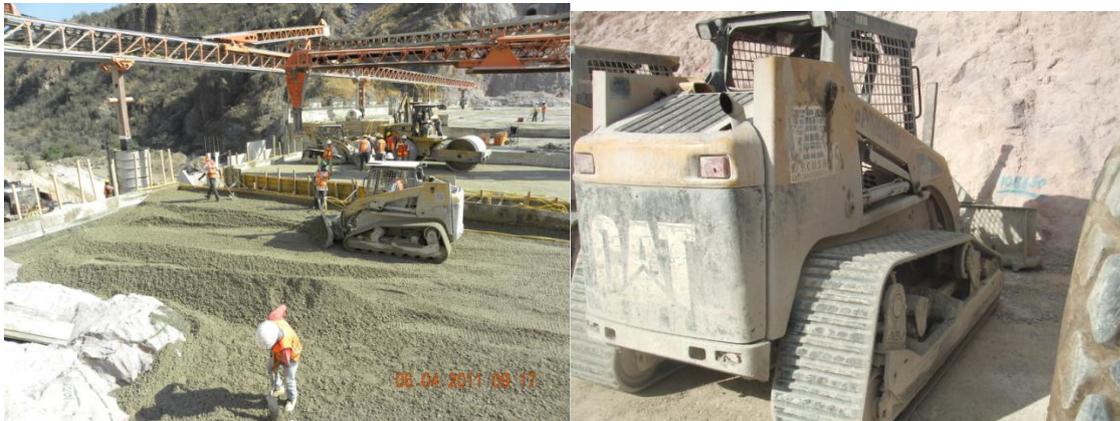


FIG. 5.46 EQUIPO LIGERO PARA EXTENDIDO DE CCR.

5.5.6 COLOCACION. Previo a la colocación del CCR se deberá descubrir 1/3 del tamaño máximo de agregado en las zonas de la superficie de desplante en que se colocó el concreto convencional, 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 el equipo aprobado por la Comisión que invariablemente estará provisto de llantas para que su rodamiento no dañe la superficie del CCR.



FIG. 5.49 PROCESO DE COLOCACION Y EXTENDIDO DE CCR

En el caso de suspensión de los trabajos por mas de seis horas, para reanudarlos 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 (máximo 6 horas) 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 diferente a lo especificado, deberá removerse todo el material que presente estas condiciones. Queda prohibido modificar los contenidos de agua, cemento o cualquier otro agregado del CCR y concreto de liga, una vez que haya sido cargado en los vehículos de transporte. Deberán tomarse medidas especiales para evitar que los neumáticos del equipo que circule sobre la superficie del CCR o concreto de liga tenga adheridas partículas de suelo o partículas de concreto, que puedan contaminar dicha superficie. En caso de que esto ocurra, deberá limpiarse la superficie de rodamiento contaminada y restaurarse con concreto de liga. 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 de CCR que esté fresco. En caso de ocurrir esto, deberá repararse conforme a lo indicado anteriormente.

5.5.6.1 INTERVALO DE TIEMPO ENTRE MEZCLADO Y COLOCACION.

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

5.5.6.2 TEMPERATURA DE COLOCACION.

No se permitirá la colocación de concreto cuando la temperatura ambiente sea mayor que cuarenta grados centígrados (40° C) o menor que cuatro grados centígrados (4° C). En la colocación de CCR y concreto de liga durante los meses de verano, se emplearán medios efectivos tales como regado del agregado, enfriamiento de agua de mezclado y otros medios apropiados para abatir la temperatura del concreto.

5.5.7 COMPACTACION 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 compactación especial podrá emplearse para las zonas de reparación, 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.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG.5.50 EQUIPO LIGERO DE COMPACTACION EN LAS ORILLAS



FIG. 5. 51 SE APRECIAN LAS CAPAS DE CCR EN SUPERFICIE INTERIOR EN GALERIAS



FIG. 5.51 b LA COLOCACION DE CCR ES DURANTE LA MAÑANA Y LA TARDE

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

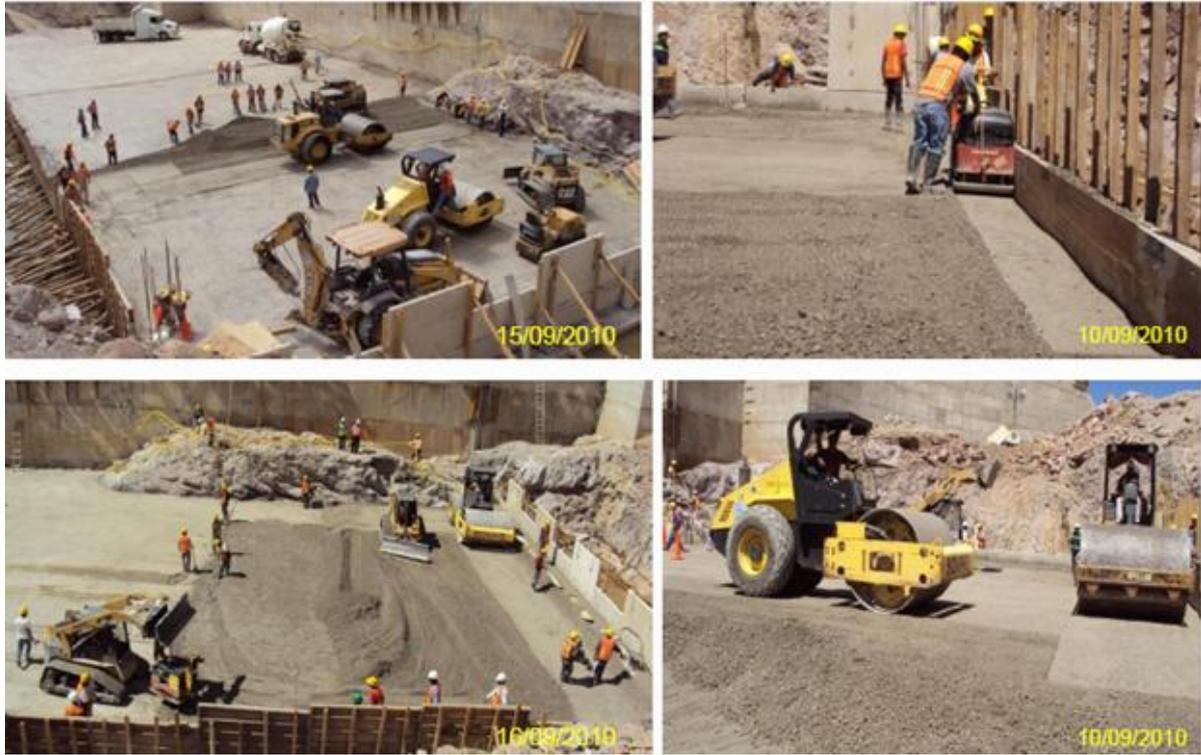


FIG.5.52 COLOCACION DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN BLOQUE No.5



FIG. 5.53 EXTENDIDO DE CONCRETO CCR

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

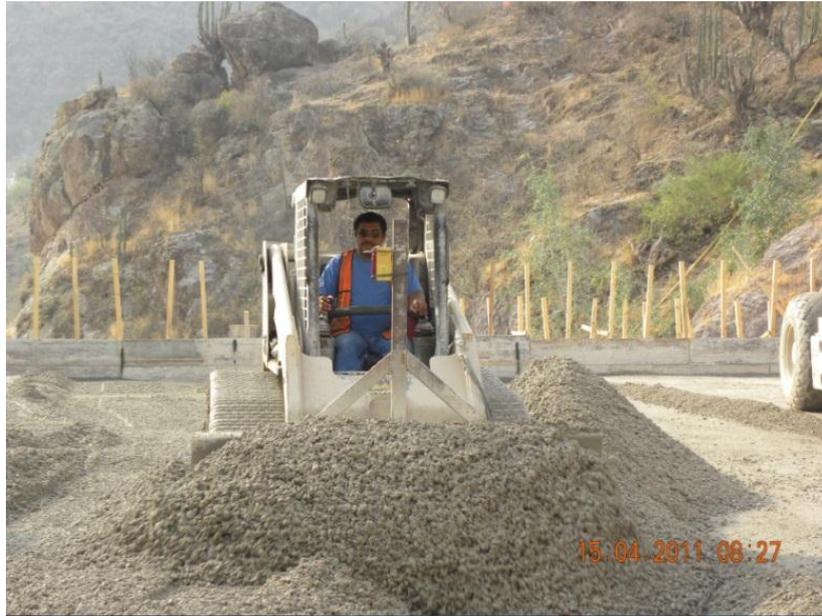


FIG. 5.55 ACOMODO Y EXTENDIDO



FIG. 5.54 COMPACTACION DE CAPAS

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG.5.56 EQUIPO DE COMPACTACION

5.5.8 JUNTAS “FRIAS” DE CONSTRUCCION Y DE CONTRACCION EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

5.5.8.1 JUNTAS FRIAS.

Cuando se interrumpa un colado por más de seis horas bien sea por haberse concluido una hilada de un monolito, o por cualquier otra causa, así como también si se suspende o interrumpe la colocación del concreto en cualquier elemento estructural, se generará en esos casos una junta fría.

Las juntas frías en los monolitos son superficies sensiblemente horizontales y relativamente accesibles, que se deben tratar para recibir el siguiente colado pudiendo emplear para la escarificación de la superficie el chiflón de aire-agua para remover el mortero superficial para descubrir y exponer del orden de un tercio del tamaño máximo de agregado , actividad que podrá ejecutarla el Contratista cuando empiece a endurecer el concreto, pudiendo proponer otro método de tratamiento o preparación de junta fría el cual será sancionado por la Comisión una vez comprobada su eficiencia durante la construcción, este mismo tratamiento se podrá utilizar en los colados del concreto de la membrana entre las formas prefabricadas y el CCR de la cortina así como en colados de muros. Una vez tratada la superficie de la junta fría se procederá a limpiarla y continuar con el curado a base de agua.

e) Junta fría (tipo I)

Cuando el índice de madurez es $500\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{hora}$, en un tiempo no mayor de 36 hrs.

Se debe colocar concreto de liga en un espesor de 2 cm en una distancia mínima de un 1/3 de la longitud total de la presa extendiendo la mezcla de aguas arriba hacia aguas abajo.

Junta fría (tipo II) cuando han pasado 36 ó más horas antes de la colocación de CCR.

En este estado de madurez se debe cubrir el 50 % de la longitud total de la presa con concreto de liga extendiéndolo a partir de agua arriba hacia aguas abajo.

Las temperaturas que rigieron en la colocación del CCR fueron las establecidas en el concreto hidráulico.

En espesores menores a 60 cm, la temperatura máxima en la planta es de $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la temperatura máxima en la colocación es de $31\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La hora más favorable y recomendable para la colocación de CCR es por la tarde y durante la noche.

5.5.8.2 JUNTAS DE CONSTRUCCION.

Las juntas de construcción que se generen entre monolitos no recibirán tratamiento alguno

c) Se construye en bloque debido a que el proyectista estableció juntas de expansión lo cual permite establecer los bloques y se colocan dos bandas de PVC aguas arriba para impedir el paso del agua entre los bloques

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

5.5.8.3 JUNTAS DE CONTRACCION.

Se construirán las juntas de contracción en los lugares indicados en los planos, de acuerdo con los detalles mostrados en ellos o en la forma que se apruebe. La banda de Cloruro de Polivinilo que se pretenda usar para sellar las juntas y que quedará embebida dentro del concreto de la membrana impermeable que se colará entre las formas prefabricadas y el CCR en la cortina y en el vertedor como junta, el Contratista está obligado a someterla a la consideración de la Comisión para verificar su calidad y aprobación correspondiente.



FIG. 5.57 DOS BANDAS DE CLORURO DE POLIVINILIO EN JUNTAS DE CONSTRUCCION

5.6 FORMACION DE LA GALERIA Y ACCESO DENTRO DE LOS CONCRETOS COMPACTADO CON RODILLO Y DE LIGA.

El procedimiento de construcción de la galería, su acceso y el dren colector de filtraciones, se podrá iniciar a partir de cuando las capas del concreto compactado con rodillo alcancen las elevaciones inferiores de la geometría que se indican en proyecto colocando elementos metálicos para delimitar las superficies de los conductos dentro del CCR, posteriormente el espacio entre estas formas metálicas se rellenará con grava que una vez compactada soportará el empuje que sobre las formas metálicas pudiera generar el equipo de colocación y compactación del CCR, concluida la compactación de una o más de las capas de CCR adyacentes a las formas metálicas y sin que rebasen la altura de las formas, éstas se levantarán para continuar el procedimiento. La limpieza o remoción del relleno de la galería se llevará a efecto una vez alcanzada la resistencia de proyecto de las capas de CCR en el nivel superior de la clave y a una altura tal que se produzca el efecto de arqueo. Lo anterior no limita al Contratista para que proponga el procedimiento de construcción para conformar las galerías y accesos dentro del cuerpo de CCR de la cortina.



FIG. 5.58 CIMBRA EN GALERIA DE INSPECCION

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG. 5.59 CONSTRUCCION DE LA GALERIA CON FORMAS METALICAS Y RELLENO DE ESPACIOS CON GRAVA O ARENA



FIG. 5.60 CONSTRUCCION DE GALERIA, COLOCACION DE PLASTICO PARA NO CONTAMINAR EL CCR CON LA ARENA DE RRELLENO DE LA GALERIA

5.7 CURADO Y PROTECCION DE CCR, DE LIGA Y DEL CONCRETO CONVENCIONAL

El CCR y el concreto de liga deberán mantenerse continuamente húmedos por lo menos 28 días, en la superficie expuesta del talud de aguas abajo para lograr un buen curado. En la superficie del CCR durante la construcción 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 con la adherencia entre capas.

Como es posible que se presente el secado superficial en las capas de concreto antes de las seis horas en que como máximo se podrá colocar la capa inmediata superior es necesario humedecer la superficie para contrarrestar ese efecto.

Las superficies de concreto que hayan estado expuestas a lluvias intensas dentro de las 3 (tres) horas siguientes de que se haya aplicado el curado de membrana, se volverán a rociar de manera adecuada. Las formas prefabricadas se curarán cuando menos por 28 días con agua o arena húmeda u otro material que pueda ser removido totalmente no debiéndose emplear curado acelerado ni de membrana. Ante la posibilidad de lluvia fuerte los concretos se protegerán al menos durante las 12 (doce) horas posteriores a su colocación y frente a la posibilidad de que se presentara una programación crítica constructiva coincidente con la temporada de avenidas, el Contratista deberá considerar que los concretos que pudieran ser rebasados por el agua los terminara por lo menos 14 (catorce) días antes de que sean rebasados.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

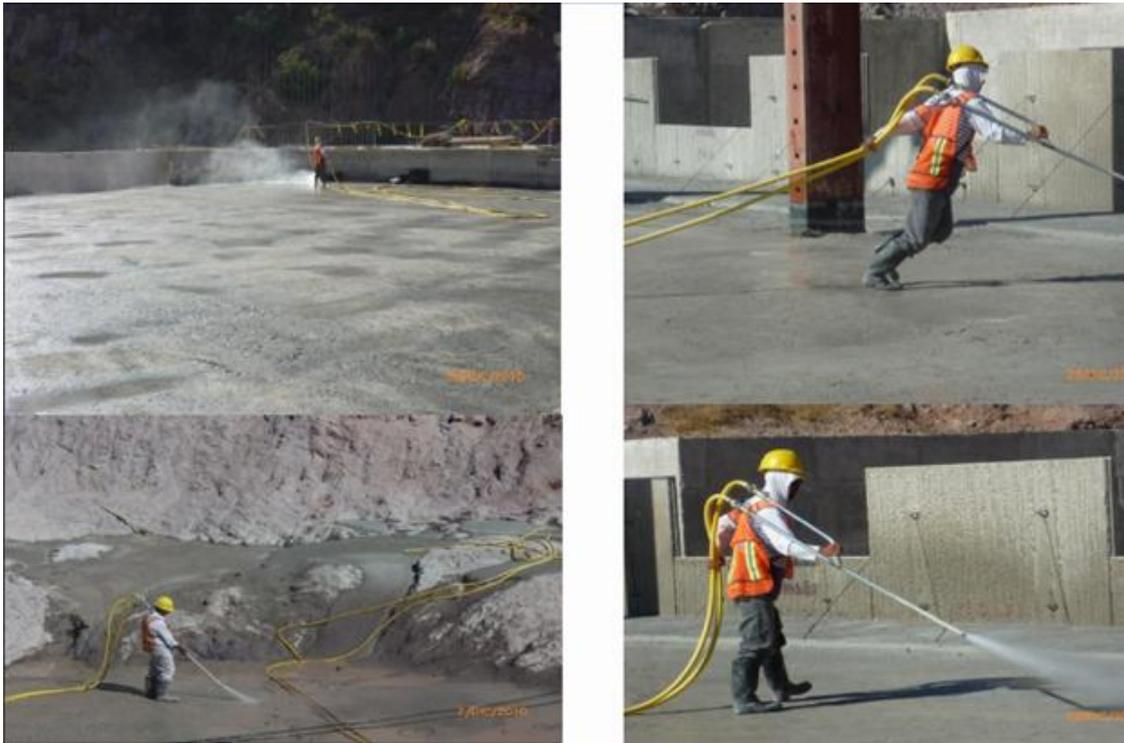


FIG.5.61 CURADO DEL CONCRETO CCR EN LOS BLOQUES 4 Y 5

En ningún tiempo se permitirá fuego o calor excesivo cerca o en contacto directo con el concreto. El curado y protección del concreto además de lo indicado aquí, deberá cumplir con lo estipulado en las “Normas C. N. A.”. El curado del concreto deberá ser a base de membrana, con un producto aprobado por la Comisión, en las estructuras o partes de ellas, mamparas y superficies contra las cuales se colocarán terraplenes o rellenos y en todas las superficies aparentes del concreto. No se permitirá curado con membrana en las superficies que han de entrar en liga con nuevos concretos convencionales o compactados con rodillo. El curado con membrana se aplicará a las superficies moldeadas después que sean retiradas las formas y después de que se realicen las operaciones de resane y otros tratamientos de superficie, como la limpia de arena suelta, mortero y otros deshechos de la superficie.



FIG. 5.62 SISTEMA DE TRANSPORTE POR BANDA

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



FIG.5.63 PROCESO CONSTRUCTIVO



FIG. 5.64 AVANCE FISICO AL 30 DE ABRIL DEL 2011

6. CONCLUSIONES

El concreto compactado con rodillo (CCR) es actualmente el material mas utilizado en el mundo para la construcción de presas de gravedad, por la gran cantidad de ventajas técnicas y económicas que aporta. al ser una opción que puede competir con las presas de gravedad en materiales sueltos, muchos proyectos imposibles de realizar económicamente se pueden rediseñar nuevamente de acuerdo a los parámetros establecidos para el ccr.

El desarrollo que ha tenido el CCR en la última década es debido a los menores costos de construcción, al desarrollo de equipos de mezclado, transporte, compactación, y al uso de conglomerantes de bajo calor de hidratación que han permitido un avance significativo de la técnica, resolviendo en gran medida los problemas que presentaban las construcciones de presas en concreto convencional o en materiales sueltos.

Las lecciones que se derivan del CCR en cada presa construida se ha aprovechado sucesivamente en la metodología de construcción, adecuación de plantas, equipo y comportamiento estructural obtenidos para generar una constante en la que, paso a paso, ha incrementado el nivel de confianza y el camino a la perfección en la construcción de uno de los proyectos de ingeniería más exigentes de la industria: una presa.

Las presas realizadas con CCR han tenido un excelente rendimiento en cuestión de seguridad y un bajo mantenimiento, en comparación con otros sistemas, por ejemplo la presa Long tan en china, la cual alcanza una altura de 216.5 m o los 271 m de la presa high Diamer Basha, en Pakistán, con lo cual se comprueba el avance que se ha obtenido en esta materia al mejorar todos los procedimientos que involucran este tipo de concretos, tales como su realización en las plantas realizadas en el sitio, su transporte y su colocación.

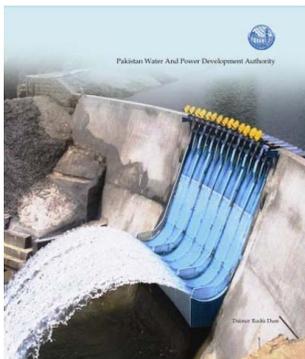


Fig.6.1 PRESA DIAMER BASHA, EN PAKISTÁN

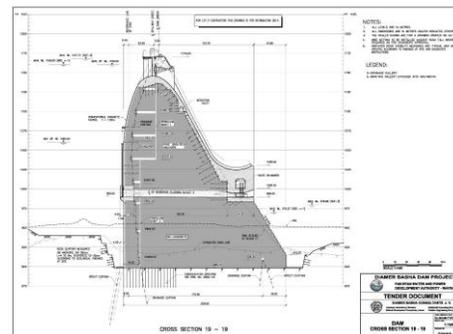


Fig. 6.2 SECCIÓN DE PRESA DIAMER

El trabajo de logística para la construcción tiende a ser intensivo. Se debe garantizar la supervisión de todos los procesos, desde la planta in -situ, a la cual se suministran las proporciones adecuadas de la mezcla, hasta su transportación al lugar de su colocación por medio de bandas o transporte especial rodado que permite sea suministrado en el lugar preciso para esparcirlo y ser compactado con los rodillos vibratorios. Sin duda, lo más importante del proceso resulta ser la continuidad de todas las etapas de producción ya que debido a los grandes volúmenes se requiere equipo especial que sea capaz de producir la demanda diaria sin interrupciones.

Otro factor digno de mención es clima. En el diseño de una presa localizada en regiones con altas variaciones en la temperatura, se deben tomar precauciones del caso para controlar los esfuerzos de origen térmico. Además, se recomienda tener en cuenta el régimen de lluvias ya que la construcción se puede ver afectada cuando estas son muy fuertes o continuas.

Una vez estudiadas las variables mencionadas se realizan varios rediseños o estudios de factibilidad para después profundizar en aquellos que arrojen las mejores perspectivas. En suma, podemos resumir que hay tres requerimientos esenciales para que una presa de CCR sea exitosa. Primero, el diseño razonable que permita que sea construida rápidamente; segundo, obtener una mezcla de CCR cohesiva y sin segregación; y tercero, generar una metodología de construcción optimizada continua en la producción de concreto y abastecimiento de sus agregados.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Los criterios que han sido considerados para determinar que existe una mejor calidad en la construcción de presas de concreto compactado con rodillo son:

Una mezcla de concreto sin segregación, rápida colocación de grandes volúmenes, menor número de juntas, menor número de horas-hombre, mayor permeabilidad en el concreto, no requiere cimbra de ningún tipo, no requiere de acero de refuerzo, costo por mano de obra y tiempos de ejecución.

En la actualidad, en todos los continentes existen presas construidas con CCR y se siguen diseñando. Sin embargo, es importante aclarar que no todas se han construido y diseñado con mezclas similares pues se tienen registros de contenidos de material cementante (cemento portland más puzolanas) variando desde 70 hasta 240 kg/m³, implicando concreto con comportamientos en estado suelto, diferentes durante el proceso de las reacciones químicas y como producto final.

Se puede mencionar que dentro de este método se generan dos escenarios diferentes: los elementos construidos con mezclas de bajo contenido de cemento y las de alto contenido. En el caso de las primeras, estas tienen características tales como: un menor desarrollo de calor durante el proceso de hidratación, alta permeabilidad, densidad moderada y una menor trabajabilidad con el concreto.

Por otro lado, las presas construidas con alto contenido de cemento presentan un alto calor de hidratación, alta densidad, concreto trabajable y una impermeabilidad que favorece el prescindir de obra adicional para garantizar esta cálida. Por ejemplo, el proyecto hidroeléctrico Ghatghar, en India, este empleo en la construcción de sus tres presas una mezcla CCR con un $f'c=150$ kg/cm², considerando cuatro criterios fundamentales: impermeabilidad, densidad, resistencia y trabajabilidad para ser transportado, extendido y compactado sin segregación perjudicial. Para lograr la impermeabilidad exigida, se definió el contenido de cemento en 220 kg/m³, para asegurar un valor in-situ de 10-9 m/s que fue considerada más que suficiente.

El criterio principal para tomar una decisión sobre el concreto a utilizar en una presa, es básicamente, el de las condiciones particulares del lugar, así como la disponibilidad de agregados de calidad hallados en la zona. Sin embargo, los retos que actualmente enfrenta este material son diversos.

Según informes económicos de las presas construidas con CCR en todo el mundo se puede decir que son más económicas (aunque no más fáciles de construir), debido al menor número de obras adicionales para lograr la impermeabilización ya que las pendientes de las caras de la presa son más altas, lo que trae como consecuencia menores volúmenes de mezcla.

Después de un desarrollo continuo de la técnica del concreto compactado con rodillo CCR, durante los cuales el tamaño de la presa media de CCR no se incrementó, en los últimos años éste ha aumentado rápidamente. En la actualidad, hay suficiente confianza en el método, no sólo para la construcción de presas de gravedad de cualquier tamaño razonable, sino también para presas arco y de arco-gravedad.

Para el CCR es posible emplear tanto para el transporte, colocación y compactación del concreto los mismos métodos usados habitualmente para el movimiento de tierras, esto sumado a métodos potentes de fabricación conlleva a obtener altos rendimientos de construcción.

El CCR se ha popularizado en la construcción de presas por factores como economía y rapidez de construcción. Existen otros como la reducción del impacto ambiental, la reducción en costos del material, mejoramiento de las condiciones de seguridad en la construcción y la habilidad del material para manejar crecientes con mayor seguridad.

Hoy en día, a pesar de la gran difusión que ha tenido esta técnica en todo el mundo debido al gran ahorro económico que significa su aplicación se debe aclarar que no todas las obras se han diseñado y construido con materiales de idénticas características y propiedades debido a las grandes variaciones de las cantidades de cemento empleadas en las mezclas de concreto.

El CCR endurecido alcanza una resistencia, impermeabilidad, densidad y durabilidad comparables a las del concreto convencional.

El CCR es una técnica novedosa que requiere una gran cantidad de estudios y para cada presa una experimentación previa más intensa que en las presas de concreto convencional.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Las futuras presas en CCR dependen en gran medida de los ahorros que se pueden realizar en los materiales y la simplificación de las dimensiones de las presas. Con un buen conocimiento del comportamiento de las presas existentes, los proyectistas deben tener en cuenta lo bueno y evitar las cosas que aumenten los costos.

En paralelo con la creciente confianza que ha generado la técnica del concreto compactado con rodillo (CCR), ha habido cierto número de innovaciones que están aumentando la sencillez y la economía para la construcción de presas. Todo ello se traduce en que cada vez más países utilizan dicha técnica

El CCR se ha definido como “Un concreto de consistencia seca, de revenimiento nulo, que se coloca en forma continua y se compacta con el paso de rodillos lisos vibratorios”.

Hablando en primer término de la dosificación de cemento, las primeras presas de este material utilizaron mezclas de muy bajo contenido de cemento: en willow creek (terminada en 1983) la mezcla básica tenía solo 47 kg de cemento y 19 kg de cenizas volantes por metro cubico de concreto. Sin embargo, actualmente se distinguen varias clases de CCR. Según la comisión internacional de grandes presas, las mezclas de este material para presas se clasifican comúnmente en tres grupos, según el contenido unitario de cementantes (cemento mas aditivos minerales tales como puzolanas o cenizas volantes): mezcla “pobres”, de 100 kg/m³, mezcla “ricas”, de más de 150 kg/m³, y mezclas “intermedias”, con contenido medio de cementante (entre 100 y 150 kg/m³). Consideración aparte merece el rcd (rolled concrete fotdams) que se utiliza en Japón siguiendo normas especiales.

El mayor conocimiento y los avances en la tecnología del concreto han llevado a que actualmente se tienda a un mayor uso de mezclas ricas, y a un mayor contenido de puzolanas, como se ve en los datos de 14 presas de más de 120 m de altura en construcción de Asia, Europa y África a finales de 2008, pues 18 de las 21 mezclas utilizadas tienen más de 150 kg, y seis de ellas aun sobrepasan los 200 kg de cementantes por metro cubico de concreto. Es importante destacar que muchas de las mezclas modernas el contenido de puzolanas o cenizas es de un 20% a un 40 % mayor que el de un cemento portland. Este tipo de mezclas produce de manera natural una reducción en la temperatura máxima que alcanza el concreto, por el desfaseamiento en el pico de producción de calor de hidratación de las puzolanas en relación con el cemento, además de que en general las puzolanas generan menor calor que el cemento al hidratarse, todo lo cual, en su conjunto, ayuda a reducir la necesidad de dejar juntas de contracción en la estructura

En cuanto al contenido de agua de la mezcla, de manera semejante de lo que ocurre con los suelos, hay un contenido de humedad optimo que permite obtener la densidad y resistencia máximas con el proceso de compactación. Así, más que la relación agua/cemento (o agua / material cementante, a/mc) tiene importancia el volumen de agua por metro cubico de concreto. Este queda determinado sobre todo por la trabajabilidad necesaria del concreto fresco, en lo que mucho influyen el tamaño máximo y la forma individual de los agregados, y por su reacción a la compactación.



FIG. 6.3 PRESA GRINDSTONE CANYON, NUEVO MEXICO



FIG. 6.4 PRESA SALUDA, CALIFORNIA

Por su parte, la tendencia en el tamaño máximo nominal de los agregados gruesos es no rebasar los 50 mm, especificándose frecuentemente de 38mm. El uso del agregado máximo de menor tamaño da en general menor posibilidad de segregación, menor adhesión en las juntas, mayor densidad y menor permeabilidad, y su efecto en una menor resistencia es relativamente despreciable. Un proporcionamiento promedio contiene aproximadamente el 50 % de agregados finos, y algunas mezclas contienen más del 10% de finos no plásticos.

Para un proyecto determinado es necesario diseñar las mezclas con mucho cuidado, tomando muy en cuenta las características de los agregados que se pretenda usar y las temperaturas de aire en el sitio a lo largo del año. Eventualmente se puede requerir algún retardante del fraguado.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Hemos dado un vistazo somero al estado actual de la técnica del CCR y su uso en presas. la ingeniería de presas mexicanas está tomando en cuenta este material para varios de sus proyectos más importantes y puede ser que pronto lo haga en otros mas, lo que exige que las empresas de ingeniería y de construcción de nuestro país, las de investigación, las de maquinaria y equipo y las cementeras se mantengan actualizadas y trabajen coordinadamente para avanzar en el conocimiento y en el mejoramiento de la tecnología del CCR para presas, a fin de producir obras de la mayor calidad, funcionales, seguras y económicas. pero debido a que el concepto del CCR es relativamente reciente hay muchas mejoras y refinamientos aun por estudiar y resolver, y el intercambio de informacion y experiencia sera de gran utilidad.

El Concreto Compactado con Rodillo, es un adelanto en la tecnica de construccion con bastante éxito que hasta ahora se ha aplicado principalmente en presas y pavimentaciones ya que las características de este metodo se enfocan a estructuras de grandes areas. Es un metodo que aun tiene mas aplicaciones que se deben de investigar para explotar aun mas las bondades de esta tecnica. Asi tambie existe un desconocimiento de esta tipo de concreto en el ramo de la ingenieria en general en Mexico, solo se le conoce en el area de la construccion de obras Hidraulicas y vias terrestres en menor grado ,Es por lo tanto una necesidad expandir su aplicación no solo en presas y vialidades sino como por ejemplo en los rellenos sanitarios donde se colocan grandes areas de superficie de concreto como capa ultima, patios industriales, areas de estacionamiento, areas de esparcimiento, muros de contencion, plantillas para despalnte de cimentaciones, etc.

Por lo tanto esta tecnica tiene bastante futuro, y paralelamente a la investigacion de su características y cualidades tambien se debe enfocar aun mas a buscar mas y nuevas aplicaciones.



FIG. 6.5 EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO ES UN ADELANTO EN LA TECNICA DE CONSTRUCCION DE PRESAS.

7.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- XIV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA CIVIL, DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO UTILIZANDO CONCEPTOS DE COMPACTACION DE SUELOS, ING. MIRIAM R. ESCALAYA ADVÍNCULA, DR. JORGE E. ALVA HURTADO
- 2.- PCA, DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO, PORTLAND CEMENT ASSOCIATION
- 3.-CONCRETO PARA PRESAS, GREGORIO B. MENDOZA
- 4.-CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.ING. JORGE SOLANO JIMÉNEZ, DIRECTOR TÉCNICO ICCYC.INSTITUTO COSTARRICENSE DEL CONCRETO Y EL CEMENTO
- 5.-BASES ESTABILIZADAS (PARAPAVIMENTOS) UTILIZANDO TECNOLOGÍA DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO, JUAN CARLOS BENAVIDES BRENES, JUNIO 2005 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICAESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
- 6.-APLICACIONES DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN LA CONSTRUCCION DE PRESAS, GEORGE J. FLORES CASO.DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN ACI-UNI PERO
- 7.-COMENTARIOS SOBRE EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO,LUZ ELENA SANTAELLA VALENCIA,UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
- 8.-IDENTIFICACION DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO EN EL CCR, UN VIEJO PROBLEMA RESUELTO A TRAVES DE UNA NUEVA TECNOLOGIA, GERMÁN HERMIDA,ENRIQUE GARCÍA,JORGE SÁNCHEZ, JOSÉ HERRERA.
- 9.-TESIS PROFESIONAL. UNAM.ASPECTOS FUNDAMENTALES Y APLICACIONES DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN PRESAS, LUIS MIGUEL RIVERA MARTINEZ
- 10.-TESIS PROFESIONAL. UNAM. CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO CON AGREGADOS CALIZOS Y ANDESITICOS. ING. JAVIER ENRIQUE LUNA SANCHEZ
- 11.-LAS PRESAS Y EL CCR.CARLOS JOFRE Y RAFAEL FERNANDEZ
- 12.- ESTADO ACTUAL DE LA TECNICA DE LAS PRESAS DE CCR, REVISTA DE INGENIERÍA CIVIL DEL COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MEXICO, OSCAR DE LA VEGA ROLDAN.
- 13.-INSTITUTO DE INVESTIGACION DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, GEORGE J. FLORES CASO.
- 14.-BACHEO DE VÍAS UTILIZANDO CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO, ING. JORGE SOLANO JIMÉNEZ, DIRECTOR TÉCNICO ICCYC.
- 15.-UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, FACULTAD DE INGENIERIA; CAPACIDAD DE ADHERENCIA ENTRE CAPAS DE CCR EN PRESAS, ING. FABIO ALBERTO RIVERA TORRES, BOGOTÁ, D.C. 2001.
- 16.-DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO, UTILIZANDO, CONCEPTOS DE COMPACTACION DE SUELOS.-ING. MIRIAM R. ESCALAYA ADVÍNCULA. DR. JORGE E. ALVA HURTADO

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

- 17.-EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO CCR O ROLLER COMPACTED CONCRETE ES UNO DE LOS CONCEPTOS CLAVE EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION DE PRESAS EN EL MUNDO ACTUAL.
- 18.-EL USO DEL HCR EN LA CONSERVACIÓN DE PRESAS DE TIERRA, REVISTA CEMENTO AÑO 2, N° 8
- 19.-PAVIMENTANDO CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR), EXPERIENCIAS REALIZADAS POR EL ING. OSWIN KEIFER EN LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA
- 20.-ESPECIFICACIONES TECNICAS, PRESA AMATA SINALOA. CNA.
- 21.-ESPECIFICACIONES TECNICAS, PRESA EL REALITO, SAN LUIS POTOSI MEXICO. CONAGUA.
- 22.-COMISION NACIONAL DEL AGUA. PRESA EL REALITO
- 23.-COMISION NACIONAL DEL AGUA. PRESA LA MANZANILLA
- 24.-COMISION NACIONAL DEL AGUA. PRESA TRIGO MIL
- 25.-COMISION NACIONAL DEL AGUA. PRESA SAN LAZARO
- 26.-COMISION NACIONAL DEL AGUA. PRESA VINORAMAS
- 27.-COMISION NACIONAL DEL AGUA. PRESA ZAPOTILLO
- 28.-COMISION NACIONAL DEL AGUA. PRESA LOS PANALES
- 29.-ESPECIFICACIONES TECNICA COMISION FEDEREAL DE LECTRICIDAD, PRESA SAN RAFAEL.
- 30.-VI CONGRESO ARGENTINO DE PRESAS, PROYECTO PALOMINO
- 31.-DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA PRESA TASHKUMYR, RUSIA
- 32.-REVISTA NOTICRETO COLOMBIA. ARTICULO “ LA PRESA MAS ALTA DEL MUNDO EN COLOMBIA; MIEL I “.
- 33.- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, TRANSPORTE Y DE VIVIENDA Y DESARROLLO URBANO, “CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS” EL SALVADOR.
- 34.-EMPRESA INGENDESA; CONSTRUCCION DE LA PRESA RALCO EN CHILE.
- 35.-INFORME TECNICO DE LA EMPRESA DE SUPERVISION “ GRUPO PROFESIONAL PLANEACION Y PROYECTO S.A. DE C.V. “
- 36.-COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD. CONCRETO EN LA INFRAESTRUCTURA ELECTRICA.
- 37.- ESPECIFICACIONES TECNICAS PRESA ROMPEPICOS.
- 38.- ARTICULO EN INTERNETE, PRESA LONGTAN, CHINA
- 39.- BUFETE INDUSTRIAL.PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA PRESA SAN RAFAEL. MEXICO
- 40.- CURSO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO. ING. DONATO FIGUEROA GALLO. PROYECTO H. SAN RAFAEL, NAYARIT, MEXICO. 1994.

Anexo 1

CONTROL DE CALIDAD DURANTE LA CONSTRUCCION DE PRESAS DE CCR.

José López Moreno

1.1.1 Generalidades.

La alta tasa de colocación del CCR, impone la adopción de medidas especiales para controlar su calidad. Lo anterior implica que el objetivo del control de calidad sea considerado en la etapa de diseño, en la planeación y en la fase inicial de construcción del CCR. Adicional a la realización de pruebas de laboratorio para controlar la calidad del CCR, el programa de control de calidad debe incluir todas las operaciones básicas incluidas en la producción y colocación del CCR, teniendo en cuenta como van a ser realizadas. La preparación y una buena programación son la clave del éxito en la calidad de la construcción. Vease la figura 1.

El énfasis en el control de calidad en presas de CCR esta en la preparación de las actividades previas al inicio de la colocación del CCR (Véase la Figura 2), en los procedimientos constructivos adecuados y en el control del tiempo, bien sea, de la exposición de las juntas de construcción o del tiempo transcurrido hasta la compactación final del CCR.

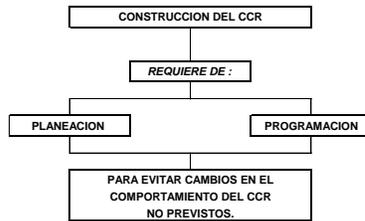


Figura 1. Importancia de la planeación y de la programación en la construcción de presas de CCR.



Figura 2. Actividades previas a la colocación del CCR.

El énfasis del control de calidad no está en los valores de la resistencia a compresión de los cilindros de prueba, si no en una mas activa evaluación e inspección de la mezcla en estado fresco, con la preparación y ensayos de algunos cilindros de prueba.

El grado al cual el control de calidad sea planeado desarrollar durante la construcción, determina directamente que opciones de diseño son razonables para cada proyecto, y que tanto sobrediseño es apropiado.

Por otro lado, tal como se indicó anteriormente, los métodos y equipos de construcción empleados por un Contratista en la construcción de una presa de CCR, afecta el comportamiento esperado de la estructura. Por este motivo, el Contratista deberá entender como las actividades bajo su control y responsabilidad afectan el diseño de la estructura. Véase la Figura 3.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

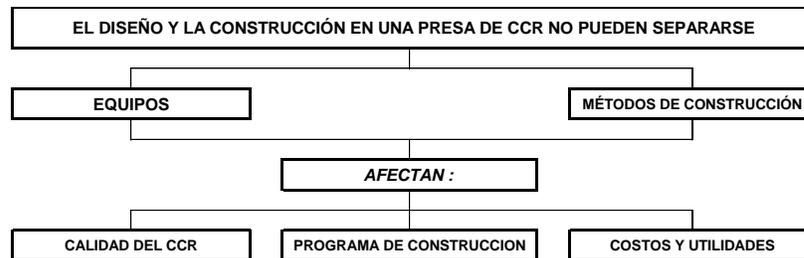


Figura 3. Relación diseño y construcción en una presa de CCR.

1.1.2 Aspectos constructivos en presas de CCR.

Con el objetivo de conocer mejor la tecnología de construcción de presas de CCR, se presenta a continuación un resumen de los aspectos constructivos más importantes en el CCR¹.

1.1.2.1 Preparación de la fundación.

La fundación para una presa de gravedad de CCR debe cumplir con los requisitos generales exigidos para una presa de gravedad en concreto convencional.

Durante la preparación de la fundación se deben eliminar los espesores de roca meteorizada hasta llegar a niveles de roca aceptable. La superficie final obtenida puede tener inclinaciones variadas. Inclusive, sectores verticales en caso de que se presenten taludes negativos, estos se deberán eliminar con cortes o con rellenos con concreto dental, siendo estos últimos poco usados. Las curvas de nivel de la superficie final de apoyo de la presa en principio no deben divergir hacia aguas abajo, para que esta no tienda a “separarse” de los estribos ante la acción de la carga del embalse. Antes de colocar la mezcla de CCR la superficie de la fundación se debe limpiar de manera que se eliminen materiales sueltos o fragmentos de roca, acumulaciones de material limoso, vegetación, grasa y en general cualquier tipo de material. Una vez la superficie de fundación se encuentre completamente limpia, se acostumbra colocar una capa de mortero de pega (bedding mix) para lograr un buen contacto de la mezcla de CCR con la roca, lo cual se compacta con compactadores pequeños manuales, efectivos cerca de las irregularidades de la roca.

1.1.2.2 Colocación y compactación.

La construcción de presas de CCR debe ser una actividad continua para evitar en lo posible juntas frías. Las mezclas de CCR no se deben colocar bajo lluvia por su total deterioro e imposible compactación. Por esto en regiones lluviosas debe estudiarse económica y programáticamente si resulta más conveniente suspender la actividad en periodos lluviosos o si se decide cubrir el área de trabajo para no interrumpir la construcción.

Para el transporte de la mezcla entre la planta de concreto y la presa pueden utilizarse volquetas y/o bandas transportadoras. En el área de la presa estas últimas tienen la ventaja de eliminar el tránsito de equipo sobre las capas compactadas y evitar así su deterioro y la inclusión de una actividad adicional de limpieza que incrementa los costos y los tiempos de ejecución.

La construcción de estas presas avanza generalmente a un mismo nivel en toda la extensión de la misma. Es posible que localmente esto no se cumpla cuando se desarrollan otras actividades tales como construcción de galerías, pozos de inspección, conducciones, etc.

Si la descarga del material se hace mediante bandas transportadoras, la mezcla se deposita en un sitio sin desplazamientos y manejos innecesarios que pueden generar segregación. Para extender la mezcla generalmente se requiere de un solo bulldozer o equivalente.

El espesor final de las capas puede variar entre 30 y 60 cm, esta última dimensión siempre y cuando no exista segregación. Es común especificar la compactación dentro de los 10-15 min. siguientes a la descarga del material, mediante un mínimo de 4 pasadas de un compactador vibratorio de doble rodillo u 8 pasadas de uno solo. El peso es por lo general de 10 t.

Cerca a los estribos de la presa o de cualquier estructura incorporada en la misma o cerca de los taludes exteriores se emplean compactadores manuales que transmiten una carga dinámica entre 700 y 800 kg/golpe.

¹ AMAYA, F. y GOMEZ, J. Op. cit.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

1.1.2.3 Juntas horizontales.

La forma ideal de construir presas en concreto compactado es la de colocar en forma continua las capas de material, de manera que no transcurra entre capas sucesivas un tiempo superior al de fraguado inicial, con el objeto de que no se creen juntas frías indeseables.

Teniendo en consideración que el tiempo de fraguado inicial esta en función de la madurez de la junta, es necesario establecer en el diseño, para cada caso particular, un valor límite del índice de madurez, más allá del cual es necesario realizar un tratamiento especial en la junta con el objeto de garantizar las propiedades mecánicas supuestas en el diseño. Este tratamiento consiste en términos generales en la limpieza de la junta con chorros de aire y/o agua a presión y en la colocación posterior de una mezcla de pega el cual se extiende en una longitud previamente establecida en el diseño para estos casos.

1.1.2.4 Juntas verticales transversales.

Las presas de gravedad de CCR necesitan por lo general la construcción de juntas verticales transversales que atraviesen parcial o completamente el cuerpo de la presa. Estas juntas se adoptan por razones como las siguientes:

- Para absorber las contracciones debidas a calores de hidratación del cemento.
- Por comportamientos diferenciales que pueden desprenderse de cambios en la geometría y propiedades de la fundación.
- Por programación de las obras en el caso de requerir construir la presa por sectores independientes.

En las presas construidas con bajo contenido de material cementante, por desarrollar menos calor de hidratación puede requerirse un menor número de juntas transversales que en las presas construidas con alto contenidos de material cementante.

Para conformar una junta transversal originada al construir por separado un tramo de una presa, puede emplearse el mismo procedimiento constructivo que se utiliza en el contacto con los estribos. Esto es, el de emplear mezclas de pega en el extremo de cada capa de concreto adyacente a la junta. Esta clase de junta se inyecta eficientemente con lechada de cemento y es usual la colocación de un sello de PVC en los extremos.

La conformación de juntas transversales puede hacerse en forma rápida, sencilla y a muy bajo costo. El procedimiento consiste en ubicar verticalmente en el sitio de la junta una lámina de acero revestida en plástico. Después de depositar el material en ambos lados de esta y antes compactar la capa se retira la lámina de acero, dejando embebido el plástico dentro del concreto en el plano de la junta. Esta junta no requiere inyección de lechada.

En el RCD es costumbre conformar las juntas verticales inmediatamente después de compactar la capa mediante el hincado por percusión de una cuchilla de acero, acoplada a un equipo que se desplaza a lo largo del alineamiento de la junta. Este sistema también se ha utilizado en presas de CCR con alto contenido de pasta.

1.1.2.5 Galerías en el cuerpo de la presa.

La construcción de galerías para inyección, drenaje e inspección y control es necesaria en presas de gravedad con concreto compactado. El número de ellas debe ser el mas reducido posible y su ubicación debe ser cuidadosamente definida para no causar interferencias importantes en la colocación y compactación del concreto, actividades que deben proceder sin interrupciones para lograr mayor economía. Existen varios métodos para construir ductos y galerías; la adopción de uno de ellos obedece al tipo de acabado que se desee, a los costos y a los procedimientos constructivos seleccionados por el constructor para ejecución de la obra. Entre dichos métodos se mencionan el siguiente:

- Formaletas rígidas removibles contra los cuales se coloca y compacta el CCR.
- Paneles de concreto entrelazados sostenidos por vigas y pernos de anclaje embebidos en el CCR.
- Segmentos prefabricados de galería o ductos.
- Relleno de materiales granulares sin materiales cementantes, colocado y compactado como si fuera concreto, y posterior remoción cuando el CCR adyacente haya alcanzado suficiente resistencia.

1.1.2.6 Taludes de la presa.

Los taludes de aguas arriba (generalmente cercano a la vertical) y de aguas abajo de la presa (con inclinaciones algo superiores a los 45 °) pueden conformarse sencillamente a medida que se coloca y compacta las capas de

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

concreto. En general, se utilizan formaletas simples de poca altura (1.2 m, correspondiente a tres o cuatro capas de concreto) sujetas al mismo concreto mediante anclajes cortos embebidos, contra los cuales se coloca una mezcla de concreto convencional de ancho reducido (menor de 60 cm) antes de extender y compactar el CCR. El talud resultante, puede ser liso o en escalones de poca altura. El acabado puede mejorarse posteriormente mediante paneles prefabricados o mediante una capa delgada de concreto convencional.

Cuando se requiera impermeabilizar la cara de aguas arriba de la presa esto puede hacerse mediante la misma losa superficial de concreto convencional que se utiliza en presas de enrocamiento, mediante la utilización de membranas colocadas detrás de paneles prefabricados de concreto o simplemente mediante el cubrimiento total del talud con membranas de PVC de propiedades adecuadas, como las que se han utilizado en la preparación de algunas presas de concreto en arco o gravedad.

1.1.3 Efecto del proceso constructivo en el comportamiento del CCR.

El proceso constructivo de una presa de CCR afecta el comportamiento inicialmente previsto en el diseño. Se describe a continuación el efecto de los equipos y métodos constructivos en las propiedades que definen el comportamiento del CCR:

1.1.3.1 Segregación del CCR.

La segregación en el CCR, disminuye el peso unitario del concreto al presentarse vacíos dentro de su estructura, producto de la granulometría inadecuada que presenta el CCR según la manipulación que tenga la mezcla en el proceso de colocación. Al disminuir el peso unitario, disminuye también sus propiedades elásticas, aumenta su permeabilidad, así como también, afecta el contacto de las capas de construcción disminuyendo los parámetros de resistencia al corte, dando lugar al agrietamiento del concreto, a la presencia de infiltraciones y por consiguiente de subpresiones que pueden afectar la estabilidad misma de la estructura. Las actividades que controlan la segregación del CCR se resumen en la Tabla 1.

ETAPA	ACTIVIDAD
DISEÑO	<i>DISEÑO MEZCLA DE CCR.</i> Ajuste granulometría del CCR.
PRECONSTRUCCIÓN	NÚMERO Y DISPOSICIÓN DE GRUPOS O FRACCIONES GRANULOMETRICAS.
CONSTRUCCIÓN	NÚMERO Y DISPOSICIÓN DE GRUPOS O FRACCIONES GRANULOMETRICAS. MANIPULACIÓN AGREGADOS EN SITIO DE ALMACENAMIENTO MEZCLADO Ajuste rata de alimentación de los grupos granulometricos a la mezcladora. <i>TRANSPORTE DEL CCR.</i> Volquetas. - Aumenta el numero de puntos de transferencia y las posibilidades de segregación. Cintas transportadoras. - Minimiza los puntos de transferencia <i>COLOCACIÓN.</i> Volquetas. Trompa de Elefante. Diámetro "Tubo" de caucho Vs Rata de colocación del CCR.

Tabla 1. Actividades que controlan la segregación del CCR.

1.1.3.2 Comportamiento térmico del CCR.

El comportamiento térmico de una presa de CCR, está determinado entre otros factores, por la secuencia de colocación de las capas horizontales de construcción de la presa., tal como de puede apreciar en la Figura 4.

Una alta tasa de colocación es ventajosa desde el punto de vista del comportamiento térmico, ya que disminuye el tiempo de exposición de la superficie de las juntas de construcción y por consiguiente la posibilidad de que el gradiente térmico existente entre la parte interna de la presa (más caliente) y la superficie (más fría) aumente,

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

disminuyendo así el potencial de agrietamiento del CCR. Así mismo, la colocación rápida y un cubrimiento rápido de cada capa de CCR con la siguiente capa, da como resultado una mejor calidad del contacto entre ellas, resultando la colocación más económica respecto de una tasa de colocación más lenta.

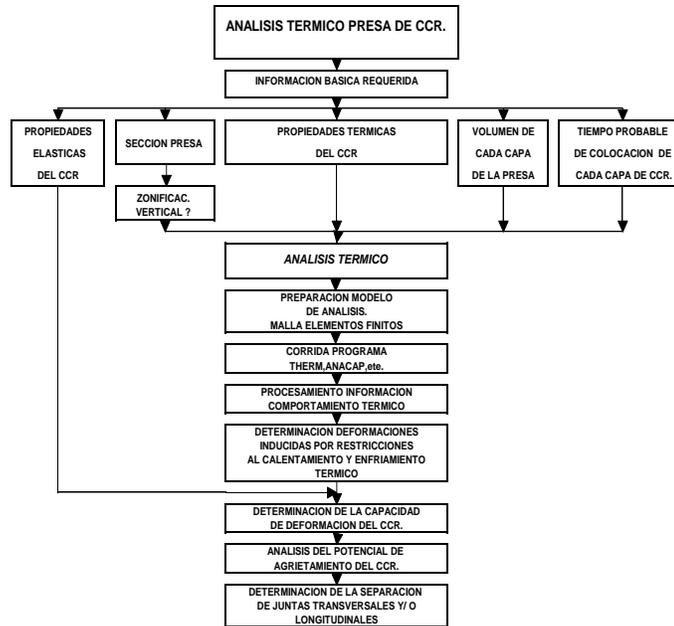


Figura 4. Metodología del análisis térmico y del potencial de agrietamiento.

La tasa de colocación prevista en el programa de construcción de una presa de CCR, tiene que ver también con otros factores relacionados con el comportamiento de la estructura, así como con los requerimientos de los equipos de construcción, tal como se puede apreciar en la Figura 5.

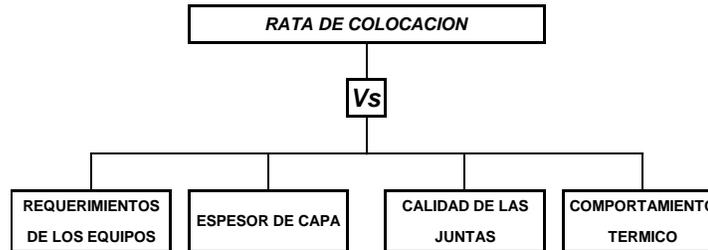


Figura 5. Relación de la tasa (rata) de colocación con el comportamiento y construcción del CCR.

Los diferentes factores de las etapas de diseño y construcción que afectan la tasa de colocación del CCR, se resumen en la Tabla 2.

1.1.3.3 Capacidad de deformación del CCR.

La disminución de la capacidad de deformación del CCR, tiene importantes implicaciones en el comportamiento de la estructura. Puede producir el agrietamiento del CCR y por consiguiente generar la presencia de subpresiones que afecten su estabilidad. En la Tabla 3, se resumen los factores que afectan la capacidad de deformación del CCR.

El periodo de tiempo permitido para la compactación de las capas de CCR es difícil especificarlo debido a que este depende de muchas variables tales como:

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades físicas y químicas del cemento y de la puzolana. • Las proporciones del cemento y de la puzolana. • La consistencia y contenido de humedad de las mezclas. • La composición y dosificación del aditivo (si es utilizado). • Las condiciones ambientales. • La temperatura de la mezcla 	ETAPA	ACTIVIDAD
	PRECONSTRUCCION	STOCK INICIAL ADECUADO DE: - AGREGADOS - CEMENTO - PUZOLANA / FLY ASH / ESCORIA DISPONIBILIDAD DE SILOS CON CAPACIDAD Y CARACTERISTICAS ADECUADAS. INSTALACIÓN Y PRUEBA DE EQUIPOS. EXCAVACIÓN Y LIMPIEZA DE LA FUNDACIÓN.
	CONSTRUCCION	PRODUCCIÓN ADECUADA DE AGREGADOS TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE CEMENTO TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE PUZOLANA / FLY ASH / ESCORIA PRODUCCIÓN Y EFICIENCIA DE EQUIPOS UTILIZADOS EN: - MEZCLADO - Según proporción de los diferentes grupos granulométricos - TRANSPORTE - Volquetas - Cintas transportadoras - COLOCACIÓN - EXTENSIÓN - COMPACTACION - CURADO - LIMPIEZA INTERFERENCIAS DURANTE LA COLOCACIÓN DEL CCR: - LLUVIA - CONSTRUCCION GALERIAS DE DRENAJE - REDUCCIÓN DEL ÁREA DE COLOCACIÓN DEL CCR. - MEZCLA DE PEGA. - CONSTRUCCION CARA IMPERMEABLE - APRENDIZAJE DE LAS DIFERENTES ACTIVIDADES INVOLUCRADAS EN LA CONSTRUCCION DE LA PRESA.

Tabla 2. Factores que afectan la tasa de colocación del CCR.

ETAPA	ACTIVIDAD/OPERACION	RESPONSABLE
DISEÑO	Dosificación de la mezcla Contenido de cemento. Contenido de puzolana Contenido de humedad. Granulometría. Tamaño máximo del agregado Bien gradado Incremento del material < 3/8". Contenido de finos Adición de aditivo retardante.	Diseño de la mezcla
CONSTRUCCION	Segregación de la mezcla Variabilidad de la mezcla Compactacion - Retardo en la compactacion Regla de oro: Vaciado: hasta 10 min después de iniciada la mezcla Extensión: hasta 10 min después de del vaciado Compactacion: hasta 10 min después de extenderse - Numero incompleto de pasadas.	Método y equipos de construcción Rata de colocación - Mezcladora. Coordinación actividades.

Tabla 3. Factores que afectan la capacidad de deformación del CCR.

1.1.3.4 Juntas de construcción.

La calidad de las juntas de construcción es probablemente el aspecto más importante en el diseño y construcción de una presa de CCR. La junta entre capas es la parte más débil de la estructura y uno de los mayores problemas para el Contratista.

Desde el punto de vista del diseño, contactos inadecuados en las juntas de construcción pueden producir la falla o reducir la seguridad contra el deslizamiento, la separación de la junta por tensión, filtraciones y subpresiones excesivas.

La calidad de las juntas de construcción está medida en función de los parámetros de resistencia al corte, de su impermeabilidad y de la resistencia a tensión en el contacto entre capas, los cuales están determinados a su vez por los métodos de construcción utilizados, la tasa de producción y colocación del CCR y con el proporcionamiento adecuado de las mezclas, tal como se aprecia en la Figura 6.

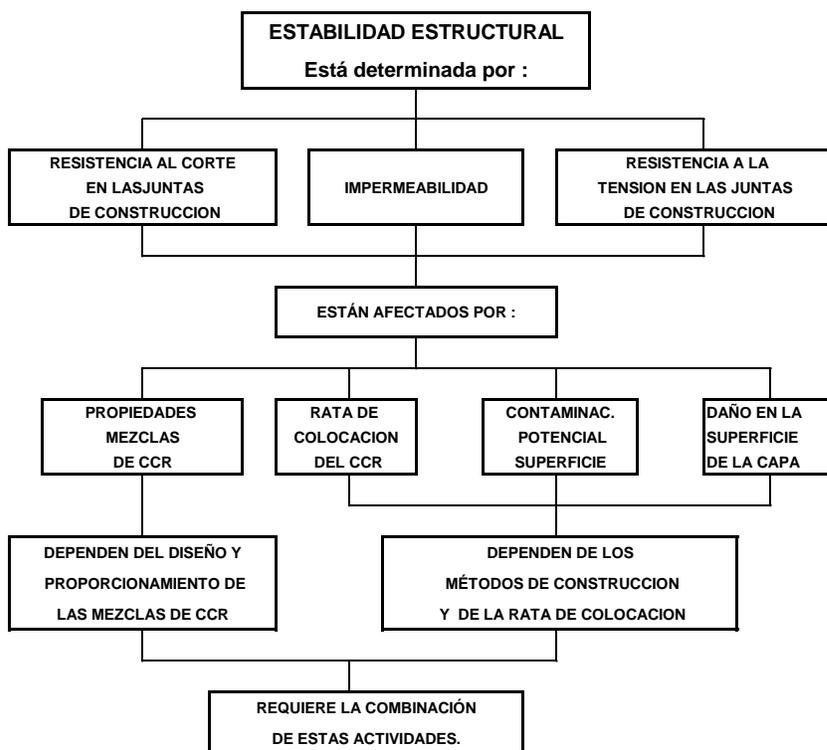


Figura 6. Factores que afectan la estabilidad de una presa de CCR.

Una medida racional y cuantificable de la calidad de las juntas de construcción, es el aportado por la determinación del índice de calidad de las juntas de construcción (ICJEC). Véase la Tabla 1 del Anexo 1².

Los parámetros medidos, su importancia relativa y los factores determinantes en su ocurrencia, se resumen en la Tabla 4.

La sumatoria de los puntajes indicados en la tabla anterior, califica la calidad de las juntas, tal como se resume en la Tabla 5. El efecto del ICJEC en los parámetros de resistencia al corte en juntas de construcción con y sin mezclas de pega, se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Su efecto es evaluado a los 28 y 365 días.

² SCHADER, E.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

PARAMETRO DE OBSERVACION	FACTOR DETERMINANTE	INDICE DE CALIDAD ENTRE CAPAS DE CCR			
		EFECTO POSITIVO		EFECTO NEGATIVO	
		PUNTAJE	(%)	PUNTAJE	(%)
1. Segregación en la superficie	Método de construcc.	2	11%	-7	10%
2. Daños por lluvia	Método de construcc.	1	5%	-8	11%
3. Curado	Método de construcc.	1	5%	-7	10%
4. Madurez de la junta	Rata de colocacion	12	63%	-5	7%
5. Sellado y condicion de la junta	Método de construcc.	1	5%	-6	8%
6. Acabado de la superficie	Método de construcc.			-7	10%
7. Sistema de transporte	Rata de colocacion	2	11%	-3	4%
8. Otros					
Contaminación	Método de construcc.			-6	8%
Remoción del CCR	Método de construcc.			-8	11%
Capa de CCR delgada (<10 cm)	Método de construcc.			-8	11%
Mezcla de pega seca	Método de construcc.			-8	11%
	TOTAL	19	100%	-73	100%

Tabla 4. Factores que afectan la calidad de las juntas de construcción en presas de CCR.

CALIFICACION		ICJEC (Suma de puntajes)
1	EXCELENTE	>+1
2	BUENA	+ 1 a -1
3	REGULAR	-1 a -3
4	POBRE	-3 a -6
5	MUY MALA	< -6

Tabla 5. Calificación de las juntas de construcción según el ICJEC.

1.1.4 Control de calidad de las actividades que preceden la colocación del CCR³

La alta tasa de colocación del CCR es muy grande comparada con la del concreto convencional, alcanzando rendimientos superiores a lo 590 m³/h. Estructuras pequeñas han sido construidas en solo unos días o semanas. Con esta tasa de colocación, los problemas que se presenten durante la construcción deben ser evaluados e implementados en su solución muy rápidamente. Cualquier problema puede paralizar la colocación del CCR.

Las causas más comunes del atraso en la colocación del CCR son las siguientes:

- Limpieza de juntas.
- Preparación y limpieza de la fundación.
- Altas temperaturas ambientes.
- Daños en los equipos.
- Falta de materiales (agregados, cemento, puzolana).
- Lluvias.

³ ACI 207. Op. cit. p. .

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

En la Figura 7 se presenta en forma de diagrama de flujo, la secuencia y descripción de las actividades del control de calidad que preceden la colocación del CCR, haciendo énfasis en la planeación e inicio de las actividades relacionadas con la producción del CCR y con la construcción del concreplen de prueba.

1.1.5 Control de calidad durante la colocación del CCR.

1.1.5.1 General.

Es ya conocida la relación existente entre el diseño y la etapa de construcción de una presa de CCR⁴, donde las condiciones de producción y colocación del CCR son diferentes a las previstas en el diseño. Este cambio de condiciones puede ocasionar cambios y/o limitaciones en los horarios y turnos de colocación del CCR⁵, variaciones en el módulo de elasticidad del CCR⁶, disminuciones importantes en la cohesión de las juntas de construcción⁷, problemas relacionados con la explotación y producción de agregados, colocación del CCR y agrietamiento del CCR⁸, problemas relacionados con la segregación de la mezcla, tasa de colocación muy baja respecto de la prevista en el diseño, daños en los equipos de construcción y variaciones en el diseño de las mezclas⁹, cambios en la calidad de los agregados y en la composición química del cemento en el período de construcción de la presa¹⁰, resistencia a compresión menores a las especificadas en el diseño¹¹ u otros cambios de no menor importancia., que afectan de una manera u otra el comportamiento previsto del CCR.

La alta tasa de colocación requiere una cuidadosa atención e interacción entre los diferentes responsables de la inspección, de la ejecución de ensayos y de la producción del CCR, junto con la Organización responsable del diseño, de tal forma que toda la información obtenida del control de calidad del CCR durante su producción y colocación, sea evaluada rápidamente dando las soluciones a los problemas que puedan presentarse en una forma oportuna. Véase la Figura 8.

⁴ SCHRADER, E, OURY, R. Mixing and Delivery of Roller Compacted Concrete. 1992. p. 242.

⁵ ARNOLD, T. y JOHNSON, D., RCC Dam Design Concepts Versus Construction Conditions for Stagecoach Dam. 1992. p. 297.

⁶ BUCHAS, J. y BUCHAS, F. Construction of Uruguay-I Dam. 1992. p. 285.

⁷ KOGAN E. A. y FEDOSSOV V.E. Roller Compacted Concrete and Horizontal Construction Joint Strength, España, 1995. p. 215.

⁸ PARKER, J. Economic factors in Roller Compacted Concrete dam construction. 1992. p. 231.

⁹ Experiencia del proyecto Pangue en Chile.

¹⁰ GAEKEL, L. y SCHRADER, E. RCC mixes and properties using poor quality materials Conception Dam. 1992. p. 358.

¹¹ Experiencia del proyecto Rio Jordao en Brasil.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

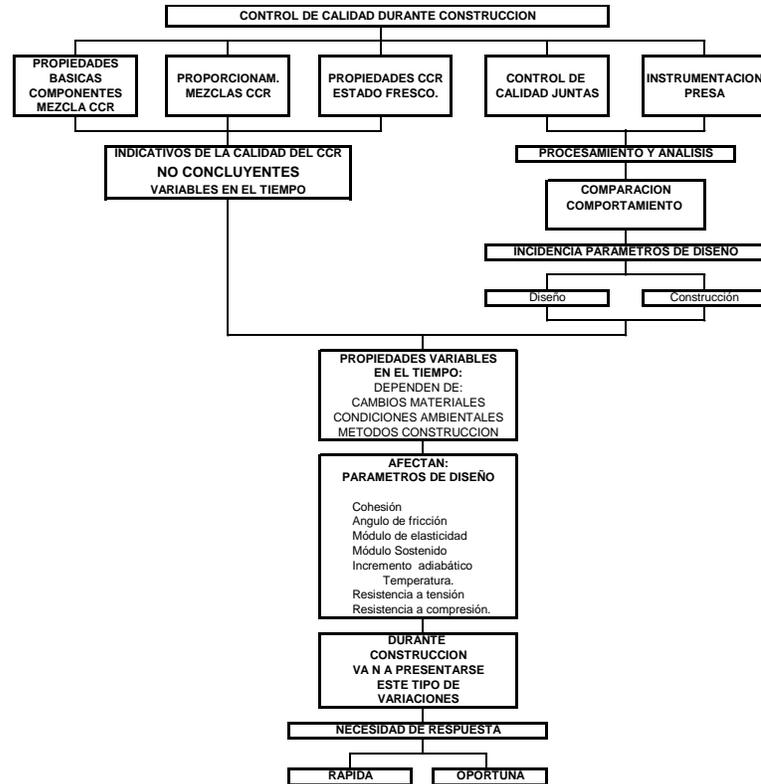


Figura 8. Requerimientos del control de calidad durante la construcción de presas de CCR.

1.1.5.2 Objetivo¹².

El objetivo del control de calidad es identificar los problemas antes de que ocurran o al inicio del proceso para que pueda ser corregido (Véase la Figura 9; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

El control de calidad durante la colocación del CCR incluye dos operaciones básicas:

- Inspección u observación:

Es la primera oportunidad para detectar los problemas del CCR y para iniciar las medidas correctivas. En muchos proyectos esta es la principal actividad del control de calidad.

- Ensayos.

Adicional a la actividad de inspección, el programa de control de calidad debe ser lo suficientemente ambicioso con el fin de monitorear las propiedades de los agregados, del cemento, el proporcionamiento de la(s) mezcla(s) de CCR, las propiedades de CCR en estado fresco y endurecido y la compactación insitu.

Es preferible monitorear y rechazar si es el caso, los resultados de las tendencias de los ensayos de campo y laboratorio en lugar de reaccionar ante una prueba específica.

La tendencia esta definida por una serie de ensayos, que permiten identificar posibles cambios perjudiciales en el comportamiento, dando inicio a las acciones correctivas, lo cual implica entre otras la modificación de la frecuencia de ensayos según el comportamiento de esta última.

Las propiedades del CCR fresco pueden variar diariamente, semanalmente, o mensualmente de acuerdo a las fluctuaciones de la temperatura ambiente. Este fenómeno, afecta a la vez los requerimientos de agua, las condiciones de la compactación durante la construcción y la calidad del concreto. En la Figura 10, se presenta un

¹² ACI 207 Op. cit. p. .

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

ejemplo típico del control de la temperatura ambiente y su interrelación con las condiciones de los agregados y con la colocación del CCR.

1.1.5.3 Ensayos¹³

1.1.5.3.1 Ensayos a los materiales.

Todos los materiales requeridos para la producción del CCR deben cumplir con los requerimientos de las especificaciones antes de que esta se inicie. La frecuencia de los ensayos debe establecerse en función del tamaño de la estructura, la tasa de producción del CCR, o de acuerdo al grado que sean solicitados los requerimientos de diseño. Estos ensayos están relacionados con:

- Cemento.
- Adiciones (puzolanas, Fly Ash, escoria).
- Agregados.
- Aditivos.

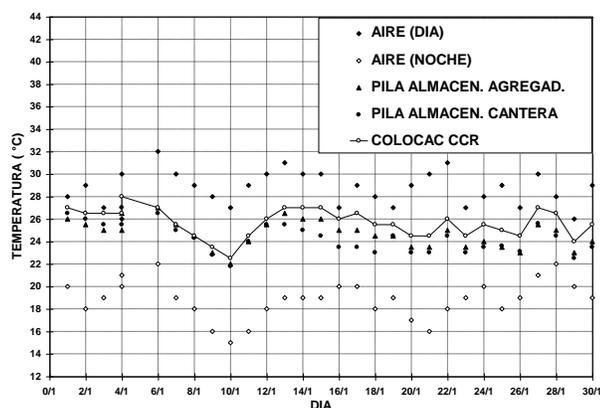


Figura 10. Control típico de la temperatura.

La determinación de la resistencia a compresión, implica la preparación de cilindros de prueba para ser ensayados a 3, 7, 14, 28, 56, 90, 180 y 365 días.

En la Figura 11, se presentan ejemplos de la forma como se debe llevar el análisis de los resultados y tendencias de estas pruebas.

Un ejemplo de los posibles ensayos y la frecuencia de estos, se resume en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

1.1.5.3.2 Ensayos al CCR.

Se han desarrollado una gran cantidad de ensayos de control de calidad, teniendo en cuenta el amplio rango de consistencias, proporciones de las mezclas, y granulometrías posibles con el CCR.

Estos ensayos se deben realizar en el CCR en estado fresco y son:

- Ensayos de consistencia.
- Peso unitario y contenido de aire.
- Contenido de humedad.
 - ◊ Ensayos químicos.
 - ◊ Ensayos de secado (horno, estufa, microondas)

¹³ ACI 207. Op. cit. p. .

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

◇ Densímetro nuclear.

- Determinación del contenido de cemento.
- Contenido de agregado grueso.
- Peso unitario del mortero libre de aire.
- Preparación de cilindros de prueba.
- Resistencia a compresión.

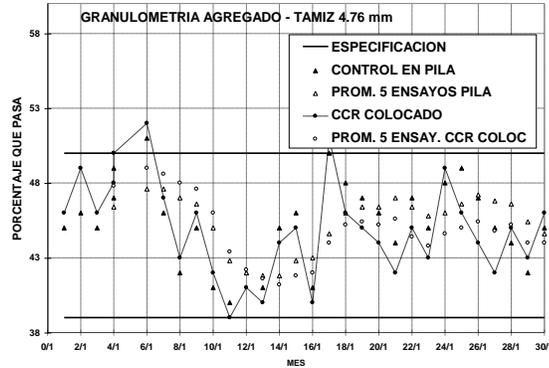


Figura 11. Control típico de los resultados de los ensayos realizados a los materiales del CCR. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

- Determinación del proporcionamiento de las mezclas.
 - ◇ Planta de mezclado.
 - ◇ Variabilidad de las mezclas
- Temperatura de la(s) mezcla(s).

La norma y la frecuencia de estos ensayos, se resume en la Tabla 6¹⁴.

¹⁴ ACI 207 Op. cit. p. .

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

MATERIAL ENSAYADO	TIPO DE ENSAYO	ENSAYO ESPECIFICADO	FRECUENCIA
Cemento	Propiedades físico-químicas	ASTM C 150 o su equivalente	1 por suministro
Puzolanas	Propiedades físico-químicas	ASTM C 618 o su equivalente	1 por suministro
Aditivos		ASTM C 260 / C 494	Certificación del productor.
Agregados	Gravedad específica y absorción.	ASTM C 127 / C 128	1 por semana.
Agregados	Granulometría	ASTM C 117 / C 136	1 por turno ó 1 por día.
CCR	Consistencia y densidad	ASTM C 1170	2 por turno ó como se especifique
CCR	Densidad insitu	ASTM C 1040	1 por hora o cada 180 m3
CCR	Contenido de humedad Densímetro nuclear de doble sensor	ASTM C 1040	Con la densidad insitu
CCR	Humedad al horno	ASTM C 566	1 por turno ó cada 730 m3
CCR	Proporciones de la mezcla	ASTM C 172 / C 1078 y ASTM C 1079	1 por turno ó cada 730 m3
CCR	Resistencia a compresión	ASTM C 1176	1 por turno ó cada 730 m3
CCR	Temperatura.	ASTM C 1064	1 por hora o cada 180 m3 ó como se requiera

Tabla 6. Ensayos de control de calidad sugeridos durante la construcción de una presa de CCR.

1.1.5.3.3 Ensayos al CCR colocado en la presa

En la Figura 12, se presenta ejemplos de la forma como se debe llevar el análisis de los resultados y tendencias de estas pruebas, facilitando de esta forma el entendimiento del comportamiento del CCR y la toma de decisiones correctivas.

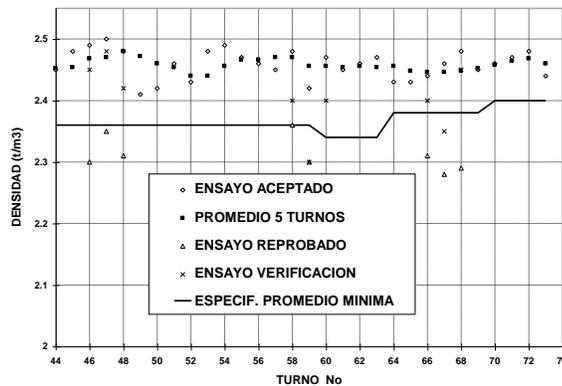


Figura 12. Control típico de los resultados de los ensayos del CCR colocados en la presa.

1.1.5.4 Metodología del Control de Calidad.

La metodología del seguimiento y supervisión de las actividades durante la colocación de CCR, se resume en forma de diagrama de flujo en la Figura 13.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Se hace énfasis en la supervisión y control de las actividades que afectan la colocación del CCR, en la disponibilidad y operación de los equipos de construcción requeridos y en los procedimientos de las actividades que comprende todo el proceso de producción y colocación del CCR en la presa.

Anexo 2

IDENTIFICACION DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO EN EL CCR, UN VIEJO PROBLEMA RESUELTO A TRAVES DE UNA NUEVA TECNOLOGIA

Germán Hermida, Enrique García,
Jorge Sánchez, José Herrera

RESUMEN

Los tiempos de fraguado en el CCR son una de las propiedades en estado fresco que más dificultades ha presentado para su correcta determinación. Sin embargo conocer con exactitud cuando tiene lugar el fraguado del material, resulta crucial para obtener una buena adherencia entre capas y para determinar hasta que instante se puede compactar el material sin comenzar a deteriorarlo.

Existe una nueva técnica basada en el análisis energético de ondas de ultrasonido que atraviesan el CCR en estado fresco y que permiten detectar la aparición masiva de hidratos de C-S-H al interior del material. Los valores de energía ultrasónica ponen en evidencia los tiempos de fraguado del CCR, usando un principio físico muy diferente a la resistencia a la penetración o la generación de calor.

Identificando con esta técnica los tiempos de fraguado de una capa base (n) de CCR, se relacionó el estado de fraguado del material, con el nivel de adherencia alcanzado entre éste y una nueva capa (n+1). Además de determinar la pérdida de la capacidad de pega entre capas a medida que la capa base fragua, también se muestran resultados de una capa compactada que sufre recompactaciones antes y después del fraguado inicial. Es decir, se expone una relación entre la compactación, fraguados y la resistencia a la compresión. Los valores se obtuvieron durante la construcción de dos presas, Miel-I y Zanja Honda (Colombia).

Introducción

El estudio de las propiedades del CCR como material, ha sido resuelto en general utilizando los procedimientos diseñados para concretos convencionales. Sin embargo los tiempos de fraguado se han constituido en una propiedad cuya medición ha traído numerosas dificultades. Los métodos tradicionales para la determinación de los tiempos de fraguado como la resistencia a la penetración o el registro de la generación de calor, otorgan resultados muy limitados sobre el CCR. El método de resistencia a la penetración obliga a tamizar el material por la malla No.4 (4.76 mm) y efectuar la prueba sobre el mortero resultante. Este procedimiento elimina toda la fracción de material que está por encima de este tamaño, que para el caso del CCR resulta especialmente significativa. Los resultados logrados a partir de este procedimiento (ASTM C403) no han reflejado la hidratación o el fraguado real observado en campo. Métodos alternativos o índices basados en resistencias a la penetración se han usado como variantes de la norma ASTM C403, sin embargo presentan dificultades por la eliminación del agregado grueso y por lo puntual de sus medidas.

Las metodologías para determinar los tiempos de fraguado basadas en el estudio y detección de la generación de calor al interior del CCR, originada por la hidratación o fraguado del material, presentan igualmente limitaciones. Estas dificultades se presentan debido no solo a la poca cantidad de material cementante presente (se ha hecho todo lo posible por minimizar justamente esta generación de calor) sino a que las medidas deben hacerse siempre a una temperatura constante que no refleja la variación horaria de temperatura ambiente a la que está sometida verdaderamente el material en campo.

La necesidad de medir los tiempos de fraguado con exactitud en el CCR, esta directamente relacionada con el conocer el instante a partir del cual la rigidez del material, no permite una buena adherencia con una nueva capa de material fresco.

Igualmente el conocer los tiempos de fraguado permite determinar hasta que instante resulta recomendable continuar compactando el material sin producir daños en su naciente microestructura cristalina.

La literatura actual ha señalado que mientras una capa de CCR se encuentra en estado fresco (antes de alcanzar su fraguado inicial) es posible extender, nivelar y compactar la capa inmediatamente superior sin necesidad de efectuar ningún tipo de tratamiento superficial en la capa base. Este procedimiento que no contempla ningún tratamiento superficial entre capas sucesivas (n, n+1) es conocido como "junta caliente" y a través de este procedimiento es posible alcanzar la adherencia de diseño en la junta.

Una vez el material de la capa base (n) ha pasado por su fraguado inicial debe realizarse un tratamiento superficial sobre esta capa ya fraguada.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Este tratamiento que se hace con aire o agua a presión y que descubre el agregado grueso sin desprenderlo, también contempla el uso de un mortero de pega entre capas.

Esta modalidad de junta conocida como "junta fría" es hasta hoy inevitable en la construcción de una presa en CCR y requiere una inversión de tiempo, materiales y personal muy superior a la de una junta caliente. Por este motivo ha sido interés de constructores y diseñadores minimizar su número retardando la mezcla con aditivos o utilizando otras modalidades constructivas como el plano inclinado.

Resulta crucial para la programación de una obra, conocer el momento de fraguado inicial del material bajo diferentes condiciones atmosféricas y de esta manera establecer cuales son los intervalos de tiempo con los que se cuenta para obtener una junta caliente.

Por otro lado, luego de haber sido compactada una capa de CCR en ocasiones el tránsito de maquinaria o el mismo equipo de vibrocompactación puede deteriorar la estructura interna del material cuando transita sobre el concreto recién fraguado. Recompactaciones sobre el CCR pueden tener efectos contraproducentes sobre las propiedades futuras del material.

Se expone los resultados que relacionan los tiempos de fraguado del material con la capacidad de pega entre capas en la presa Miel I y se expone las consecuencias sobre la resistencia a la compresión de recompactaciones hechas sobre un CCR para diferentes instantes de su fraguado (Zanja Honda- Colombia).

Tiempos de Fraguado medidos con Energía Ultrasónica

Si bien el ultrasonido ha tenido un uso extendido en la ingeniería civil como un ensayo no destructivo sobre concreto endurecido, su utilización se ha concentrado en el concepto velocidad de onda o tiempo de tránsito.

Un material compuesto como el CCR, en estado fresco sufre una transformación constante de sus fases líquida, sólida y gaseosa. En realidad la hidratación del material cementante da lugar en el tiempo, a una nueva red de sólidos. Ahora bien si el material en estado fresco es atravesado por un tren de ondas de ultrasonido, a medida que la nascente fase sólida o red cristalina crece y se desarrolla, la onda o perturbación puede atravesar el material en menos tiempo, con mayor amplitud, frecuencia, intensidad etc.

Una medición del simple tiempo de tránsito en un material compuesto fraguando no ofrece mayor información. Sin embargo el parámetro energía^{3,4,6}, que involucra más propiedades de la onda que la simple velocidad de propagación, es capaz de detectar la aparición masiva de los hidratos de C-S-H y más específicamente los tiempos de fraguado.

Un espécimen cilíndrico de CCR es atravesado por un tren de ondas de ultrasonido generado por un transductor de 24 kHz que se adhiere a uno de sus extremos mientras que en el otro extremo un transductor receptor recibe la señal que es descompuesta en un osciloscopio. Sobre la señal se calcula el parámetro energía por un software diseñado para tal fin y se almacena. Es decir minuto a minuto luego de un disparo a través del material se obtiene un valor de energía. Los valores de energía que reflejan el estado de la red cristalina o de sólidos en el interior del material se grafican en el tiempo.

La Figura 1 muestra esta sucesión de valores de energía obtenida para un CCR de bajo contenido de cementante (70 kg/m³) en la presa Zanja Honda (Colombia). Así mismo en la Figura 4 aparece un esquema del montaje de la probeta de CCR.

Como se observa en la figura los valores de energía se mantienen constantes durante las primeras horas, sin embargo en un momento dado la curva despega alejándose de la tendencia horizontal inicial. Este intempestivo aumento en los valores de energía reflejan una importante aparición de fase sólida al interior del material ^{3,8}, momento que coincide con el fraguado inicial en concretos convencionales. Otro punto de cambio significativo en la pendiente tiene lugar momentos después del fraguado inicial, consiste en una concavidad que rompe con la pendiente inicial. Si se trazan dos tangentes sobre esta concavidad el punto de corte entre ambas coincide con el tiempo de fraguado final del concreto.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

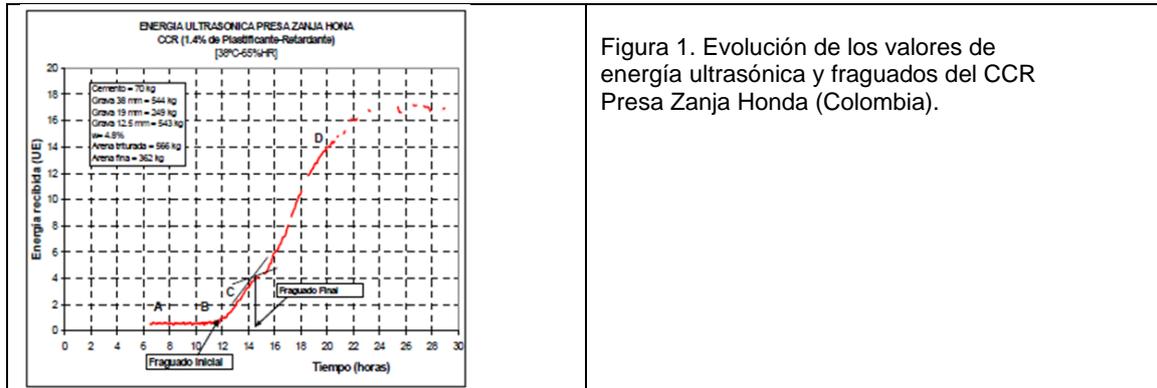


Figura 1. Evolución de los valores de energía ultrasónica y fraguados del CCR Presa Zanja Honda (Colombia).

Compactaciones tardías en el CCR y los Tiempos de Fraguado

En la presa Zanja Honda que se construyó bajo condiciones atmosféricas muy exigentes durante todo el año para el material (38°C y 65% HR), se consideró el uso de un aditivo plastificante – retardante para prolongar los tiempos de fraguado del material y aumentar de esta forma el tiempo disponible para obtener una junta caliente. Las medidas de energía ultrasónica permitieron determinar el desempeño de un aditivo a diferentes dosis y establecer así, la dosis más adecuada para el constructor. La Figura 2 expone el efecto del aditivo, a diferentes dosis, sobre los tiempos de fraguado del material para las condiciones atmosféricas promedio del sitio de presa.

De acuerdo a esta y otras series de ensayos el constructor determinó la dosis de 1.4% de aditivo retardante-plastificante con respecto al cemento, como la más adecuada a sus necesidades. Por otro lado, en este proyecto existía la preocupación sobre las consecuencias de compactaciones adicionales o tardías sobre un CCR que estuviese a punto de fraguar o que hubiese fraguado recientemente.

Para conocer las consecuencias sobre las propiedades mecánicas del material, que generan recompactaciones posteriores a las normales, se utilizaron las medidas de energía ultrasónica con el objeto de definir los instantes en los que se aplicaría la sobrecompactación o compactaciones adicionales.

En laboratorio se fabricaron por serie 12 probetas cilíndricas pertenecientes a un solo diseño, usando un sistema de vibrocompactación (Vibrocompactador IET-05). Sobre dicho diseño, que incluyó el porcentaje de aditivo antes mencionado, se fabricaron simultáneamente probetas para medir tiempos de fraguado con energía ultrasónica. La curva de energía ultrasónica obtenida (Fig.1) permitió definir cuatro zonas (A, B, C y D) de la evolución del fraguado. Donde A se definió como la parte inicial de la curva, B el instante antes de que se produzca el fraguado inicial, C como una hora después del fraguado inicial (en medio del fraguado inicial y final) y D como un momento alejado del fraguado final (Fig.1).

Todas las probetas (12) se prepararon en el instante A, sin embargo 3 de ellas se volvieron a compactar en el instante B, igual procedimiento se efectuó sobre otro grupo de 3 pero en el instante C y las últimas 3 restantes se compactaron en el momento D.

Como vemos las probetas recompactadas en B, C y D sufrieron aplicaciones adicionales de energía (un 50% de la energía inicial) para diferentes momentos del fraguado del material. Los efectos de dichas recompactaciones sobre la resistencia a la compresión aparecen en la Figura 3.

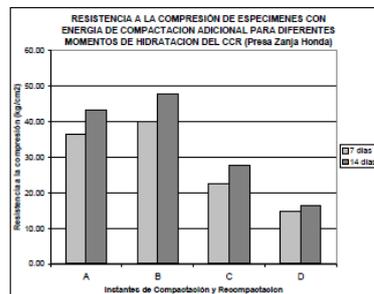


Figura 3. Efecto en la resistencia a la compresión debido a compactaciones adicionales sobre el CCR para diferentes momentos de su hidratación o fraguado.

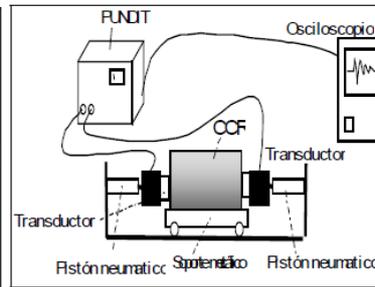


Figura 4. Esquema de probeta de CCR sometida a un tren de ondas de ultrasonido

Figura 3. Efecto en la resistencia a la compresión debido a compactaciones adicionales sobre el CCR para diferentes momentos de su hidratación o fraguado.

Figura 4. Esquema de probeta de CCR sometida a un tren de ondas de ultrasonido

Los resultados muestran que si se producen compactaciones adicionales sobre el material antes de que éste alcance su fraguado inicial (momento B), la resistencia a la compresión puede incrementarse entre un 8 a un 10% con respecto a la resistencia inicial, cuando esta recompactación equivale al 50% de la compactación inicial. Igualmente una vez se ha producido el fraguado inicial en el material (instantes C y D) una recompactación de igual magnitud puede provocar una caída en las resistencias hasta de un 38%. En concretos masivos este fenómeno ha sido observado para revibraciones que se efectúan luego del fraguado inicial.

El identificar el tiempo de fraguado inicial permite establecer un límite para el cual es recomendable compactar el material o permitir una aplicación determinada de energía sobre el material.

Tiempos de Fraguado y Adherencia en las Juntas Horizontales

Siguiendo la misma metodología de dividir la curva de evolución de fraguado en cuatro zonas (A, B, C y D)7, se evaluó cómo para una capa (n) de CCR que se rigidiza, la capacidad de adherencia con una nueva capa (n+1) disminuye.

A medida que una capa (n) de CCR fragua, al colocar y compactar una nueva capa (n+1) la adherencia en la junta será cada vez menor. La literatura disponible establece el límite del fraguado inicial, como el instante a partir del cual son necesarios tratamientos de superficie o la utilización de un mortero de pega adicional entre capas, para alcanzar la adherencia de diseño en la junta. Sin embargo son pocas o inexistentes las fuentes que puntualizan en que porcentaje cae la capacidad de adherencia entre las dos capas, una vez la inferior (n) ha sobrepasado el fraguado inicial. Esta falta de datos se debe en buena parte a la dificultad de identificar con exactitud el momento de fraguado inicial.

Utilizando las mediciones de energía ultrasónica, en la presa Miel I se llevaron a cabo diferentes determinaciones de tiempos de fraguado para distintas condiciones atmosféricas y se realizaron ensayos de tensión directa entre juntas para relacionar dichos valores con la evolución del fraguado en el material.

De esta forma se fabricaron juntas en laboratorio para los diferentes instantes (A, B, C y D) en la evolución del fraguado de la capa base (n). La fabricación de estas juntas se efectuó sobre capas expuestas a las condiciones extremas de temperatura diaria. Se fabricaron así medios cilindros que simulaban la capa base (n) sobre la cual se iba midiendo los valores de energía ultrasónica. De este modo un grupo de medios cilindros (capa n- Fig. 5) se fabricaron en las condiciones más críticas de temperatura y brillo solar (2:00 p.m). Todas las series compararon dos diseños uno patrón y otro retardado con un aditivo plastificante-retardante. Los tiempos de fraguado de estos medios cilindros y los de otra serie fundidos en la madrugada, a las temperaturas mas bajas en el sitio de presa, aparecen en las Figuras 6 y 7. La fabricación de las juntas consistió simplemente en completar la mitad de cilindro faltante (capa n+1, Fig.5) operación que se efectuó para los diferentes momentos de fraguado de la capa n (A, B, C y D).

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

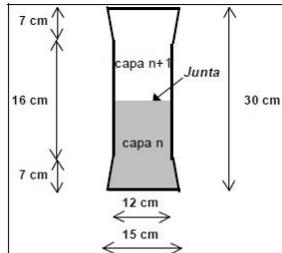
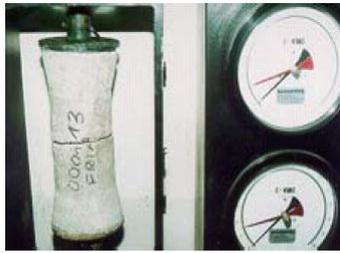


Figura 5. Juntas fabricadas en laboratorio para evaluar para diferentes momentos de la evolución del fraguado la resistencia a la tensión directa

Figura 5. Juntas fabricadas en laboratorio para evaluar para diferentes momentos de la evolución del fraguado la resistencia a la tensión directa
Aragrado Grueso 1 1/2 312 kg

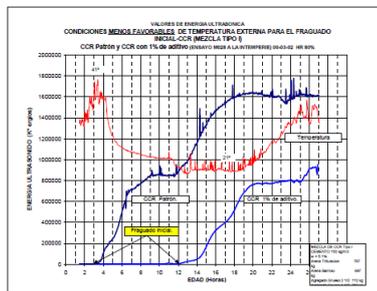


Figura 6. Tiempos de Fraguado de CCR Patrón y CCR con 1% de aditivo, en condiciones atmosféricas externas donde la exposición inicial del material compactado coincide con máxima temperatura horaria.

Figura 6. Tiempos de Fraguado de CCR Patrón y CCR con 1% de aditivo, en condiciones atmosféricas externas donde la exposición inicial del material compactado coincide con máxima temperatura horaria.

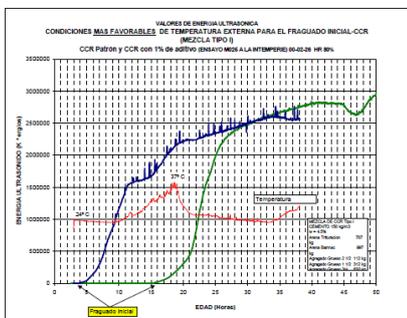
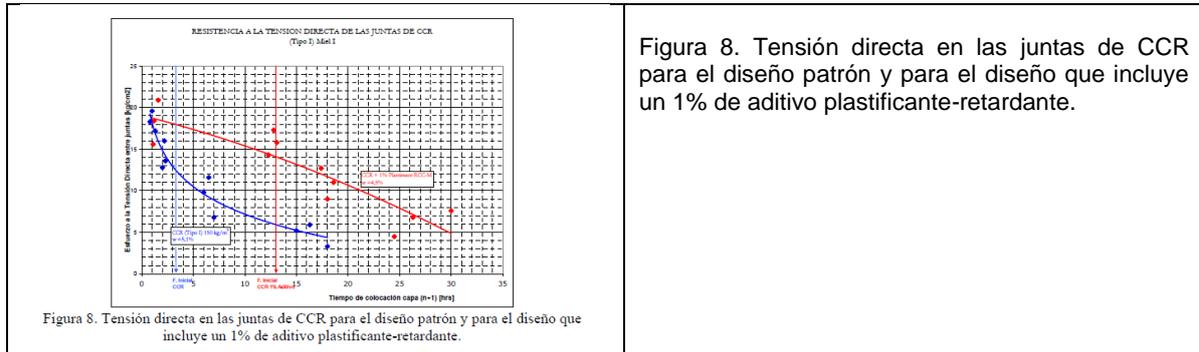


Figura 7. Tiempos de Fraguado de CCR Patrón y CCR con 1% de aditivo, en condiciones atmosféricas externas donde el instante de compactación coincide con menor temperatura horaria.

Figura 7. Tiempos de Fraguado de CCR Patrón y CCR con 1% de aditivo, en condiciones atmosféricas externas donde el instante de compactación coincide con menor temperatura horaria. La evolución de los valores de resistencia a la tensión directa entre capas (n, n+1) durante los cuatro momentos definidos (A, B, C y D) para los diseños evaluados, aparece en la Figura.8. Se fallaron dos series paralelas, una de un CCR patrón y otra de un CCR que incluyó un 1% de aditivo plastificante-retardante (Tabla 1).

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”



	Mezcla No.1	Mezcla No.3
Cemento	150	150
Arena (Barmac)	397	405
Arena Triturada	787	793
Agregado Grueso 63.5 mm	112	112
Agregado Grueso 38.1 mm	312	314
Agregado Grueso 9.5 mm	630	635
Humedad (%)	5.1	4.5
Aditivo (Plastiment RCC-M)	0%	1.0%

Para las juntas fabricadas en el instante A de la mezcla patrón, la resistencia a la tensión directa fue de 18 kg/cm² (Fig.8). Antes de alcanzar el fraguado inicial (instante B), la resistencia a la tensión directa en la junta ya había disminuido a 14 kg/cm². Es decir a las dos horas de haber sido mezclada y compactada la capa n su capacidad de adherencia había disminuido en un 22%. Una vez el material superó el fraguado inicial (3-4 horas), la adherencia con una nueva capa (n+1) alcanzó el valor de 9 kg/cm², un 50% menos de la resistencia a la tensión directa inicial (Instante C). De la misma forma una vez la capa base (n) cumplió 16 horas (Instante D) la resistencia a la tensión directa obtenida al colocar una capa fresca de CCR (n+1) fue de 5 kg/cm². De esta forma la disminución fue de un 73% con respecto a la adherencia alcanzada si se hubiese fabricado la junta cuando apenas el material de la capa base (n) contaba con 1 hora de haber sido mezclado y compactado.

La misma Fig.8 nos muestra que en el caso de la mezcla retardada las juntas fabricadas en el instante A obtuvieron un valor similar al de la mezcla patrón, 18 kg/cm². De esta forma, una hora antes de alcanzar el fraguado inicial (11-12 horas - Instante B) se fabricaron juntas con una nueva capa (n+1). Los valores de adherencia obtenidos en estas juntas fueron de 15 kg/cm². Una vez el material sobrepasó su fraguado inicial se fabricaron juntas sobre el material ya fraguado (Instante C) y se midió, como en los casos anteriores, el valor de resistencia a la tensión directa a los 28 días. En la mezcla retardada las juntas fabricadas en el instante C (Fig.8), es decir cerca a las 18 horas, se alcanzaron valores de adherencia próximos a 11 kg/cm². La capacidad de adherencia por lo tanto luego de que la capa base (n) supera su fraguado inicial disminuyó en un 39%. Para el instante D, en este caso cercano a las 26 horas, la adherencia disminuyó en un 60% con respecto al valor inicial. Los cilindros llenados hasta la mitad de su altura que simulaban la capa base (n), se mantuvieron humedecidos en la superficie del material. Igualmente antes de fabricar cada capa se limpió la superficie del material de partículas sueltas.

Los resultados de resistencia a la tensión directa obtenidos, tanto para la mezcla patrón (sin aditivo) como para la mezcla retardada (Tabla 1), muestran una pérdida en la capacidad de pega con la siguiente capa (n+1) incluso antes de alcanzar de que la capa no alcance su fraguado inicial.

Conclusiones

Las medidas de energía ultrasónica permiten identificar los tiempos de fraguado de un CCR, bajo diferentes condiciones atmosféricas.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El efecto de la presencia de un aditivo plastificante-retardante en los tiempos de fraguado, puede determinarse mediante las medidas de energía ultrasónica y de esta forma es posible elegir la dosis que más se adecua a las necesidades de la construcción.

La aplicación de compactaciones adicionales, próximas a un 50% de la energía aplicada inicialmente, tiene efectos deletéreos sobre la resistencia a la compresión del material, si se aplican luego de que éste haya pasado por su fraguado inicial. Si dichas compactaciones adicionales se efectúan antes del fraguado inicial, la resistencia a la compresión del material se incrementa.

La capacidad de adherencia sobre una capa base (n) de CCR, disminuye progresivamente desde que el material ha sido compactado. Sin embargo luego de que el material supera el fraguado inicial, la resistencia a la tensión directa en la junta horizontal puede disminuir entre un 40 a un 50% del valor obtenido al fabricar la junta una hora después de compactado el material de base.

La definición de "junta caliente", es decir sin ningún tratamiento superficial, resulta entonces apropiada para juntas fabricadas antes de que el fraguado inicial tenga lugar en el material. Sin embargo la capacidad de pega disminuye incluso antes de que el fraguado inicial tenga lugar en la capa base, hasta en un 22% para las condiciones atmosféricas evaluadas.

La inclusión de un aditivo plastificante-retardante extiende los tiempos de fraguado del material y mantiene de esta forma la capacidad de pega entre capas prolongando el intervalo de tiempo durante el cual es posible obtener una "junta caliente".

Anexo 3

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO UTILIZANDO CONCEPTOS DE COMPACTACION DE SUELOS

Ing. Miriam R. Escalaya Advíncula (1) Postgrado en Ingeniería Geotécnica
Dr. Jorge E. Alva Hurtado (2) Profesor Postgrado, Facultad de Ingeniería Civil

1.0 INTRODUCCIÓN

El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es probablemente el más importante desarrollo en la tecnología de presas en los últimos años, ganando aceptación alrededor del mundo en un relativo corto tiempo debido a su bajo costo, el cual es derivado en parte por su rápido modo de construcción. El método de CCR se desarrolló no sólo a partir del esfuerzo de algunos diseñadores de presas de concreto, sino también del trabajo de ingenieros geotécnicos, quienes tradicionalmente han diseñado terraplenes de tierra y enrocado. Esta combinación de esfuerzos ha originado la construcción de presas de concreto por métodos usualmente asociados con la construcción de presas de tierra. El producto es una presa menos costosa con la misma inherente seguridad de una presa de concreto convencional.

El Concreto Compactado con Rodillo, se suele usar también en la construcción de pavimentos y áreas de almacenamiento. La rapidez de la puesta en obra, el relativamente bajo contenido de cemento y la utilización de aditivos minerales (cenizas volátiles, filler calizo, residuos mineros, etc.), explican el motivo por el cual este material es económicamente interesante para la industria de la construcción.

El presente trabajo muestra los principales aspectos teóricos del desarrollo de esta técnica y las posibilidades del empleo del diseño de mezclas haciendo uso del Concepto de Compactación de Suelos que permita la optimización del CCR, utilizando la energía necesaria para la puesta en obra de este tipo de material. Estos conceptos son necesarios para una segunda fase experimental a realizarse en los Laboratorios del Cismid, UNI, que consistirá en un diseño preliminar de mezclas basado en los procedimientos geotécnicos y determinar varias propiedades del CCR.

2.0 CONCEPTO

El Concreto Compactado con Rodillo se define como "Un concreto de consistencia seca, asiento nulo, que se coloca de forma continua y su compactación se realiza con un rodillo normalmente vibrante".

De esta manera el CCR difiere del concreto convencional principalmente en su consistencia requerida. Para la consolidación efectiva, la mezcla de concreto debe ser lo suficientemente seca para prevenir el hundimiento de los equipos de rodillo vibratorio, pero lo suficientemente húmeda para permitir la adecuada distribución del mortero conglomerante en el concreto durante el mezclado y la operación de la compactación vibratoria. (Ref. 1)

Actualmente, las presas de Concreto Compactado con Rodillo han sido diseñadas y construidas en muchos países en todas partes del mundo. El interés por este tipo de presas se ha incrementado, debido a la creciente aceptación de su empleo como concreto masivo en la construcción de presas, a la velocidad de construcción, a su bajo contenido de cemento y su condición de asentamiento nulo. Así también, un avance reciente es el empleo cada vez mayor del CCR como material durable de pavimentación que soporta cargas pesadas.

2.0 FILOSOFÍAS DE DISEÑO

En el desarrollo de la Tecnología del Concreto Compactado con Rodillo (CCR), han surgido dos filosofías o aproximaciones con respecto a los métodos de diseño de mezclas del CCR. Ellas pueden ser calificadas como la Filosofía de Suelos o Geotecnia y la Filosofía de Concreto (Ref 2). Las aproximaciones de dosificación de mezclas se diferencian significativamente dependiendo de la filosofía del tratamiento del agregado, ya sea como agregado de concreto convencional o como agregado utilizado en el vaciado de terraplenes estabilizados.

Las mezclas de CCR producidas usando métodos de diseño de concreto tienen una consistencia más fluida que las mezclas con aproximación a suelos debido a que hay más pasta en la mezcla que áridos.

2.1 LA FILOSOFÍA DE SUELOS

La filosofía de suelos considera al CCR como un suelo procesado o agregado enriquecido con cemento, cuyo diseño de mezcla está basado en la relación humedad-densidad. Para un agregado específico y un contenido de material cementante, el objetivo es determinar un contenido óptimo de humedad para un esfuerzo de compactación de laboratorio que corresponde al esfuerzo o densidad aplicable por los rodillos en el campo. En la aproximación a suelos, la pasta (cemento, puzolana, agua) no rellena generalmente todos los vacíos en los agregados después de la compactación.

Los principios de compactación desarrollados por Proctor en los inicios de 1930, son aplicados a las proporciones de mezclas de CCR con aproximación a suelos. Proctor determinó que para un esfuerzo de compactación dado existe un "óptimo contenido de humedad" que produce una máxima densidad seca. Incrementando el esfuerzo de compactación resulta una mayor máxima densidad seca y un menor óptimo

contenido de humedad. Por ejemplo, en la Figura N° 1 se muestran curvas de compactación para tres esfuerzos de compactación en un agregado de roca caliza de Austin, Texas, siendo el mayor el correspondiente al Proctor Modificado (ASTM D 1557).

Fig N° 1. Curvas de Laboratorio para RCC humedad-densidad sujeta a varias energías de compactación.

En base a principios de compactación, la densidad seca es usada como el índice de diseño en la aproximación a suelos. La densidad seca es definida como el peso seco de sólidos por unidad de volumen del material, independientemente del contenido de agua. Estos pueden calcularse de la densidad húmeda y viceversa por la fórmula:

$$wPPwd+1$$

donde P_d = densidad seca Kg/m³ (lb/ft³)

P_w = densidad húmeda Kg/m³ (lb/ft³)

w = contenido de humedad de la mezcla total, expresado como un decimal.

Si se usa un óptimo contenido de humedad correspondiente al esfuerzo de compactación alcanzado por los rodillos en el campo, se producirá un material en su máxima densidad seca. Para un esfuerzo de compactación dado (constante), el contenido de agua debajo o encima del óptimo puede producir una disminución de la densidad seca y consecuentemente una reducción de la resistencia a la compresión. En concordancia, una reducción de la resistencia a la compresión puede ser esperada de una mezcla que recibe menor esfuerzo de compactación del que fue usado para determinar el óptimo contenido de humedad.

3.2 LA FILOSOFÍA DE CONCRETO

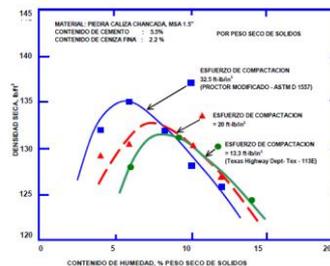
Para la filosofía del concreto se considera que la mezcla de CCR es un verdadero concreto cuya resistencia y otras propiedades siguen la relación agua-cemento establecida por Abrams en 1918. Es decir, suponiendo agregados resistentes y limpios, la resistencia del concreto completamente consolidado es inversamente proporcional a la proporción agua-cemento. Usando menos agua con una constante cantidad de cemento se produce un concreto con mayor resistencia a la compresión y propiedades relacionadas.

Para la aproximación a concreto el contenido de agua de la mezcla es determinado usando una mesa vibradora (equipo Vebe) para alcanzar el tiempo deseado en el que la pasta empiece a aparecer en la superficie de la mezcla del CCR. (Figura N° 2)

El enfoque de concreto está basado en el concepto que existe suficiente pasta en la mezcla CCR que rellena todos los vacíos en el agregado, haciendo que la mezcla se compacte completamente produciéndose un concreto con asentamiento nulo. Sin embargo, la mezcla CCR no debe contener un exceso de pasta que sea llevado a la superficie con sólo unas pocas pasadas del rodillo vibratorio.



Fig 2. Aparato Vebe.



Mezclas CCR y consecuentemente las presas se han dividido en el pasado en: (Ref. 3) Además de estas filosofías que han surgido al realizar los diseños de mezclas del CCR, las

- Presas CCR con alto contenido de pasta (contenido de material cementante > de 150 Kg/m³)
- Presas CCR con contenido medio de pasta (contenido de material cementante de 100 a 149 Kg/m³)
- Presas con bajo contenido de pasta (contenido de material cementante < 99 Kg/m³)
- Presas RCD (construidas en Japón)
- Presas Hardfill (material derivado del CCR con un muy bajo contenido de material cementante)

4.0 MATERIALES PARA MEZCLAS CCR

4.1 MATERIALES AGLUTINANTES (CEMENTANTES)

El tipo y la cantidad de cemento Portland o cemento más puzolana requerido en las mezclas de CCR dependen del volumen de la estructura, las propiedades requeridas por ésta y las condiciones de exposición. Además, la mayoría de presas de CCR son suficientemente grandes para requerir consideraciones del calor de hidratación del material cementante. (Ref 1, 4, 5)

4.1.1 CEMENTO

El CCR puede ser hecho de cualquiera de los tipos básicos de Cemento Portland. Para la aplicación en masa, son útiles los cementos que tienen como característica la baja generación de calor comparados con el tipo I de ASTM C150. Estos incluyen el tipo II, tipo IP y el tipo IS. El desarrollo de la resistencia para estos cementos generalmente es más bajo que para el tipo I a edades tempranas, pero producen finalmente resistencia más altas que el tipo I.

La selección del tipo de cemento debe considerar la economía en la obtención del cemento. Para proyectos de pequeño y mediano tamaño, puede no ser de eficaz costo especificar un especial cemento de bajo calor, el cual no está disponible localmente.

4.1.2 PUZOLANAS

El uso de puzolana en la mezcla CCR puede servir como reemplazo parcial del cemento para reducir la generación del calor, como reemplazo parcial del cemento para reducir costos y como un aditivo para aumento de finos y mejorar la maniabilidad al dosificar mezclas para volúmenes mínimos de pasta.

Una de las principales funciones de la puzolana o cualquier otro material fino apropiado es la de ocupar espacio que de otra forma sería ocupado por el cemento o el agua. Ocupar este espacio con agua, obviamente dará como resultado una reducción en la resistencia del concreto.

La actividad puzolánica continua después de varios años, lo que indica que las puzolanas pueden ocupar espacio y también pueden contribuir al desarrollo de la resistencia a largo plazo.

4.2 AGREGADOS

4.2.1 CALIDAD

La calidad requerida de los agregados depende de las propiedades deseadas del CCR, principalmente su resistencia. Para un CCR de alta resistencia, es necesario un agregado de alta calidad. Para el CCR que no es sometido a esfuerzos o no está expuesto a condiciones de congelamiento y descongelamiento mientras está húmedo, pueden ser usados agregados de baja calidad.

En las Figuras N° 3 (a) y (b) se muestra una familia de curvas de desarrollo de resistencia para dos diferentes tipos de agregados, uno de buena calidad y el otro de menor calidad.

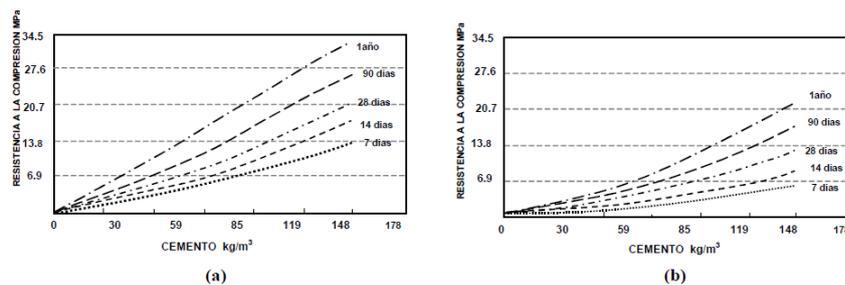


Fig. N° 3 (a) Curvas de resistencia CCR que pueden ser desarrolladas con varias proporciones de cemento para agregados de buena calidad. (b) Curvas de resistencia CCR desarrolladas con agregados de menor calidad. (ACI 207.5R-99-Ref. 1) 34.527.620.713.86.90 30 59 85 119 148 178 CEMENTO kg/m³ RESISTENCIA A LA COMPRESION MPa 1 año 28 días 14 días 7 días 90 días 30 59 85 119 148 178 CEMENTO kg/m³ RESISTENCIA A LA COMPRESION MPa 34.527.66.920.713.81 año 90 días 28 días 14 días 7 días

4.2.2 GRANULOMETRÍA

Para mezclas CCR **con aproximación a concreto**, los requerimientos de agregados son muy similares a los requeridos para masas convencionales de concreto. El tamaño máximo de agregado más comúnmente usado es de 3 pulg. (75 a 80 mm), aunque se han usado tamaños máximos de 6 pulg. y de 2 pulg.; el porcentaje de finos ha sido usualmente limitado al 3% del total del peso del agregado, especialmente si un alto porcentaje de puzolana es usado en la mezcla.

En las mezclas con **aproximación a suelos**, hay una tendencia hacia un tamaño máximo de 2 pulg. La cantidad de finos ha llegado a ser de 8 a 16 %. (Ref .2)

Choi y Groon (Ref. 6) han propuesto los límites mostrados en la Tabla N° 1, especialmente para proyectos de tamaño pequeño a mediano. Se propone un tamaño máximo de agregado de 1,5 pulg. que ayudará a minimizar los problemas de segregación durante el mezclado, transporte, descargue y extendido del CCR durante la construcción. El 5-10% de finos provee los materiales finos óptimos para una matriz compactada densamente (y últimamente mayor resistencia) y provee la cantidad óptima de pasta para mejorar la trabajabilidad.

Los finos deben ser no plásticos o tener un bajo índice de plasticidad (IP<5) y se permiten hasta el punto que rellenen los vacíos para reducir los requerimientos de agua y mejorar la compactabilidad.

TAMANO DE TAMIZ (1)	PORCENTAJE QUE PASA POR PESO (2)
38 mm (1.5 in)	100
25 mm (1.0 in)	90 - 100
N° 4	35 - 60
N° 40	15 - 30
N° 200	5 - 10

4.3 AGUA

El agua utilizada en mezclas de CCR debe estar libre de cantidad excesivas de álcalis, ácidos o material orgánico que pueden inhibir la adecuada ganancia de resistencia. La mayoría de las mezclas de CCR requiere de 89 a 119 Kg de agua por m³ para agregados de tamaño máximo mayor que 2 pulg. (50mm).

4.4 ADITIVOS

Los aditivos han sido efectivos en mezclas de CCR que contienen suficiente agua para proveer una pasta más fluida. Los aditivos reductores de agua y los retardadores son los más usados. Los aditivos incorporadores de aire no son comúnmente usados en mezclas de CCR debido a la dificultad en generar las burbujas de aire del tamaño apropiado y la distribución de éstas cuando la mezcla tiene una consistencia de asentamiento cero.

PROPORCION DE MEZCLAS UTILIZANDO EL MÉTODO DE SUELOS SIMPLIFICADO O CONCEPTO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS

Las mezclas de CCR han sido proporcionadas desde 1960 usando principios de compactación de suelos. Los mismos fundamentos han sido la base para determinar el contenido de cemento para mezclas de suelo-cemento por más de 50 años.

El método se inicia con una granulometría de agregados fija que involucra un programa de ensayos de variación de contenidos de material cementante y la comparación de resultados una vez que el contenido de agua es determinado.

En lugar de una determinación visual del contenido de agua, el óptimo contenido de humedad es determinado por los principios de humedad-densidad descritos en la sección 3.1, usando la compactación por impacto con un martillo estándar o dejando caer el apisonador un número prescrito de veces. El esfuerzo de compactación del Proctor Modificado de 32.55 2693 kJ/m³ (ft-lb/in³) ha sido usado para la mayoría de los proyectos, aunque algunos esfuerzos de compactación han sido sugeridos por algunos investigadores. El número de golpes de un martillo de 10 lb (4.5 Kg) que se deja caer de 18 pulg (450 mm) por unidad de volumen define el esfuerzo de compactación.

El método de diseño por concepto de compactación de suelos ha sido usado con un contenido cementante conservador fijo, para algunos volúmenes de presa relativamente pequeños, donde la generación de calor no es una preocupación y donde el tiempo para un largo y extenso programa de diseño de mezclas no es disponible .(Ref 2,6,7)

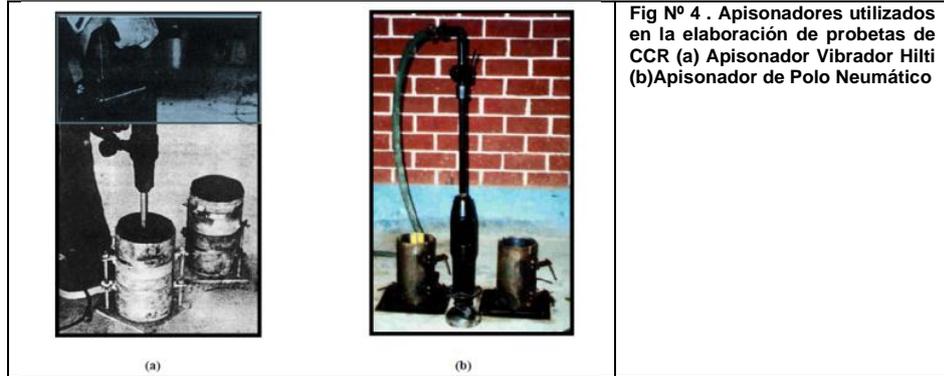
5.1 PREPARACIÓN DE CILINDROS PARA RESISTENCIA DE CCR

Los cilindros para ensayos de CCR son del mismo tamaño que los cilindros convencionales de concreto: 152mm (6 pulg.) de diámetro por 304 mm (12 pulg.) de altura. En la aproximación a suelos, hay dos métodos comunes para preparar cilindros de CCR:

- Usando el martillo del Proctor Modificado y aplicando el mismo esfuerzo de compactación del Proctor Modificado (ASTM D 1557)
- Usando un martillo vibrador Hilti o un apisonador de polo neumático, mostrados en las Figuras N° 4 (a) y (b).

Algunas variaciones del uso del martillo del Proctor Modificado han sido usadas. Debido a que el molde cilíndrico es más grande que el molde del Proctor, es necesario hacer un ajuste al procedimiento estándar, para alcanzar el mismo esfuerzo de compactación, reemplazando la forma del sector de la zapata del martillo con un plato llano de 140mm (5.5 pulg.) de diámetro, para reducir la presión de contacto y evitar la excesiva rotura de granos. En la opinión de Choin y Groom (Ref 6), un mejor método es el método del martillo vibratorio o de impacto como se especifica en ASTM C 1435. Para cada capa, la muestra es vibrada hasta que el mortero de cemento es visto en el espacio anular entre el borde del molde y la cabeza del apisonador, el cual puede típicamente tomar 5-15 seg.

Si el mortero no aparece alrededor de la cabeza del martillo, el tiempo de compactación de cada capa deberá parar en alrededor de 20 segundos. Comparado con el método del martillo del Proctor Modificado, el martillo vibrador es extremadamente rápido y las densidades resultantes preparadas usando el método del martillo vibrador son comparables con las densidades del Proctor Modificado y también a las obtenidas de rodillos vibratorios de tamaño real. Las resistencias del CCR son sensibles al cambio en el contenido de agua en especímenes; si el contenido de agua de especímenes está uno o dos por ciento arriba o debajo del óptimo contenido de humedad, resultará una pérdida de resistencia. Las siguientes son las edades típicas de la rotura de cilindros: 7, 14, 28, 56, 90 y 365 días. Un promedio de resistencia de por lo menos dos cilindros debe ser requerido para cada edad, aunque tres cilindros son preferibles debido a las variaciones potenciales.



5.2 ESPECIMENES PARA DURABILIDAD DEL CCR

Para el CCR que se expondrá a ciclos de congelamiento-deshielo o humedecimiento-secado, se recomienda que el CCR sea ensayado por durabilidad, además de resistencia. Los especímenes de CCR para cada mezcla de prueba son generalmente preparados para requerimientos de durabilidad usando los siguientes procedimientos estándar, los cuales fueron desarrollados originalmente para mezclas de suelo-cemento:

- Ensayo congelamiento-deshielo ASTM D 560
- Ensayo de humedad-sequedad ASTM D 559

Se ha sugerido una variación del tamaño y del procedimiento de preparación del espécimen para ensayos de congelamiento-deshielo (Ref. 6). El ensayo de durabilidad será desarrollado en especímenes obtenidos de la división en cuatro de un espécimen de 152 mm (6 pulg.) de diámetro por 152 mm (6 pulg.) de altura. Este procedimiento propuesto tiene la principal ventaja que los especímenes ensayados tendrán densidades similares a las de los cilindros para resistencia, y de esta manera eliminaría el innecesario conservatismo que es establecido en la práctica común.

El ensayo de congelamiento/deshielo es más severo que el ensayo de humedecimiento-secado. Por consiguiente, el ensayo humedecimiento/secado puede ser omitido en el programa de ensayos de durabilidad si hay un presupuesto limitado para ensayo.

5.3 SELECCIÓN FINAL DE LA PROPORCION DE MEZCLAS

La selección de un contenido de material cementante de diseño está basado en dos consideraciones separadas: resistencia y durabilidad.

1. Los resultados de la resistencia a la compresión no confinada de los cilindros pueden ser trazados contra la edad de curado para varios contenidos de material cementante y obtener una familia de curvas, donde el contenido de material cementante de diseño inicial puede ser seleccionado basado en la resistencia requerida de diseño (Fig 5). El contenido de material cementante así obtenido puede ser incrementado para considerar las diferencias de condiciones de campo y laboratorio. Típicamente, es recomendado un incremento de 1-2% de contenido de material cementante.
- 2.

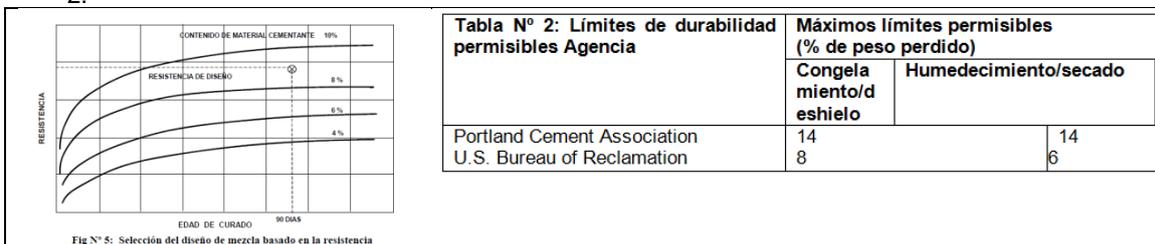


Fig No 5: Selección del diseño de mezcla basado en la resistencia

2. Los resultados de los ensayos de durabilidad son comparados con los límites permisibles para pesos perdidos causados por ciclos de congelamiento/deshielo y humedad/sequedad. Dos juegos de límites aceptables son disponibles para especímenes de 7 días de edad después de 12 ciclos como se muestra en la Tabla No 2.

El más crítico de los dos criterios (resistencia versus durabilidad) debe ser usado como la mezcla de diseño. Típicamente, a menos que el agregado sea de calidad pobre o la resistencia de diseño sea muy baja, el criterio de resistencia usualmente controla la selección de la proporción de mezcla.

6. CONCLUSIONES

La propuesta del diseño de mezcla de CCR utilizando Conceptos de Compactación de Suelos es simple y está basada en procedimientos de ensayos convencionales que están familiarizados con la mayoría de

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

pruebas de laboratorio convencionales, éste es considerado adecuado para proyectos de diseños de CCR de tamaño pequeño a medio, para los cuales un gran presupuesto para ensayos, típicamente no es disponible

El desarrollo de esta tecnología en nuestro país es extremadamente importante, debido a que se crearán alternativas de solución a problemas relacionados a la construcción de nuevos pavimentos, nuevas presas y la rehabilitación de las existentes, aplicando conceptos ampliamente conocidos por Ingenieros Geotécnicos, adaptándolos a esta nueva tecnología lo que permitirá que en el Perú se pueda desarrollar esta técnica al igual que en otros países.

REFERENCIAS

1. American Concrete Institute. "Roller-Compacted Mass Concrete" (ACI 207.5R-99)
2. Hansen, K. y Reinhardt, W. "Roller-Compacted Concrete Dams", McGraw-Hill, New York, 1991.
3. Dunstan, M. "Recent Developments in RCC Dams", Hydropower&Dams, 1999
4. U.S. Army Corps Of Engineers. "Roller-Compacted Concrete", EM 1110-2-2006, Department of the Army, Washington, D.C. 15 January 2000,
5. Rodriguez Andriolo, F. - "The Use Of Roller Compacted Concrete" Brasil, Sao Paulo, 1998.
6. Choi, Y. K. y Groom J. "RCC Mix Design – Soil Approach", Journal of materials in Civil Engineering, Enero/Febrero, 2001
7. Santana, T. M. "A Geotechnical Methodology for Roller Compacted Concrete Mixture Design", Universidad Nova de Lisboa, Portugal.

Anexo 4

PAVIMENTANDO CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)

Experiencias realizadas por el Ing. Oswin Keifer en los Estados Unidos de Norteamérica

El empleo del Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) para pavimentos está creciendo rápidamente en las construcciones civiles y militares tanto en los Estados Unidos de Norteamérica como en Canadá y su tecnología está destinada a perdurar.

El pavimento de ensayo que ejecutó el Ing. Keifer los investigadores del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, de la Estación Experimental de Mississippi. Este tramo con un ancho de 3,60 m y una longitud de 31,50 m, ha tenido muy buen comportamiento hasta la fecha.

El primer pavimento en escala mayor lo realizó en Fort Hood, Texas, en 1984; consistía en una playa para vehículos pesados, de 53425 m², construida por el distrito del Cuerpo de Ingenieros de Fort Worth. Posteriormente el distrito de Seattle, entusiasmado por los resultados obtenidos en Canadá construyó un camino de prueba en Fort Lewis, Washington. Después de estas demostraciones la industria privada adoptó rápidamente la construcción del pavimento de Hormigón Compactado con Rodillo. Entre estos proyectos se registran los patios para cargas intermodales de Tacoma y Denver, una calle de conddo en Portland, Oregón, dársenas para la Autoridad del Puerto de Massachusetts en Boston y playa para carbón en Hugo, Oklahoma.

En 1987 se construye una gran área para estacionamiento de camiones en Austin, Texas, y el Ferrocarril Burlington Northern construyó otra para cargas pesadas en Omaha. Durante 1986 el Cuerpo de Ingenieros supervisó contratos para el diseño y construcción de una nueva guarnición del ejército en Fort Drum, cerca de Watertown, New York. Comprenden, en principio, 560 200 m² de pavimento de Hormigón Compactado con Rodillo (HCR), en especial áreas para estacionamiento de vehículos pesados y para pistas aéreas. El costo estimado para el pavimento de 25 cm de espesor fue un 30% menor que el de hormigón convencional de igual espesor.

Como los ingenieros y contratistas al este del Mississippi no estaban familiarizados con el Hormigón Compactado con Rodillo (HCR), el Cuerpo de Ingenieros decidió materializar un proyecto que sirviera de demostración en esa zona. Se eligió una playa para cargas pesadas en Fort Benning, Georgia, que consistió en un pavimento de 19 cm de espesor con una área de 19 760 m². Su construcción resultó un 33% más barata que el pavimento de hormigón convencional.

No sólo los costos establecen diferencias entre el Hormigón Compactado con Rodillo y otros pavimentos. Difiere del suelo – cemento común en que tiene agregados gruesos y de las bases tratadas con cemento, en que su contenido de cemento es menor, y a su vez se diferencia de ambos en que constituye una superficie de rodamiento que soporta las acciones del tránsito y del clima. No obstante lo expresado, el producto final es hormigón de cemento portland.

Muchos pavimentos de HCR han sido construidos sobre bases granulares y otros directamente sobre la subrasante. En ambos casos para conseguir una adecuada densificación, el Hormigón Compactado con Rodillo debe ser construido sobre una superficie estable y bien consolidada.

El HCR ha demostrado economías del 20% al 25 % sobre el pavimento convencional de hormigón.

En el citado proyecto de Fort Benning el HCR resultaba un 33% más barato. y comparado con costos de superficies asfálticas resulta muy favorable. En Portland, Oregón, el Hormigón Compactado con Rodillo resultó 24,4% más barato que el asfáltico de igual capacidad de carga.

Para la mayoría de los proyectos se ha empleado de 220 kg a 285 kg de cemento por metro cúbico de Hormigón Compactado con Rodillo. En algunos casos se ha reemplazado de un 20% a un 30% de cemento por cenizas volantes. También se usaron otros tipos de puzolanas.

Se exige la misma calidad de los agregados utilizados en el hormigón convencional. Normalmente el tamaño máximo del agregado es de 19 mm ó 16 mm. No obstante algunos proyectos (caso Fort Hood – 1984) utilizaron agregados más gruesos (38 mm), pero observaron durante la construcción una segregación significativa, que obligó a disminuir ese tamaño máximo.

El Cuerpo de Ingenieros exige la previsión separada de dos agregados que mezclados en obra producen una granulometría regular entre 83% a 100%, PT ¾ y 2% a 8%, N° 200.

El uso de incorporadores de aire no ha dado buen resultado, pero los aditivos retardadores de fragüe fueron usados con éxito, en 1987, en el pavimento de HCR de Fort Bliss. Para el mezclado de los materiales son preferibles las

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

mezcladoras tipo amasadora (pugmill), similares a las empleadas para concreto asfáltico, de producción continua o discontinua.

La cantidad de agua de la mezcladora debe ser controlada por el operador, ya que las propiedades de colocación y compactación de la mezcla son sensibles a pequeñas variaciones en la cantidad de agua pueden ser necesarios para compensar los cambios de humedad de los agregados.

Las primeras máquinas utilizadas fueron equipadas solamente con planchas vibratoras, de modo que la mayor parte de la compactación era provista por el rodillo vibratorio. Hoy día se usan pavimentadoras con reglas compactadoras y vibratoras, especialmente aptas para el Hormigón Compactado con Rodillo.

El equipo principal de compactación es la aplanadora de dos ruedas metálicas con vibración, con un peso mínimo de 27 kg por cm de ancho de rueda y vibrando, por lo menos, 1500 ciclos por minuto. El Cuerpo de Ingenieros requiere una amplitud ajustable entre 0,4 mm y 1,0 mm. La amplitud debe variarse durante la construcción del tramo de prueba, hasta determinar la adecuada para la mezcla usada, que será aquella que produzca máxima compacidad sin dejar fisuras superficiales.

Las especificaciones suelen requerir por lo menos cuatro pasadas del tambor vibrador Para obtener una densidad del 98,5% de la del Proctor. Es práctico dar una o dos pasadas iniciales sin vibración. Alcanzada la densidad establecida, la superficie debe cerrarse con dos pasadas de rodillo neumático. El rodillado final consistirá en una pasada de la aplanadora sin vibrar.

Es muy importante que los rodillos sigan inmediatamente detrás de la pavimentadora y el rodillado se termine lo más rápido posible, antes que se seque el hormigón. Un patrón de compactación deberá establecerse durante la construcción del tramo de ensayo y seguirlo posteriormente.

Normalmente se rodilla en primer término el borde de la trocha, dejando sin rodillar una faja adyacente al borde de 15 cm a 25 cm de ancho. Luego se rodilla el resto de la trocha y si la trocha adyacente fue rodillada con anterioridad, se termina rodillando la junta de unión de ambas trochas. La junta fría de construcción o borde final del tramo de pavimento construido debe ser cortada, antes de proseguir con la construcción de un nuevo tramo, preferiblemente por aserrado, para proveer un borde limpio para el nuevo hormigón a compactar con rodillo.

En pequeñas superficies irregulares el hormigón se colocará en capas delgadas y será compactado con pequeños rodillos o piones hasta alcanzar la densidad deseada.

El pavimento debe ser curado al menos durante siete días. Usando varios tipos de rociadores, formando una membrana impermeable, aplicados en una cantidad doble de la usual y emulsiones asfálticas. Con estos procedimientos la habilitación al tránsito es prácticamente inmediata.

Los controles constructivos que se realizan son: lisura superficial para el rodamiento mediante regla recta de 3,60 m de longitud y de conformación de los perfiles transversal y longitudinal. La densidad de control del pavimento es la que acusa a 5 cm encima del nivel de la subrasante y suele determinarse con densímetros nucleares. Se suele exigir un 98,5% de la densidad obtenida en el ensayo humedad – densidad (Proctor modificado) realizado en el laboratorio.

Anexo 5

ESPECIFICACIONES DE PRESA REGULADORA AMATA SINALOA

CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)

5.3 COMPOSICION DEL CCR.

5.3.1. Generalidades

El CCR debe de estar compuesto por cemento Portland, puzolana, agregados y agua. El agua debe satisfacer los requerimientos químicos para el mezclado de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C 94, exceptuando el agua con altas concentraciones de sedimentos las cuales no deben ser permitidas.

5.3.2 Diseño de mezclas.

Los diseños de mezclas se deben hacer utilizando uno de los métodos previamente descritos en el ACI reporte 207.5r para la elaboración de CCR.

5.4 MATERIALES CEMENTANTES

5.4.1 Generalidades

El cemento debe cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C 150 tipo II, bajo en alcalinidad.

5.4.4 Temperatura del cemento

La temperatura del cemento no debe exceder los 75 °C cuando sea entregado en el Sitio de la Obra. La temperatura del aire, si este proceso es utilizado para transportar el cemento dentro de contenedores o silos de almacenamiento, no debe exceder los 85 °C. La temperatura del aire debe ser determinada midiendo la temperatura exterior del medio de transporte con un termómetro de superficie.

5.4.5 Almacenamiento

Inmediatamente después de ser recibidos en la planta de concreto, el cemento y la puzolana deben ser almacenados en tanques o estructuras ventiladas con una capacidad combinada de cuando menos 80 toneladas y que los mantengan secos y protegidos del clima. Todas las instalaciones de almacenamiento deben estar sujetas a aprobación y permitir un acceso fácil para su identificación e inspección.

El Contratista debe planear las entregas con la idea de mantener suficiente cemento y puzolana en la planta de concreto para una producción de por lo menos 4 horas, con base en los promedios de producción típicos y de acuerdo a la experiencia.

5.5 AGREGADOS

5.5.2 Calendario de producción

Cuando menos el 50% de los agregados debe ser producidos y almacenados antes de comenzar la producción de CCR para las operaciones de colocación.

5.5.3 Granulometría y apilamientos

Es recomendable que el Contratista use una sola granulometría y un apilamiento sencillo para los agregados, sin embargo, el Contratista puede apilar los agregados en dos grupos. Se podrá usar, aunque no sea requerido, un apilamiento adicional para mezclar arena y finos.

- Grupo I. 100% pasa la malla de 76 mm y por lo menos el 98% es retenido en la malla de 20 mm.
- Grupo II. 100% pasa la malla de 20 mm
- Grupo III (en caso de ser usado). 100% pasa la malla de 4.75 mm.

Los índices de plasticidad y límite líquido, no deben exceder de 25 y 55 respectivamente en todas las partículas que pasen las cribas de 300 ó 425 micrones en el lavado de los agregados. Pruebas diarias pueden ser hechas para el material cribado en seco. Cuando menos una vez por semana, se debe determinar la granulometría durante el inicio de la producción de agregados y para todo material dudoso.

5.5.4 Forma de las partículas

La cantidad de partículas planas y largas de acuerdo con la norma CRD C 119 no debe exceder el 40% de cualquier grupo individual de tamaño de partícula ni de un promedio pesado del 30% del total, incluyendo todos los tamaños de la granulometría. Estas cantidades son mayores que las usadas típicamente para concreto convencional, pero se encuentran dentro de los límites aceptables para concreto compactado con rodillo.

5.6 PLANTA DE CONCRETO

5.6.1 Generalidades

La planta debe ser del tipo “pug mill” de mezclado continuo. La planta debe tener la capacidad de producir rutinaria y consistentemente mezclas con agregados grandes y relativamente secas, así como CCR húmedo, en caso que se requiera utilizar en este Proyecto. Asimismo, debe tener una capacidad pico mínima sustentable de por lo menos una hora con aproximadamente 320 toneladas ó 175 metros cúbicos (compactados) por hora. La planta debe tener la capacidad de adaptarse para fabricar una mezcla de diseño precalibrada a otra en un lapso no mayor de dos minutos, manteniendo las tolerancias especificadas y los requerimientos de uniformidad.

5.6.6 Operación y calibración de la planta de CCR

Cuando la alimentación de materiales se detenga por cualquier causa, todo el material restante depositado en la mezcladora y en las bandas debe retirarse. Al arranque diario de la producción, o luego de una suspensión mayor de 30 minutos, el primer metro cúbico de CCR debe desecharse. Si después de producir este volumen, la mezcla producida no es uniforme, se debe continuar desechando el CCR hasta que se logre descargar una mezcla consistente con las proporciones especificadas.

5.6.9 Implementos para el muestreo

El Contratista debe suministrar todos los implementos y la mano de obra requerida para la obtención de muestras representativas de los materiales en el momento que éstos entren en la mezcladora, cuando sean descargados de ésta o de las tolvas, y en el sitio de colocación después del extendido, pero previamente a la compactación. Cada muestra debe tener una cantidad de material con un peso del orden de 200 kg.

5.7 TRANSPORTACION Y BANDAS

5.7.1 Generalidades

Bajo ninguna circunstancia se permitirá que el equipo que se empleé para transportar, extender y compactar la mezcla, contamine el CCR. Cuando la temperatura de colocación de la mezcla este sobre los 25° C, el tiempo total desde el inicio del mezclado hasta la compactación completa, no debe exceder de 40 minutos bajo ninguna circunstancia. Este se puede extender hasta 50 minutos, si la temperatura de colocación varía entre los 18 y 25° C, y hasta 60 minutos cuando la temperatura de colocación este por abajo de los 18° C.

5.7.3 Bandas transportadoras

Para la construcción de la presa, se requerirá de un sistema de bandas transportadoras para el transporte y entrega del CCR. Únicamente se permitirá transportar la mezcla en camiones cuando sea destinada a áreas aisladas de la cimentación o para el bordo de prueba previa aceptación de la Comisión. Las bandas se deben operar a velocidades altas (4 m/seg.) que cumplan con los requerimientos de producción y que no ocasionen segregación. Todas las bandas se deben cubrir en toda su extensión, de manera que se prevenga el secado de la mezcla a causa del viento y del sol y del exceso de humedad por causa de las lluvias.

5.8 COLOCACIÓN Y EXTENDIDO

5.8.1 Generalidades

La construcción de la presa debe llevarse a cabo de una manera continua, para lo cual, el Contratista debe disponer en todo momento y en buen estado de operación, de la planta de producción y de todos los equipos necesarios para la fabricación, transporte, colocación y compactación del CCR.

Con el objeto de garantizar la continuidad durante la colocación del CCR, el Contratista debe trabajar durante 20 horas diarias cuando menos seis días a la semana en condiciones normales de trabajo.

El promedio de crecimiento de cada bloque ó área de colocación aprobada debe ser cuando menos de 0,6 m por día pero no mayor de 2,0 m por día sin previa aprobación.

5.8.2 Clima

La colocación y compactación del CCR no debe llevarse a cabo bajo lluvias de mediana y alta intensidad así como condiciones extremas de temperatura por abajo de los cero grados centígrados excepto si la superficie de colocación y la temperatura misma de la mezcla están por arriba de los 2 grados centígrados.

En el caso poco probable que la temperatura ambiente descendiera por abajo de -1 grado centígrado y la superficie de cualquier CCR con menos de 7 días de edad estuviera por abajo de los 2 grados centígrados, la superficie debe ser cubierta con lonas, plásticos o cualquier otra protección temporal aceptable hasta que la temperatura ambiente se incremente por arriba de 1 grado centígrado.

5.1.3 Colocación

Es responsabilidad del Contratista respetar la temperatura máxima de colocación de 23° C como máximo y 14° C como mínimo, utilizando los recursos necesarios para ello, sin alterar las propiedades de la mezcla y sin costo

alguno para La Comisión.

Dondequiera que se genere una junta fría en cualquier capa, ésta debe ser localizada cuando menos a 3 metros de otras juntas frías que se hayan formado previamente en la misma dirección. La junta fría debe ser tratada de acuerdo a lo especificado en el inciso 5.10.2 de este capítulo. No se permiten juntas frías a lo largo del eje de una capa en la dirección aguas arriba - aguas abajo mayores de un tercio de la dimensión aguas arriba - aguas abajo de la presa en dicha elevación.

5.1.5 Extendido

El Contratista debe extender y conformar una capa dentro de los primeros 10 minutos después de la colocación de la mezcla, con el espesor requerido para que una vez que sea compactada tenga un espesor de 30 cm.

Cuando la mezcla de CCR sea colocada sobre una capa de concreto de liga, la capa de CCR debe ser extendida y compactada en un lapso no mayor de 100 minutos a partir de que el concreto de liga fue mezclado, ó bien dentro de los 40 minutos a partir de que el concreto de liga fue colocado para que éste no empiece a fraguar o secar por exposición.

El Contratista debe emplear equipo de orugas para extender la mezcla de CCR, limitado en tamaño máximo a un bulldozer Caterpillar D-6 ó equivalente. La compactación debe ser iniciada por medio del bulldozer sobre la mezcla que ha sido extendida, de tal modo que antes de la compactación final por medio del rodillo vibratorio, la superficie debe estar totalmente cubierta por las huellas visibles de las orugas del bulldozer.

El equipo de extendido debe tener un sistema hidráulico capaz de inclinar o angular la cuchilla, este equipo debe contar con un control de espesor de capa mediante un sistema de rayo láser. El equipo de orugas empleado para el extendido de la mezcla debe trabajar siempre sobre material fresco sin compactar y no se debe permitir su operación sobre capas de CCR previamente compactadas.

El Contratista debe disponer de un cargador frontal para depositar y extender la mezcla en áreas reducidas y/o confinadas como en la cimentación y otros sitios donde se necesite.

El extendido debe de hacerse de tal manera que no cause segregación, en caso de que los agregados se segreguen fuera de la capa de CCR que esta siendo extendida, el Contratista debe remezclarlo dentro del CCR o removerlo. Todos los agregados gruesos que rueden fuera de la capa de CCR que este siendo extendida, podrán ser levantados y colocados por los trabajadores por medio de palas planas sobre una superficie de CCR sin compactar.

Bajo ninguna circunstancia, el Contratista debe colocar mezcla fresca de CCR sobre una capa que se haya considerado dudosa y a la cual se le tenga prevista la ejecución de ensayos con la finalidad de aprobarla o rechazarla, en cuyo caso la remoción de dicha capa será por cuenta del Contratista.

5.9 COMPACTACION

5.9.1 Generalidades

La compactación de cada capa de CCR, debe efectuarse en un tiempo no mayor de 10 minutos después de haber sido extendida la mezcla, para lo cual el Contratista debe, con base en lo observado en el bordo de prueba, seleccionar el tamaño adecuado del tramo que se va a compactar. El número mínimo de pasadas será de 4 si se utilizara un compactador de doble tambor y de 8 en el caso de que se utilice un compactador de un solo tambor. Un viaje redondo del compactador (ida y vuelta) sobre una misma capa, equivale a dos pasadas. El número de pasadas, debe de ser ajustado para obtener la densidad mínima húmeda especificada, de acuerdo con los resultados obtenidos en el bordo de prueba.

Una densidad mínima húmeda promedio por capa de 2350 kg/m³ debe ser obtenida por cada 200 m² de área de colocación, usando para ello el promedio obtenido de por lo menos cinco mediciones realizadas en cada capa.

La densidad promedio de cada prueba individual debe ser determinada tomando las lecturas del fondo, la parte central y aproximadamente 7,5 cm abajo de la superficie de la capa. Bajo ninguna circunstancia deben permitirse en cualquier lugar de la capa, lecturas individuales menores a 2300 kg/m³.

En áreas restringidas como cerca de la cimentación, pánenes y elementos precolados, así como ductos para instrumentación, donde el equipo de compactación mayor no tenga acceso o pueda perjudicar dichas estructuras, se deben utilizar compactadores vibratorios pequeños o compactadores vibratorios manuales.

El extremo de cualquier capa contra la cual en un término máximo de 30 minutos no se coloque concreto fresco, debe de ser picado y compactado en esa parte y no contener agregado segregado suelto.

El extendido y la compactación deben de hacerse de tal modo que la superficie resultante sea plana, con un mínimo de huellas de los extremos del compactador y que por lo menos el 80% del ancho del rodillo se apoye sobre la superficie de compactación.

5.9.2 Equipo de compactación mayor autopulsado

El peso del compactador no debe de ser menor a 9 toneladas con un tambor de 1,2 a 2,0 m de diámetro y 1,5 a 2,0 m de ancho, éste debe de producir una fuerza dinámica mínima de 8,5 kg por milímetro de ancho del tambor a la frecuencia de operación que sea utilizada durante la construcción, dicha frecuencia de vibración no debe de ser menor a 1500 ciclos por minuto. El compactador no debe de ser operado a velocidades mayores de 2,5 km por hora. La potencia del motor que debe de mover la masa excéntrica no debe ser menor a 125 caballos de fuerza.

5.9.3 Equipo de compactación menor

El Contratista debe de contar con equipo de compactación menor como compactadores de placa, bailarinas y rodillos vibratorios que puedan operar en áreas difíciles como a pocos centímetros del paramento vertical de los paneles, cimentación, elementos precolados y todas aquellas áreas donde el equipo de compactación mayor no pueda maniobrar.

La fuerza dinámica producida por los compactadores pequeños debe ser cuando menos de 3,5 kg por mm de ancho del tambor para el caso de equipos con doble tambor y de 5,3 kg por mm de ancho del tambor para compactadores con tambor único.

Los compactadores de placa deben desarrollar una fuerza de por lo menos 800 kg por impacto y $1,7 \text{ kg/cm}^2$. La fuerza de compactación requerida con compactadores de placa o bailarinas debe ser la necesaria para obtener una densidad mínima de 2300 kg/m^3 .

5.9.4 Compactación en el contacto CCR-Concreto Convencional

El Contratista debe tomar todas las medidas necesarias para obtener un contacto íntimo entre las superficies de CCR y concreto convencional sin que se presente una unión visible. La aceptación de una unión de este tipo debe estar basada en el resultado de ensayos con núcleos obtenidos de perforaciones.

Las perforaciones deben ser horizontales y deben ejecutarse desde la cara del concreto convencional penetrando 30 cm dentro del CCR.

5.10 JUNTAS

5.10.1 Generalidades

El Contratista debe colocar la masa de CCR con la suficiente continuidad de tal forma que se endurezca y actúe como un monolito sin discontinuidades o planos de separación.

Las superficies de las juntas deben mantenerse limpias, libres de toda contaminación y continuamente húmeda hasta la colocación de la siguiente capa.

El riego debe efectuarse de tal forma que se forme una brisa constante, no se aceptarán chorros concentrados a presión que erosionen la superficie fresca del concreto, evitando también que se formen charcos sobre la superficie.

El Contratista debe mantener por lo menos una persona disponible las 24 horas del día los 7 días de la semana, con la única responsabilidad de mantener en operación el sistema de suministro de agua y garantizar la humedad de las superficies sin crear encharcamientos. Dicha persona podrá alternar su labor de humedecimiento con la de mantenimiento y desplazamiento del sistema de suministro de agua, siempre y cuando esta última actividad no entorpezca o interfiera la realización satisfactoria de la primera.

5.10.2 Clasificación de juntas frías

Las juntas frías se clasificarán como tipo I y tipo II, de acuerdo al tratamiento requerido basado en el siguiente criterio:

Junta fría tipo I: este tipo de junta se origina, cuando más de 500 grados centígrados-hora han pasado antes de la colocación de la siguiente capa en un lapso de tiempo no mayor a 36 horas.

Los grados centígrados-hora, deben ser determinados por la acumulación del promedio de las temperaturas sobre la superficie del CCR, medidas en grados centígrados, durante cada hora de incremento, después que la capa haya sido compactada.

El registro del tiempo y de la temperatura, debe ser llevado por medio de aparatos de medición continua de temperatura equipados con reloj como los que se utilizan en la construcción de elementos de concreto prefabricado o similares. Cuando menos dos de estos aparatos deben estar llevando y anotando el tiempo, así como la temperatura durante todo el período que no se coloque CCR.

La junta fría tipo I, debe limpiarse antes de la colocación de la siguiente capa, manteniendo la superficie húmeda

sin permitir áreas secas o encharcadas.

Una vez efectuada la limpieza, una capa de concreto de liga con un espesor nominal de 25 mm, debe ser extendida desde el paramento de aguas arriba hasta un tercio de la longitud total de la presa como mínimo antes de la colocación de la siguiente capa de CCR, el concreto de liga debe extenderse de tal forma que toda el área requerida quede cubierta, el espesor de la capa de concreto de liga, debe ser 30 mm como máximo.

La colocación de este concreto de liga, no implica ningún pago adicional al Contratista, a menos que la junta fría y/o el tratamiento hayan sido ordenados por Comisión para su conveniencia.

Junta fría tipo II: este tipo de junta se genera, cuando han pasado 36 o más horas antes de la colocación de la siguiente capa.

Las juntas frías de este tipo deben ser tratadas para la colocación de la siguiente capa, retirando todos los finos endurecidos, materiales sueltos y contaminantes que estén sobre la superficie, el procedimiento de limpieza debe exponer pero no separar los agregados de la capa compactada. En este estado de madurez del CCR, el empleo de chorros de agua puede ser utilizado si por medio de aire no se obtienen resultados satisfactorios en la preparación de la superficie.

Después de la preparación, la superficie debe ser tratada como una junta tipo I, excepto que la capa de concreto de liga debe ser extendida cuando menos en un 50% de la longitud total de la presa a partir del paramento de aguas arriba.

5.10.3 Tratamiento de juntas en la cercanía con el paramento de aguas arriba

Todas las juntas horizontales, deben llevar una capa de concreto liga a partir del paramento de aguas arriba hacia aguas abajo cuando menos de 2 m de ancho o hasta la distancia indicada en los planos.

5.10.4 Juntas verticales

Las juntas verticales son aquellas que van en la dirección aguas arriba-aguas abajo y se pueden clasificar en dos tipos.

Tipo 1: es una junta de contracción que solo transmite fricción y que no debe ser usada como junta de expansión. Esta junta debe extenderse sobre la longitud total aguas arriba- aguas abajo cuando menos 4 m sobre la cimentación y 4 m por abajo de la corona, para el resto de la presa, únicamente es necesario colocarla por lo menos en un 25% del ancho de la presa desde el paramento de aguas arriba hacia aguas abajo y viceversa en la elevación que esté siendo construida.

Tipo 2: también son juntas de contracción, con la diferencia de que pueden permitir movimientos de expansión y cortante con una mínima fricción. Estas juntas deben tener 20 mm de separación para la expansión y se debe extender completamente a través de toda la presa.

Toda junta comenzada en la presa, debe ser continuada en todo el resto de la altura, utilizando una de las siguientes alternativas de construcción o una combinación de ambas.

Alternativa 1: Estas juntas se deben hacer por medio de cimbra temporal, el mismo procedimiento para colocar el CCR en los estribos de la presa debe ser utilizado para formar la junta, no habrá ninguna restricción en lo que a altura y edad se refiere para el CCR que esté colocado de un lado de la junta con respecto al que se va a colocar para formarla. Antes de colocar el CCR del otro lado de la junta, la superficie ya colocada debe limpiarse retirando todo el material suelto y/o segregado.

Alternativa 2: Este tipo de junta debe hacerse colocando una banda plástica en el caso de la junta tipo 1 ó láminas embebidas de plástico en el caso de la junta tipo 2, colocado verticalmente a través de cada capa de CCR a ambos lados de la junta, la altura de estas láminas debe ser aproximadamente 25 mm menor que el espesor de la capa.

5.11 VARILLAS DE ACERO PARA REFUERZO INCLUYENDO ANCLAS

5.11.2 Colocación de varillas de acero en el CCR

Todo el acero de refuerzo incluyendo anclas, se debe colocar a una distancia libre no menor de 50 mm ni mayor de 150 mm de la superficie del CCR que se encuentre colocado abajo de él.

5.12 ESTRUCTURAS EN EL CUERPO DE LA CORTINA

5.12.1 Generalidades

Todas las estructuras que se encuentren alojadas en el cuerpo de la cortina deben construirse utilizando el esquema a) estructuras coladas en el sitio y contra las cuales se coloca el CCR, b) Cimbrado rígido temporal contra el cual se coloca el CCR, c) relleno granular no cementados removibles. Para esta presa solo se describirá el inciso c).

5.12.2 Estructuras realizadas por medio de rellenos granulares no cementados

La sección de las estructuras debe conformarse mediante el uso de materiales granulares no cementados, los cuales se colocan en capas en forma similar y simultánea con las capas adyacentes de CCR para ser removidas posteriormente.

En la junta entre los materiales de relleno y el CCR, se deben colocar aisladores rígidos como tabloncillos o láminas con el objeto de separar los dos materiales y evitar la adherencia entre el relleno y el CCR.

El Contratista debe adoptar sistemas adecuados que impidan el esparcimiento del material no cementado fuera del área de la estructura. Podrá escogerse como material de relleno cualquiera de los agregados que se estén produciendo, con excepción de la arena cuyo uso no será permitido.

La excavación de la estructura no podrá comenzarse antes de que el CCR haya alcanzado una resistencia suficiente para autosoportarse (aproximadamente de 21 días). Una vez que se cumplan los requisitos de resistencia descritos anteriormente, el Contratista debe proceder a la remoción del material de relleno y dejar la estructura en condiciones adecuadas para los trabajos que deben ejecutarse en su interior.

5.13 CURADO Y PROTECCIÓN

La superficie superior de cualquier capa de CCR sobre la cual se va a colocar una subsecuente, debe mantenerse siempre húmeda y a una temperatura mayor de 2 grados centígrados hasta que sea cubierta por la siguiente capa.

La superficie superior de la última capa de CCR que se coloque, debe curarse en la misma forma hasta que sea cubierta por concreto convencional, asfalto, etc. o hasta que el CCR alcance como mínimo 60 días en caso de que no sea cubierto por nada.

La cara expuesta de cualquier otra superficie de CCR, no requerirá de curado o protección. En todos los casos no se permitirá el uso de aditivos para el curado.

Las superficies de CCR sobre las cuales se colocará subsecuentemente capas de CCR fresco, deben protegerse de la erosión causada por el agua de lluvias y por el tráfico de todo tipo de equipo. Cualquier superficie que a juicio de Comisión haya sido deteriorada, debe tratarse como una junta fría tipo II.

5.14 PARAMENTOS DE PÁNELES PREFABRICADOS

5.14.1 Generalidades

Cuando menos el 10% de los Paneles deben estar fabricados y almacenados antes de que comience la producción de CCR para su colocación.

Rodillos pequeños y compactadores de mano deben de ser usados en las áreas adyacentes a los paneles donde los rodillos grandes no puedan maniobrar en condiciones de seguridad.

5.14.2 Composición

El concreto precolado podrá llevar un alto contenido de cemento Portland, el concreto debe contener también un aditivo, agua, agregado fino de peso normal y agregado grueso. Un reductor de agua conforme a la norma ASTM C 494 puede ser usado.

5.14.3 Agregados

Los agregados que se usen en la fabricación del concreto prefabricado, deben provenir de recursos aprobados o de una planta establecida de fabricación de elementos precolados con una historia que garantice la calidad de construcción y durabilidad de los materiales.

Los agregados que provengan de otro sitio deben haber demostrado un servicio satisfactorio bajo condiciones similares a las que estarán sujetos en las condiciones de este contrato.

Los agregados no podrán ser utilizados sin previa aceptación de la Supervisión. Si, en la opinión de Comisión, un adecuado historial de servicio o adecuadas pruebas de laboratorio no han sido demostrados, el Contratista debe presentar las pruebas requeridas por las normas ASTM C 33 y ASTM E 329 y presentar los resultados a Comisión para su revisión y aceptación o rechazo cuando menos 30 días antes de usarlos.

El Contratista puede usar granulometrías diferentes a las indicadas en el Capítulo 4 de Concreto para la fabricación de concreto prefabricado siempre y cuando compruebe que dichas granulometrías tienen una excelente calidad y puedan ser usadas en la elaboración del concreto prefabricado. Si el Contratista quiere utilizar una graduación diferente de las listadas en el Capítulo 4, debe notificarlo por escrito a Comisión para su

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

aceptación o rechazo antes de comenzar la fabricación del concreto. El tamaño máximo permisible para la fabricación del concreto prefabricado será de 25 mm.

5.14.4 Calidad

Los paneles deben tener una resistencia mínima de diseño de $f_c = 70 \text{ kg/cm}^2$ antes del descimbrado, $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ antes de su traslado y $f_c = 275 \text{ kg/cm}^2$ todas estas resistencias deben ser a los 90 días. Los esfuerzos y diseños de mezclas son responsabilidad del Contratista. Las pruebas de resistencia a la compresión deben ser hechas en cilindros colados y curados de la misma manera que los paneles.

5.14.5 Colado

El colado del concreto para la fabricación de los paneles precolados debe ser como se especifica en el Capítulo 4, el vibrado para estos elementos deber externo ya que la vibración interna no es aceptable para secciones con un espesor menor de 150 mm. Se podrán requerir acabados adicionales, si después de la consolidación se tienen irregularidades o imperfecciones en la superficie.

5.14.8 Anclas

Las anclas para fijar los pánels deben estar localizadas cuando menos a 50 mm sobre las juntas horizontales de las capas de CCR. Las anclas deben estar fijadas a los paneles por medio de un mecanismo resistente que les permita resistir los impactos durante la compactación de las capas de CCR.

5.14.10 Juntas entre paneles

Se deben colocar lanas a manera de juntas entre los paneles para su alineación. Estas deben tener un espesor de 2 mm y una superficie de soporte de por lo menos 150 cm^2 .

5.15 PREPARACIÓN DE LA CIMENTACIÓN

5.15.1 Generalidades

Se debe colocar una capa de concreto de liga de espesor variable, de acuerdo con lo indicado en los planos y de acuerdo a estas especificaciones, en el contacto entre la roca entre la roca de cimentación o concreto convencional endurecido, con el CCR.

5.15.2 Concreto de liga

Se debe emplear el mismo concreto de liga en el contacto entre la roca de cimentación o los estribos y el CCR, entre capas de CCR o donde, según el diseño lo indique y se requiera. El concreto de liga debe tener un fraguado inicial mayor de 3 horas a $35 \text{ }^\circ\text{C}$; durante este período la mezcla se podrá humedecer superficialmente con el fin de compensar la cantidad de humedad que se pueda perder por evaporación.

El concreto de liga se debe extender en que toda la superficie en que se va a iniciar la colocación de CCR ya sea en la cimentación o entre capas de CCR y el espesor promedio en la cimentación en roca no debe ser mayor de 50 mm. La mezcla de CCR se debe extender sobre el concreto de liga, y compactarse antes que la primera alcance el tiempo de fraguado inicial y dentro de los 45 minutos siguientes, contados a partir del momento en que fue descargada.

Las proporciones de la concreto de liga serán propuestas por Comisión, utilizando para su diseño materiales representativos de aquellos que se vayan a emplear en la presa.

El diseño de la mezcla propuesto por Comisión se indica la siguiente tabla:

PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO DE LIGA	
Materiales	Consumo en kg/m^3
Cemento Puzolanico	306
Agua	175
Arena	818
Grava	999
Suma	2 298
Revenimiento	> 150 mm

El uso de aditivo en la mezcla para mantener su trabajabilidad debe ajustarse a las recomendaciones del fabricante y será responsabilidad del Contratista.

5.15.3 Conformación de la cimentación, forma y relleno

El Contratista debe retirar todo el material inadecuado hasta encontrar la roca competente que resista las fuerzas que le transmitirán las estructuras y en su caso dar la forma más conveniente para la cimentación de la estructura.

No se requerirá vibrado en los concretos de liga y concreto dental que se coloquen para rellenar pequeños vacíos en la cimentación y para nivelar las superficies. Para el curado se deberá cubrir el material con estopa durante un día.

5.15.4 Limpieza final

Con anterioridad a la colocación de cualquier concreto o concreto de liga, el Contratista debe limpiar la superficie de cimentación de manera que éste quede libre de material y bloques de roca sueltos y roca deteriorada, de barro, acumulaciones de grava, arena y cualquier otro tipo de material contaminante que influya en la calidad del contacto.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El trabajo de limpieza requerido en la Obra se puede llevar a cabo con chorros de aire o agua a presión en grandes volúmenes empleando los equipos usados para la limpieza en gran escala de áreas de cimentación de presas de concreto. Se requerirá un camión aspirador, con una manguera de por lo menos 125 mm de diámetro, capaz de aspirar agua, arena y fragmentos de roca hasta de 75 mm y 1 kg de peso. Toda superficie a la cual se le va a colocar CCR o concreto de liga, debe estar húmeda. El Contratista debe tener disponible el equipo adecuado necesario para suministrar aire, aire - agua y chorros de agua a presión para la limpieza de la cimentación.

5.16 LIMPIEZA DEL TALUD DE AGUAS ABAJO

Es posible que durante la construcción de la presa caiga material sobre el talud de aguas abajo de ésta, lo cual podrá resultar en una acumulación de CCR suelto en los escalones del talud y a lo largo del pie de la presa. Durante la construcción, el talud de aguas abajo debe ser rutinariamente limpiado con herramientas manuales para obtener una superficie de buena apariencia de acuerdo con lo especificado.

El Contratista será responsable por mantener toda la instrumentación en óptimas condiciones, incluyendo el cableado y la identificación de cada instrumento dentro de su tipo. Si se pierde el cableado de algún instrumento o su identificación, o se daña por causas imputables al Contratista, éste debe ser reemplazado, en cuyo caso el Contratista debe efectuar las perforaciones que sean necesarias para reinstalarlo. No habrá ningún pago por reemplazar los instrumentos dañados o perdidos.

5.17 INSTRUMENTACIÓN

El Contratista debe estar preparado para instalar la instrumentación requerida para la presa en los sitios mostrados en la especificación anexa a las bases de licitación, donde además se establece el tipo y cantidad de instrumentos y demás requisitos de calidad e instalación.

La localización y el número de instrumentos podrán ser variados por Comisión en la medida en que progresen los trabajos.

5.18 BORDO DE PRUEBA

El Contratista debe construir un bordo de prueba de concreto compactado con rodillo en la margen izquierda de acuerdo a lo indicado en planos. En dicho bordo de prueba el Contratista, bajo la supervisión de Comisión, estudiará las dosificaciones que considere necesaria, o la propuesta por Comisión, definiendo y ajustando las variables de trabajabilidad, humedad, energía de compactación, número de pasadas y técnicas de colocación, y resistencias especificadas.

El bordo de prueba debe construirse con el equipo y técnicas que se emplearán definitivamente para la construcción de la presa; esto es, planta de agregados, planta de concretos, equipos de transporte, extensión y compactación, paneles de concreto, limpieza de juntas, compactación, ensayos de densidad, mezclas de pega, mezclas en concreto convencional para los paramentos y demás procedimientos constructivos.

Tanto los equipos como las mezclas y los procedimientos de colocación y compactación de la prueba de campo deben ser aceptados previamente por Comisión.

Con la construcción del bordo se busca evaluar y ajustar todas las labores de la construcción, tales como limpieza y tratamiento de juntas, extensión de material, compactación, colocación de mezclas de pega y colocación del concreto convencional en contacto con el CCR.

Para verificación, el Contratista debe haber suministrado previamente los equipos de control de construcción, tales como equipos de medición de densidad, toma - núcleos de CCR, sistema de rayo láser para control de espesor de capas y todo el equipo de laboratorio que sea necesario para el control de agregados y mezclas de CCR, de acuerdo con lo especificado.

La sección de prueba debe servir como una práctica o entrenamiento para el personal del Contratista y debe ser empleada para ayudar a evaluar la efectividad práctica de métodos de construcción y empleo de los diferentes equipos.

También servirá como un área de práctica para inspección y supervisión por parte del personal del Contratista y Comisión, de verificación del funcionamiento adecuado de las plantas de procesamiento de agregados y de concretos, las cuales deben demostrar que satisfacen los requisitos de producción estipulados para la construcción de la presa.

El Contratista podrá variar los espesores de capa, número de pasadas del compactador, dosificación de las mezclas, diferentes condiciones en las juntas, con el fin de obtener la mejor mezcla, y proceso constructivo y el Contratista estará obligado a ejecutar todo lo indicado bajo el Precio establecido en el Catálogo de Conceptos.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El Contratista debe presentar sesenta días antes de iniciar la construcción del bordo de prueba, para aceptación de Comisión, el programa detallado de toda la prueba.

El Contratista debe ejecutar todas las actividades solicitadas por Comisión, tanto en campo como en laboratorio, para obtener los mejores resultados de la prueba.

Todos los costos que implique esta prueba deben estar incluidos en la suma global del Item correspondiente a la ejecución del bordo de prueba.

En caso que la prueba no cumpla con los requisitos a satisfacción de Comisión, El Contratista debe repetir el ensayo de acuerdo con la dirección o la aceptación de Comisión, sin que tenga derecho a ningún pago adicional.

En resumen, los principales objetivos que se deben alcanzar con el bordo de prueba de CCR se relacionan a continuación:

- Ajuste de las dosificaciones de laboratorio para la mezcla del CCR.
- Determinación del rendimiento y eficiencia práctica del equipo y de los métodos de construcción propuestos.
- Determinación de las condiciones de segregación en las distintas etapas del proceso de construcción, transporte, descarga, distribución y compactación del CCR.
- Optimización de la colocación y compactación de las capas de CCR previstas en el Proyecto, con los ajustes correspondientes de humedad.
- Ajuste de la amplitud y de la frecuencia de vibración de los compactadores y del número de pasadas de los mismos.
- Entrenamiento práctico del personal del Contratista y de Comisión para la correcta utilización de esta metodología de construcción del concreto compactado.
- Ajustar la metodología de trabajo, movimiento de equipo, control de calidad del CCR en la descarga, distribución y compactación.
- Entrenar al personal en el uso del densímetro nuclear con doble barra.
- Optimización del tratamiento de juntas entre capas normales.
- Optimización del tratamiento de juntas de construcción y contracción.
- Optimización de la producción y colocación del concreto de liga.
- Optimización de la producción, colocación y consolidación del concreto convencional en los paramentos exteriores.
- Metodología del trabajo en la instalación de cimbras y paneles prefabricados y su comportamiento con respecto al equipo de compactación.
- En especial, tanto Comisión como el Contratista observarán muy cuidadosamente los resultados de las actividades como limpieza y tratamiento de juntas, curado del CCR, extendido del material, compactación con los diferentes equipos especificados, colocación de la concreto de liga, colocación y compactación del concreto convencional en contacto con el CCR.

Después de cada día de colocación del CCR en el bordo de prueba, se tendrán reuniones de trabajo entre el Contratista y la Comisión, en las cuales se deben revisar y analizar las actividades desarrolladas, aceptando aquellos métodos y procesos que dieron los resultados requeridos, y posteriormente se deben acordar los nuevos procesos o métodos

5.19 TOLERANCIAS

Con excepción de los requisitos específicos que se enuncian a continuación, los límites de las tolerancias que se permitirán no deben apartarse de las incluidas en estas Especificaciones.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

1. Las salientes abruptas entre paneles prefabricados adyacentes y en concreto convencional expuesto, no deben exceder de 10 mm en construcción terminada.
2. Las variaciones graduales en las líneas de paneles prefabricados montados y en superficies expuestas de concreto convencional, no debe exceder de 20 mm en 3 m, 50 mm en 10 m y 75 mm en 40 m.
3. Las desviaciones de elementos prefabricados o paneles adyacentes, no deben exceder 30 mm.
4. Las variaciones de los alineamientos y pendientes de las paredes y techos de las galerías, no deben exceder de más o menos 150 mm, respecto a lo indicado en los planos. Para los pisos, la limitación es de 40 mm.
5. Los espesores de capas individuales compactadas de CCR deben mantenerse entre más o menos 5 mm de espesor estipulado.
6. La cota de la superficie de las capas de concreto compactado con rodillo, sobre las cuales se colocará concreto fresco, no debe variar en más de 75 mm de acuerdo con las cotas de diseño, excepto que la cota de la parte alta de las últimas tres capas debe estar dentro de los 40 mm de lo mostrado en los Planos.

5.20 CONTROL DE CALIDAD

5.20.1 Generalidades

El programa de control del Contratista debe ser establecido y desarrollado por un Ingeniero de Control de Calidad del CCR, con experiencia previa en el tema comprobada, asignado por el Contratista de tiempo completo a esta actividad en cada turno de trabajo, quien revisará y aprobará todas las actividades relacionadas con la producción de materiales para el CCR, el planeamiento y programación de las actividades de construcción para la colocación, la ejecución y la evaluación de los ensayos de CCR. Este ingeniero debe trabajar en estrecha colaboración y bajo la supervisión de Comisión, a quien debe informar permanentemente acerca de los procedimientos de construcción, de los programas de colocación, de ensayos y de los resultados que se obtengan de los mismos.

El Contratista debe designar un Ingeniero de Control de Calidad del CCR para cada turno, quien debe tener el personal necesario y suficiente en todas las áreas de trabajo, para realizar un seguimiento del progreso de las actividades, ejecutar los ensayos de campo y laboratorio requeridos y elaborar los informes correspondientes.

Toda la información y resultados de los ensayos deben estar siempre disponibles para revisión de Comisión. Los resultados de los diferentes ensayos efectuados para el control de calidad, se deben consignar en gráficos de control, similares a los incluidos al final del apéndice de este capítulo.

El Contratista debe tener todos los gráficos de control actualizados al final de cada turno de colocación de CCR, mediante el uso de una computadora.

El densímetro nuclear debe tener la capacidad de almacenar en su memoria los resultados de las pruebas de densidad y humedad, para ser luego transferida electrónicamente al computadora al final de cada turno y poder tener así un promedio móvil. El Contratista debe facilitar a Comisión el acceso a todos los frentes de construcción y a todas las actividades de control de calidad de las Obras.

El programa de control de calidad del CCR debe incluir los siguientes aspectos, sin limitarse exclusivamente a ellos:

- Control de la producción de agregados y de sus propiedades (granulometría, humedad, etc.)
- Control de los requisitos de dosificación y de las proporciones de la mezcla de CCR.
- Control del funcionamiento óptimo de la planta de mezclas del CCR.
- Aseguramiento de la disponibilidad de materiales adecuados, en los volúmenes requeridos de acuerdo con el programa de construcción contractual.
- Control de la calidad del cemento.
- Control de la entrega, colocación, extendido y compactación del CCR y del tratamiento de las juntas, de los elementos embebidos y del montaje de los paneles prefabricados.
- Control de las mezclas producidas en la planta de concreto convencional.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

- Todos los demás ensayos, inspecciones y evaluación requeridos por estas Especificaciones.

El programa de ensayos debe ser similar pero no se limitará a lo indicado en lo siguiente:

5.20.2 Control de los Agregados

Se deben ejecutar ensayos para determinar la granulometría, incluyendo la determinación del porcentaje de finos, forma de las partículas, límites de consistencia, densidades específicas, pesos unitarios, desgaste y solidez.

5.20.3 Granulometría de los agregados

Por lo menos una vez por turno de colocación de concreto y una vez por turno de producción de agregados, se debe controlar la granulometría de cada tamaño de agregado utilizado o producido y la granulometría integral de los agregados dosificados en las proporciones requeridas, de acuerdo con la franja granulométrica especializada.

Se tomará una muestra de comprobación siempre que el ensayo con la granulometría integral indique que está fuera de las Especificaciones. Si la muestra de comprobación indica el mismo resultado, se considerará el proceso fuera de control y el Contratista debe tomar las medidas para rectificar esta situación, entre las cuales se debe considerar la suspensión de la producción de los agregados, y si fuese necesario, la suspensión de la producción y colocación del CCR.

Excepto en los extremos que alteren francamente los criterios de diseño, se permitirá al Contratista continuar el turno en el cual se identificó el problema en la granulometría mientras se corrige. El Contratista debe contar con todos los medios requeridos para que el problema quede corregido al final del segundo turno después de haber sido identificado el problema. El Contratista asumirá todas las consecuencias económicas derivadas del retraso en la colocación del CCR por causa de los agregados fuera de las Especificaciones.

5.20.4 Humedad de los agregados

Por lo menos una vez durante cada día de colocación y para cada tamaño de agregado utilizado, el Contratista debe efectuar el ensayo de determinación del contenido de humedad, de acuerdo con la norma ASTM 566 ó ASTM C 70 según sea el tamaño del agregado.

Cuando los resultados de la determinación del contenido de humedad indiquen un cambio en el contenido de agua que entra a la mezcla con los agregados, el Contratista debe efectuar el ajuste correspondiente en la planta de mezclado para que la mezcla tenga las características adecuadas y permita su manejo y compactación adecuadas.

5.20.5 Forma de las partículas

Durante el período inicial de producción y almacenamiento de los agregados, se deben efectuar muestreos y ensayos frecuentes, más de uno por turno, para determinar la cantidad de partículas planas y alargadas, de acuerdo con la norma CRD C 119. Una vez que se haya determinado que no existe ningún problema y si los procedimientos de producción se mantienen invariables, los ensayos deben continuarse con una periodicidad de una vez a la semana.

Dos fallas consecutivas en el mismo tamaño de malla o en la granulometría completa, requerirá la toma de medidas necesarias para corregir esta deficiencia. Excepto en casos extremos que comprometan el diseño, se permitirá que continúe la producción de agregados durante el turno en que se identificó el problema, mientras éste se está corrigiendo. El Contratista debe contar con todos los medios requeridos para que el problema quede subsanado al final del segundo turno después de haber sido identificado el problema. Los materiales producidos que no cumplan con las Especificaciones, deben mezclarse con el material que si cumple, de tal manera que el material resultante, al ser usado en el CCR, cumpla con las Especificaciones.

5.20.6 Contenido de finos (Material menor de 75 micrones = 10E-06 m)

Estas Especificaciones se refieren al material menor de 75 micrones; durante el período inicial de producción y almacenamiento de los agregados, se deben efectuar frecuentes muestreos y ensayos para determinar la cantidad de este material y verificar su ajuste a los requerimientos para la granulometría combinada de los agregados.

El Límite Líquido y el Índice de Plasticidad deben ser determinados para el material menor que la malla No. 40. El agregado grueso debe lavarse con el fin de acumular todo el material menor de 75 micrones que existe en la muestra integral. Una vez se haya establecido que el problema no existe y si los procedimientos se mantienen invariables, los ensayos deben continuarse con una periodicidad de una vez a la semana.

5.20.7 Cantidad de agregados

El Contratista debe llevar un registro de la cantidad de cada tipo de agregado producido y usado durante cada turno, este registro se llevará durante todo el proceso de construcción de la presa y el bordo de prueba. Las cantidades deben estar basadas en las condiciones de humedad de la superficie (SSD).

5.20.8 Control de la planta de producción del CCR

Cuando la planta de producción del CCR este operando, la cantidad de todos los materiales incluyendo cemento, puzolana, agregados, agua y aditivos debe ser continuamente controlada.

Los pesos de los agregados y la cantidad de agua deben compensar la humedad liberada en los agregados y debe ser ajustada si es necesario. Un reporte diario debe ser preparado indicando el tipo de cemento utilizado durante el día, tipos de grupos de agregados, proporcionamientos por metro cúbico de las mezclas requeridas, la cantidad de humedad liberada en cada tamaño de agregado y los pesos de los agregados por metro cúbico para cada diseño de mezcla. El reporte debe incluir la cantidad total de cada material utilizado para cada mezcla.

5.20.9 Escalas (i son usadas) para pesar bachadas

La exactitud de las escalas para el control de los pesos debe ser verificada antes de iniciar las operaciones de colocación del CCR. Se deben revisar dichas escalas cuando menos cada 60 turnos de operación. Se deben realizar dichas pruebas cada vez que se noten variaciones en las propiedades del CCR que pudieran ser resultado de errores en el mezclado. La exactitud de los pesos en el mezclado debe ser verificada frecuentemente durante el inicio de las operaciones.

Cuando la exactitud de los pesos en el mezclado no cumpla con los requerimientos especificados, se debe detener la planta hasta que los ajustes o las reparaciones hayan sido realizadas.

5.20.10 Calibración volumétrica del alimentador

La exactitud del alimentador debe ser verificada para todo el material entregado durante una unidad de tiempo a la mezcladora y también para todo el material que salga de ella. El equipo debe contar con las facilidades para obtener muestras de la planta de CCR. El peso del material correspondiente a un tiempo estándar y los resultados de las proporciones de materiales por m³ debe ser determinado. La exactitud del alimentador debe ser determinada por tres pruebas antes de comenzar la producción y colocación del CCR. Se deben hacer chequeos cuando menos cada 60 turnos de operación o cuando se noten variaciones en las propiedades del CCR que pudieran ser resultados de errores en el alimentador. Las muestras deben tener el tamaño adecuado para hacer las determinaciones, estas pueden ser del orden de 200 kg para cada chequeo.

5.20.11 Pruebas de las mezclas de concreto

Se deben tomar muestras de CCR fresco para probarlas conforme a las Especificaciones de colocación. El Contratista debe tener un método para la obtención de muestras representativas del CCR en la planta, el alimentador y el lugar de colocación.

Una prueba de presentación completa de la mezcladora con tres diferentes bachadas de CCR debe ser hecha para cada mezcla antes de comenzar la producción y colocación del CCR. Pruebas adicionales se deben realizar durante cualquier período con el objeto de ver si es posible reducir el tiempo de mezclado. Cada vez que la mezcladora se detenga debido a fallas, debe ser revisada y hacer los ajustes necesarios.

5.20.12 Temperatura

Cerca del inicio y del final de cada turno, cuando menos una prueba de temperatura debe ser hecha en la planta de mezclado y durante la colocación. El Contratista debe llevar registros de temperatura del aire y del concreto durante el período de curado y aplicar protecciones cuantos se requiera. Los registros de temperatura deben ser incluidos como información estándar obligatoria en los reportes de control de calidad.

5.20.13 Contenido de humedad

Por lo menos una vez cada 4 horas, tanto en la planta mezcladora como en el sitio de colocación, el Contratista debe determinar el contenido de humedad de la mezcla de CCR. Para la determinación de la humedad en el sitio, se debe usar un medidor nuclear, en el modo de transmisión directa, inmediatamente después de la compactación. El vástago debe ser introducido en toda la profundidad de la capa para cada lectura.

El equipo debe ser calibrado contra muestras secas al horno para cada diseño de mezcla utilizada y esta calibración debe ser verificada por lo menos una vez por cada 20 turnos de colocación de CCR. Por lo menos tres ensayos deben efectuarse por cada capa de CCR colocado.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El supervisor de colocación debe vigilar visualmente y en forma continua la efectividad del equipo de compactación, observando si se presenta hundimiento del equipo de compactación en la mezcla, o si hay salida de material cementante en exceso a la superficie, o aparición de superficies no consolidadas, lo cual le permitirá comunicar rápidamente a la planta sobre la llegada de mezcla muy seca o demasiado húmeda.

Siempre que los ensayos de contenido de humedad denoten un cambio significativo respecto a lo establecido en cuanto a las condiciones óptimas de producción y colocación, el Contratista debe efectuar inmediatamente los ajustes en la cantidad de agua adicionada en la planta, para normalizar las condiciones de colocación.

5.20.14 Contenido de cemento

A juicio de la Comisión, El Contratista debe efectuar ensayos para determinar el contenido de cemento de la mezcla. De acuerdo con las instrucciones de la Comisión, las muestras de CCR para la determinación del contenido de cemento, pueden ser tomadas del sitio de colocación y analizadas mediante el método de titulación química con calcio (ASTM C-1078) u otro procedimiento aceptable.

5.20.15 Cilindros de CCR para ensayos

El Contratista debe suministrar los moldes para los cilindros que se utilizarán en las pruebas estándares de que se le practiquen al CCR. Dichos moldes deben ser del tipo rígido, reusable y con revestimientos desechables para conformar el cilindro de CCR. Las medidas de los cilindros serán de 150 mm de diámetro por 300 mm de alto.

El Contratista preparará todos los cilindros de prueba y los transportará a su laboratorio para la realización de las pruebas, las cuales se podrán realizar bajo la supervisión de la Comisión.

Cada cilindro debe conformarse en tres capas, compactando cada una de ellas con el apisonadora neumática con la fuerza de compactación requerida que debe suministrar el Contratista con el resto del equipo de compactación. Asimismo, el Contratista suministrará el aire comprimido que se requiera para la operación adecuada de la apisonadora neumática. El tiempo óptimo de compactación de cada capa se determinará por experimentación entre 20 y 25 segundos. La apisonadora neumática y el suministro de aire comprimido serán por cuenta del Contratista.

El Contratista debe elaborar 21 cilindros representativos de la mezcla de CCR en cada turno o cuando la Comisión se lo solicite, los cuales se ensayarán a los 7, 14, 28, 56, 90, 180 y 360 días, en grupos de tres cilindros (dos a compresión y uno a tensión indirecta).

El Contratista debe proporcionar muestras del CCR que se está colocando, cuando y donde se lo solicite la Comisión. En general, la Comisión hará la solicitud al Contratista con una hora de anticipación al muestreo, el cual hará el Contratista bajo la supervisión de la Comisión. Las muestras generalmente consistirán de 200 a 500 kg de CCR fresco que se haya extendido pero no compactado. El Contratista será responsable de obtener y entregar la muestra en el laboratorio de la Comisión tan pronto como le sea posible dentro de un lapso de tiempo máximo de 10 minutos.

5.20.16 Densidad

Por lo menos una vez cada dos (2) horas durante la colocación, se determinará la compactación del CCR mediante un densímetro nuclear de doble barra, previamente calibrado para cada mezcla utilizada. Por lo menos dos densímetros en buenas condiciones de operación deben estar permanentemente durante todo el tiempo de colocación del CCR. Se debe usar el modo de transmisión directa. El Contratista suministrará y calibrará los aparatos de control, los cuales estarán siempre a disposición de la Comisión para su utilización.

La densidad húmeda de cada capa de CCR será comprobada con el densímetro nuclear por lo menos en seis sitios diferentes de cada capa. Las lecturas serán tomadas en el fondo, en la mitad y aproximadamente siete y medio centímetros bajo la superficie de la capa. A juicio de la Comisión la sonda podrá hincarse a otras profundidades. Antes de tomar las lecturas, el hueco de prueba debe llenarse con lechada.

Siempre que el densímetro nuclear indique una densidad húmeda inferior a la requerida, se debe hacer un nuevo ensayo en las vecindades del anterior; si éste denota compactación incompleta, se deben dar pasadas adicionales con el compactador, de todas maneras, se deben tomar todos los registros necesarios para poder determinar si la falla de compactación se debe a pasadas insuficientes o a cambios en las características de la mezcla. Si las propiedades de la mezcla han variado, se deben determinar exactamente las causas, para efectuar los ajustes necesarios a la misma antes de continuar su producción y colocación. En particular, se debe determinar si se requieren ajustes en la humedad de la mezcla. Si el problema persiste, y si la baja densidad es el resultado de pasadas insuficientes del rodillo, la Comisión exigirá al Contratista, la remoción del material que haya demostrado tener una compactación insuficiente. Si el mismo operador repetidamente emite pasadas del compactador y persiste la baja de densidad del CCR, la Comisión exigirá su inmediato remplazo, sin que esto sea motivo de extensión de plazo o costo extra para la CFE.

5.20.17 Equipo de compactación

Las dimensiones correctas, el peso y la frecuencia de vibración del compactador, debe comprobarse antes de su uso. La frecuencia del compactador debe comprobarse por lo menos una vez cada 12 turnos de uso. En cada turno de colocación, el Contratista hará comprobaciones al azar del número de pasadas del compactador, del cubrimiento correcto del área que se esté compactando y de las buenas prácticas exigidas para la compactación. El resultado de estas comprobaciones debe incluirse en el informe de control de calidad. El equipo de compactación que no cumpla con las dimensiones físicas y pesos especificados debe ser retirado de la Obra.

Si la frecuencia de vibración no es la adecuada, ésta debe corregirse antes de usar el compactador. Si un operador está operando el compactador a velocidad mayor que la especificada o está incurriendo en prácticas no aceptables, éste debe ser notificado. Si la situación se repite, el operador debe ser retirado y reemplazado por otro sin ninguna extensión de plazo o costo extra para la Comisión.

5.20.18 Colocación y extendido del CCR

Las operaciones de colocación y extendido del CCR deben ser observadas continuamente para asegurar que ésta se haga en tal forma que la segregación se reduzca a lo mínimo. La uniformidad horizontal y el espesor de cada capa de CCR deben ser comprobados en forma continua. El espesor de las capas debe ser controlado mediante un rayo laser o nivel óptico, permitiéndose una tolerancia en el espesor de capa de ± 5 mm.

5.20.19 Preparación para la colocación del concreto

Siempre que se vaya a colocar concreto, y para asegurar que el área de colocación este lista para recibirlo, el Contratista debe inspeccionar cuidadosamente la cimentación, las juntas de construcción, los paneles precolados y los elementos que van a quedar embebidos.

5.20.20 Presentación de Informes

Por cada cambio de turno, tanto en la planta de producción de agregados, como en la planta de concreto, el Contratista debe elaborar un informe donde se consignen los resultados de control de calidad enunciados anteriormente.

Los resultados de los ensayos deben incluir todas las pruebas estipuladas y serán suministrados a Comisión dentro de los dos días siguientes a la ejecución de los ensayos.

Dichos informes, elaborados en cada turno, formarán parte de un reporte final de control de calidad que entregará el Contratista a la Comisión inmediatamente después de la terminación de la presa.

5.21 ALCANCE DE LOS TRABAJOS

5.21.1 Generalidades

El alcance de los trabajos consistirá en la ejecución de todo lo necesario para llevar a cabo la construcción de la presa con concreto compactado con rodillo, incluyendo el suministro de todos los materiales, producción, extensión, compactación, instalaciones, equipo, transporte, mano de Obra y todos los demás trabajos relacionados con la misma. A continuación se mencionan algunos de ellos que son complementarios a los indicados en la Sección 8:

- Desvío del río, vaciado del recinto de la cimentación de la presa e instalaciones necesarias para mantener seca dicha cimentación.
- Excavaciones a cielo abierto, preparaciones y tratamientos de la cimentación de la presa.
- Suministro, almacenamiento, instalación y mantenimiento de la instrumentación para la presa.
- Suministro de materiales, elaboración y aplicación de concreto compactado.
- Suministro de materiales, elaboración y colocación de todos los elementos en concreto convencional en la cortina (muros de encauce, parapeto, cimacio,) y concreto dental para la regularización en el desplante de la misma, de acuerdo a está Especificación y lo mostrado en los Planos.
- Suministro e instalación de sellos metálicos o de PVC, en las juntas de la cara de aguas arriba de la cortina.
- Suministro e instalación de barras de anclaje.
- Suministro de acero de refuerzo para los elementos de concreto convencional.
- Limpieza, despalme, excavación, relleno y adecuación de las zonas para el almacenamiento de agregados, en volúmenes acordes con el programa de construcción contractual.
- Limpieza, despalme, excavación, relleno y adecuación de las zonas (plataforma) donde el Contratista instale las plantas de producción de agregados, de producción de CCR y de concreto convencional.
- Construcción de nuevas vías, ejecución de sobre ancho y mejoramiento de vías existentes, de comunicación entre las canteras y de comunicación entre la plataforma de trituración y mezclado y la presa, según las necesidades del Contratista y aceptación de Comisión.
- Suministro y operación de silos para el almacenamiento y manejo de cementos. En caso de requerirse, también se incluirá el suministro y operación de silos para agregados pétreos del CCR.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

- Estudios y ensayos de materiales que el Contratista ejecute de motu proprio para la selección de las canteras, ni por las operaciones de limpieza, despalme y adecuación en las áreas de cantera para la explotación del material para el CCR o concreto convencional.
- Ensayos de control y ajuste de las mezclas durante el período de realización de las Obras y los ensayos adicionales o investigaciones complementarias que sobre las mezclas, sus componentes o comportamiento, según lo solicite la Comisión al Contratista.
- Suministro, instalación, prueba, operación y desmonte final de las plantas de procesamiento de agregados y de producción de mezclas de concreto compactado con rodillo.
- Suministro y operación de las bandas transportadoras y de los vehículos para el transporte de las mezclas de CCR y de concreto convencional.
- Suministro y operación de los equipos para colocación y compactación del CCR.
- Pruebas para demostrar a satisfacción de Comisión, que el equipo que se propone utilizar el Contratista para la colocación del CCR no produce segregación.
- Suministro de tolvas, recipientes de control de caída y cualquier elemento necesario para transferir y manejar las mezclas de CCR, antes de su colocación final sin que ocurra segregación y pérdida de humedad.
- Suministro del equipo y la mano de Obra requeridos para la obtención de muestras representativas de los materiales que se empleen en la producción y colocación de mezclas de CCR, y obtención de cilindros de prueba sobre el concreto colocado para la ejecución de ensayos de calidad.
- Suministro, calibración, operación y mantenimiento de por lo menos dos densímetros nucleares.
- Construcción de juntas verticales en los sitios mostrados en los planos o indicados por CFE.
- Construcción de juntas de tipo I y II de acuerdo con lo descrito en la Especificación, incluye el concreto de liga para el tratamiento de las juntas.
- Suministro, colocación y retiro de la cimbra necesaria para conformar los taludes de la presa.
- Suministro de los equipos necesarios y control de las temperaturas y tiempo de colocación de las capas de CCR.
- Limpieza permanente del talud aguas-abajo de la presa de acuerdo con lo indicado en estas Especificaciones.
- Modificación de los equipos y métodos de construcción que a juicio de Comisión produzcan efectos inadecuados y dañinos a la mezcla de CCR.
- Todos los demás equipos, trabajos y actividades que debe ejecutar el Contratista para cumplir con todo lo especificado en este Capítulo.
- Todas las medidas que adopte el Contratista, previa aceptación de Comisión para proteger las mezclas de CCR durante períodos húmedos y evitar las suspensiones de actividades de colocación de CCR durante la época de invierno o recuperar los atrasos que ocasionen las lluvias; tal como el suministro de la cubierta requerida en estas Especificaciones. Incluyendo la mano de Obra, materiales y equipos necesarios para su instalación y mantenimiento.
- Fabricación, suministro, mano de obra, transporte, y colocación de paneles prefabricados de acuerdo a lo indicado en los Planos.

5.21.2 Requisitos para la aceptación del CCR colocado en la Presa.

Para poder iniciar los trabajos de fabricación, colocación y compactación del Concreto en la presa, el Contratista debe haber realizado con anticipación los siguientes trabajos:

- Limpieza, preparación y tratamiento de las superficies excavadas en las áreas de cimentación de la presa hasta al menos 5 m por encima del nivel de colocación de la capa.
- Ejecución de las inyecciones, según lo especificado.
- Almacenamiento previo de las cantidades de cemento y agregados, de acuerdo con los volúmenes requeridos para cumplir con el programa de construcción contractual.
- Producción, carga, acarreo y almacenamiento para el mantenimiento de la cantidad total de agregados necesarios para suplir la demanda de agregados requeridos durante cuatro (4) semanas continuas de colocación de CCR, a los rendimientos típicos de colocación deducidos del programa de construcción contractual.
- Procesamiento del material que así lo requiera para cumplir con los requisitos de humedad y granulometría establecidos en estas Especificaciones.
- Instalación de la instrumentación requerida en la presa en la etapa de construcción correspondiente de acuerdo con lo indicado por Comisión.
- Toma de muestras y ejecución de los ensayos especificados o solicitado por Comisión para efectuar el control de calidad requerido en el relleno de la presa, incluyendo la toma de núcleos.
- Remoción de concretos deteriorados por efecto de las lluvias o por cualquier otro motivo de responsabilidad del Contratista.
- Corrección a satisfacción de Comisión, de la segregación u otro tipo de anomalía resultante de operaciones de colocación y extensión del CCR.

5.21.3 Concreto de liga

Incluye la preparación de la cimentación de la presa, tratamiento de las juntas cercanas al talud de aguas arriba y la construcción de juntas frías, suministro de la mano de obra, equipos, agregados y cemento; la preparación y colocación de la mezcla, y la limpieza previa de la roca o de CCR en los sitios mostrados en los planos o indicados por Comisión; de acuerdo con estas Especificaciones.

El Contratista debe verificar que la cantidad de concreto de liga indicado en los planos será suficiente para la construcción de la presa, en caso de requerirse una cantidad mayor por causas imputables al Contratista, será con cargo al Contratista.

5.21.4 Concreto compactado con rodillo CCR

El concreto compactado con rodillo será el número de metros cúbicos de material colocado, extendido y compactado satisfactoriamente teniendo en cuenta las líneas teóricas de acuerdo con lo indicado en los planos y lo ordenado por Comisión.

Incluye el suministro del equipo, mano de Obra, materiales, cemento, transporte, elaboración, colocación a la temperatura indicada en ésta Especificación (14 °C a 23 °C), compactación y vibrado del concreto compactado con rodillo, producción y el almacenamiento de los agregados necesarios para la elaboración de la mezcla.

Además debe incluir los ensayos de control y ajuste de las mezclas durante el período de realización de las obras, el suministro de cimbras, toma de muestras para la Comisión y elaboración de juntas verticales de acuerdo con lo especificado, lo mostrado en los planos o lo indicado por Comisión.

5.21.5 Cemento para el CCR

El cemento deberá ser el especificado en proyecto e incluirá el suministro del cemento para el CCR exclusivamente, así como el muestreo, ensayos, transporte, protección y almacenamiento del cemento, de acuerdo con estas Especificaciones.

5.21.6 Bordo de prueba

Consiste en el número de metros cúbicos de CCR colocado, extendido y compactado a entera satisfacción de Comisión y se hará teniendo en cuenta las líneas teóricas de acuerdo con lo indicado en los Planos y lo ordenado por la misma.

Incluye el suministro de equipo, mano de obra, y materiales necesarios para la elaboración, colocación y compactación del CCR en el bordo de prueba, conforme a lo indicado en los planos y lo establecido en estas Especificaciones. El Contratista deberá repetir capas del bordo de prueba que no cumpla con lo especificado por deficiencias en su construcción, las veces que sea necesario sin derecho a reclamación alguna.

5.21.7 Enfriamiento del CCR

El CCR colocado debe cumplir con las temperaturas exigidas por Comisión, entre 14 °C y 23 °C e incluye el suministro del equipo y mano de obra para el enfriamiento del CCR, de tal manera que la máxima temperatura de éste después de extendido, pero antes de compactarlo, cumpla con estos valores.

5.21.8 Concreto convencional para paramentos

Consiste en el concreto convencional, preparado, cimbrado, colocado, y vibrado satisfactoriamente, de acuerdo con estas Especificaciones y se hará teniendo en cuenta lo indicado en los planos y/o lo ordenado por Comisión, incluye también el suministro del equipo, mano de Obra, materiales, el cemento, los aditivos, necesarios para la elaboración, transporte, colocación, compactación y vibrado (con vibradores de inmersión convencionales), del concreto para los paramentos de las estructuras indicadas en los planos. Además debe incluir los ensayos de control y ajuste de la mezcla durante el período de ejecución de las obras, el suministro de cimbras, la toma de muestras para Comisión, de acuerdo con lo especificado, lo mostrado en los planos y/o lo indicado por Comisión.

Anexo 6

PROYECTO SAN RAFAEL, NAYARIT, MEXICO

ESPECIFICACIONES PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

El proyecto de la presa San Rafael se localiza sobre el río Santiago, a 16.8 Km aguas abajo del proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, Su objetivo es el de cambiar el régimen de la descarga de agua de la central, al requerido para el riego de una superficie de 124,100 hectáreas localizadas en las márgenes del río Santiago y el de San Pedro, hasta donde se extenderán los beneficios de la regulación ofrecida por el embalse de Aguamilpa.

1.- Requisitos básicos del CCR

El volumen previsto de CCR que se requerirá es, aproximadamente, de 50,000 m³, para el Proyecto San Rafael. Se considero adecuado fijar la resistencia a compresión del concreto en 100 kg/cm², a 90 días; a los 28 días, se estima se alcanzara 85 kg/cm². El método constructivo seleccionado debe contemplar el tratamiento de juntas frías, para conservar la integridad de la masa CCR., vertical y horizontalmente. La resistencia a compresión del CCR se verificara con pruebas de laboratorio y ensayando núcleos de concreto extraídos de la estructura.

2.-Proporcionamiento y Compactación

Con inspección en la planta de concreto y mediante pruebas de campo, se verificara la composición del concreto; particularmente, el contenido de cemento, como medio básico para juzgar la efectividad de los trabajos de mezclado, transportación y distribución del CCR. Se harán determinaciones de humedad y se ejercerá inspección sobre la segregación y compactación, para verificar su cumplimiento; continuamente se supervisara la limpieza de las superficies donde se depositara el CCR.

Acabado, curado.

Se deberá dar el acabado al CCR en el tiempo previsto en; rayones y daños causados por equipo deberán tratarse como se indican en las especificaciones. Y las superficies de concreto ya compactado deberán mantenerse continuamente húmedas (10 días la ultima capa).

Materiales.

CCR

Para la mezcla de este tipo de concreto se utilizaran: cemento puzolanico toteca IP (Zapolitic); grava-arena en greña del banco San Rafael, pero limitado el tamaño máximo del agregado a 3", limo inorgánico.

Concreto de Liga

En su elaboración se empleara la arena san Rafael y aditivo retardante de fraguado.

Cemento

El contratista suministrara todo el concreto que se utilice en la fabricación de morteros, concretos y lechadas en la obra motivo de este contrato, previa aprobación de la Comisión. El contratista dentro de los precios de fabricación de concreto, mortero y lechadas deberá incluir los costos resultantes de la construcción del almacén y estibado, así como todas las maniobras de descarga de los transportes al almacén y los acarreo necesarios dentro de la obra, hasta su utilización. El cemento se suministrara a granel y el contratista deberá almacenarlos en locales debidamente acondicionados para este fin.

El contratista deberá adoptar las medidas necesarias para evitar la hidratación o contaminación del cemento. El almacenamiento deberá clasificarse 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 limite en la que podrá utilizarse. El tipo de cemento a utilizarse será puzolanico IP Tolteca de la planta Zapotiltic, Jal.

El contratista deberá almacenarlo en silos y estos 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.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

No se emplearán cementos que tengan más de 60 días de la fecha de fabricación, salvo muestreo y nueva aprobación por la CFE así como cemento recién salido de la fábrica, exceptuando aquel que tenga una temperatura menor a los 50 grados centígrados.

El contratista deberá prever sus capacidades de almacenamiento, para contar con una nueva reserva de 15 días de consumo normal de cemento, y en caso contrario será responsabilidad del contratista, la suspensión de los trabajos.

El contratista deberá dar las facilidades al personal de la Comisión para la inspección y muestreo cuando sea requerido.

Para los acarrees de cemento se aplicarán las especificaciones correspondientes a acarrees de materiales, en los cuales estará incluida la carga en las unidades de transporte del contratista, el acarreo total y la descarga en su almacén de la obra, siendo el contratista responsable de la descarga y el manejo del cemento para evitar daños o pérdidas, el cargo por estas operaciones deberá quedar incluido dentro de los precios unitarios de la fabricación y colocación de concreto.

El Contratista deberá someter a la aprobación de la comisión el equipo de transporte que piense usar para el acarreo del cemento, pero esto no lo excluye de la responsabilidad de su manejo.

En caso de que el cemento a granel no sea descargado directamente de los primeros transportes a los sitios impermeables de la planta de mezclado, se llevará del almacenaje intermedio a la planta mezcladora en carros impermeables adecuadamente diseñados, u otros medios de transporte que protegen al cemento contra la acción de la humedad.

Los embarques deberán hacerse bajo la vigilancia de la Comisión.

El sellado de silos en la fuente de provisión y el sellado y resellado en los carros de ferrocarril o cualquier otro medio de transporte, se hará bajo la supervisión de la Comisión.

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.

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

El contratista obtendrá el limo inorgánico para la fabricación de los concretos en la obra de los bancos de préstamo fijados por la CFE y lo suministrará precisamente en el sitio de su utilización.

El contratista, dentro de los precios de fabricación y colocación de concretos, deberá incluir los costos resultantes de las operaciones de almacenaje así como todas las maniobras anexas y acarrees necesarios dentro de la obra, hasta la utilización del limo inorgánico.

El limo inorgánico se suministrará a granel. El contratista deberá almacenarlo en silos y estos deberán estar protegidos contra la intemperie para mantenerlo seco, y equipados con los dispositivos necesarios, de manera que puedan descargarse totalmente.

El contratista deberá prever sus capacidades de almacenamiento para contar con una reserva de 15 días de consumo normal de limo inorgánico y en caso contrario, será responsabilidad del Contratista de la suspensión de los trabajos.

Grava-arena

Para el CCR se utilizarán agregado integral del banco San Rafael. El contratista deberá procesar el material, para limitar el tamaño máximo de piedra a 3". El manejo almacenamiento, y extracción del banco en obra de estos materiales deberán hacerse de manera que se mantengan uniformemente mezcladas la grava y la arena, de modo que durante el desarrollo de los trabajos de CCR. Se conserven los porcentajes relativos de grava y arena. Los resultados de pruebas de granulometría efectuadas en obra a la grava-arena del banco mencionado serán presentados por el contratista a CFE para su aprobación. El contenido de humedad en la grava-arena para fabricar el CCR., no deberá exceder el correspondiente al estado saturado y superficialmente seco + 1%; en particular, se revisará el contenido de humedad de la arena.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El suministro de gravas y arenas agrupara las operaciones que el Contratista deberá efectuar para disponer en el lugar de las obra, de los materiales necesarios para la fabricación de concretos.

Se maneja cuatro tipos de agregados, los cuales se clasificaran como sigue:

GRAVA III

Pasa por la malla 76.2 mm (3”) y se retienen en la de 38.1mm (1 ½”)

GRAVA II pasa por la malla de 38.1 mm (1 ½”) y se retiene en la de 19.1mm. (3/4”).

GRAVA I Pasa por la malla de 19.1mm (3/4”) y se retiene en la No. 4 (4.76mm).

AREANA Pasa por la malla No. 4 (4.76 mm.) y se retiene en la No. 200 (0.074mm).

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

ADITIVOS

El aditivo retardante que se utilice en la elaboración del concreto de liga, deberá satisfacer los requisitos de fraguado y resistencia especificados en ASTM C-494; CFE verificara la calidad del aditivo.

Los aditivos para concreto serán proporcionados por el Contratista y este deberá someter a la aprobación por escrito de la Comisión, muestras de los aditivos a utilizar, cuando menos con dos meses de anticipación a su uso.

Una vez aprobados los tipos y marcas de aditivos, el contratista no podrá sustituirlos sin previa autorización por escrito de la Comisión; cada remesa de aditivos en las obras cuando menos con dos meses de anticipación a su uso.

La curva granulométrica de la arena deberá estar de acuerdo con lo especificado en el manual de concreto.

AGUA

El contratista suministrara el agua para la fabricación del concreto convencional y del CCR. Para efectos de curado de los concretos, deberá utilizar agua limpia, de buena calidad; el contratista deberá presentar a consideración de CFE, para fines de autorización, el agua que pretende utilizar para fabricar concreto y para tratamiento de las superficies de concreto.

MEZCLAS DE CONCRETO Y CONCRETO DE LIGA

Concreto de regularización para desplante de CCR

En caso de requerirse este concreto, la resistencia a compresión será 100 kg/cm² a 28 días; revenimiento 11.0 +- 2 cm; tamaño máximo de agregado 1 ½”. El contratista hará el proporcionamiento correcto.

C.C.R. y concreto de Liga

El contenido de cemento será 100 kg/m³; el contenido de grava-arena, para completar el m³ será, un poco más de 200 kg. El contenido de agua deberá ser tal, que permita alcanzar la compactación máxima del CCR.; se estima se requerirán menos de 100 litros/m³ de agua de mezclado.

Con objeto de que el Contratista norme su criterio, relativo a la magnitud de las cantidades necesarias por suministrarse y manejarse, se da en forma tentativa una dosificación la cual se definirá en la obra, en base a las características de los materiales de que se disponga.

PRORCIONAMIENTO PARA 1 M3 DE CONCRETO RODILLADO

Grava triturada, para f'c=100 kg/cm². A 90 días y tamaño máximo de agregados 76.2mm. (3”)

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

GRAVA 3	398 Kg		
GRAVA 2	366 kg		
GRAVA1	312 kg		
ARENA	1076 kg		
LIMO	100 kg		
AGUA	95 lt		
CEMENTO	100 kg		

GRAVA 2	536 kg		
GRAVA1	312536 kg		
ARENA	1076 kg		
LIMO	120 kg		
AGUA	84 lt		
CEMENTO	120 kg		

Grava triturada, para $f'c=100$ kg/cm². A 90 días y tamaño máximo de agregados 38 mm. (31 1/2")

PLANEACION DE LA CONSTRUCCION

El contratista deberá planear sus actividades de manera que no haya interferencia entre el CCR y otros trabajos. No se admitirán trabajos simultáneos de excavación/preparación de laderas y tendido, distribución o compactación del CCR.

El área de trabajo deberá conservarse limpia: sin lodo, grasas, aceites, etc. Para la construcción de las capas de CCR., el suministro del concreto ya mezclado a las áreas de trabajo deberá hacerse de modo que no se introduzca tierra o lodo y que se satisfagan los tiempos para distribución y compactación.

Antes de iniciar el tendido de la primera capa de CCR.- el contratista debe presentar a CFE la autorización de colado correspondiente, debidamente respaldado por la supervisión.

Deben planearse las actividades para efectuar colados de 55 cm de espesor de capa. No se autorizan colados de franjas aisladas. Continuamente deberán inspeccionarse los vehículos, maquinas y equipo que estén en el área de trabajo, para asegurarse que estos no contaminen al concreto. Además, deberá vigilarse continuamente el equipo para fabricación, mezclado, transporte, distribución, compactación y curado del concreto, para asegurar su buen funcionamiento durante el trabajo; en particular, la mezcladora. Antes de iniciar los trabajos, deberá contarse con cantidades de cemento, grava, arena, grava-arena, limo inorgánico y aditivo retardante equivalente al 40% mínimo de lo que se requiriera para la ejecución de todo el trabajo. Es responsabilidad del contratista producir grava, arena, limo inorgánico y grava-arena en cantidades tales que el avance de construcción del CCR no se vea afectado por falta de suficientes materiales.

Si hay llovizna ligera, podrán continuarse los trabajos de CCR. Si ocurre lluvia franca, deben suspenderse las actividades de CCR; pueden reanudarse cuando la superficie no presente charcos y que hayan transcurrido al menos dos horas desde el término de la lluvia. El CCR que no haya quedado bien compactado debido al exceso de agua, deberá ser removido.

El contratista debe organizarse de modo que exista intercomunicación ágil y oportuna entre la planta, el sitio de colocación, etc. Y planear los cambios de turnos y transferencia de información entre su personal, para mantener continuidad y calidad en los trabajos. Asimismo, para cumplir con las especificaciones de curado descritas en la sección 10-10-00.

En la obra debe siempre estar un ingeniero representante del contratista, capaz de tomar decisiones sobre trabajos a que se refieren estas especificaciones.

Para el mejor desarrollo del trabajo, una breve platica con su personal, para orientarlos sobre la naturaleza, precauciones, etc. del trabajo; en particular del CCR.

FABRICACION Y TRANSPORTE DEL CONCRETO CONVENCIONAL

Para trabajos de regularización de la cimentación y similares deberá ser fabricado en planta y transportado al sitio de colocación, de acuerdo con las especificaciones de proyecto San Rafael. La compactación del concreto para regularizarse (concreto dental, otros) se hará utilizando vibradores de inmersión.

FABRICACION, TRANSPORTE Y COLOCACION 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 constructivos de los concretos, podrá ser modificada por la Comisión 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 determinara sobre la base de obtener concretos que tengan trabajabilidad, manejabilidad, durabilidad adecuada y los pesos volumétricos de proyecto.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

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 cemento es el correcto.

Se obtendrán calas para comprobar la compactación y determinar si el peso volumétrico es el requerido, de acuerdo a lo especificado por la Comisión.

El contratista deberá dar al personal de la comisión todas las facilidades para efectuar el control de la calidad, de acuerdo a lo indicado en las especificaciones, desde la explotación de los bancos de agregados hasta la terminación de las estructuras de concreto.

MEZCLADO

El CCR y el concreto de liga serán elaborados mediante revolvedora de producción continua tipo “pugmill”, para lograr un buen control y uniformidad de concreto, y una producción que garantice la continuidad en la colocación del mismo durante veinte horas diarias y seis días a la semana, para evitar la formación de juntas frías.

TRANSPORTE

Para transportar el CCR 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 la Comisión 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.

COLOCACION

Previo a la colocación del CCR se deberá descubrir 1/3 del tamaño máximo de agregado en las zonas de la superficie de desplante en que se colocó concreto convencional o CCR, así como en las caras de los concretos adyacentes; se humedecerá la superficie y se colocará el concreto de liga con un espesor de 8cm. e inmediatamente el CCR con un espesor de 47 cm. y se procederá a compactar.

Para las capas subsecuentes el CCR se colocará con un espesor de 55cm. 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 por la Comisión, siempre y cuando no dañe la superficie del CCR.

En el caso de suspensión de los trabajos, para reanudarlos se deberá colocar una capa de concreto de liga de 8 cm. de espesor e inmediatamente el CCR con espesor de 47 cm. y se procederá a compactar, debiendo continuarse conforme a lo descrito en el párrafo anterior.

La colocación del CCR y el concreto de liga en el cuerpo de la cortina deberá realizarse en franjas traslapadas entre sí 40cm. 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 equipos que circulen sobre la superficie del CCR o concreto de liga tengan adheridas partículas de suelo o partículas de concreto, que puedan contaminar dicha superficie. En caso de que esto ocurra deberá limpiarse la superficie de contacto y restaurarse con concreto de liga; si se requieren, estas operaciones serán por cuenta del contratista.

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

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

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

El incremento de materiales imputables al contratista se consideraran como relleno de sobre excavación y será por cuenta del mismo.

Todos los equipos y procedimientos para la colocación del concreto serán sometidos a la aprobación de la comisión.

INTERVALO DE TIEMPO ENTRE MEZCLADO Y COLOCACION

Los concretos se colocaran dentro de los 90 minutos siguientes al mezclado.

TEMPERATURA DE COLOCACION

Nose 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 emplearan medios efectivos, tales como regado de agregado, enfriamiento del agua de mezclado, y otros medios apropiados para abatir la temperatura del concreto.

REQUISITOS PARA COLADO. DISTRIBUCION Y COMPACTACION.

Para el concreto de regularización de la cimentación y otros convencionales, los requisitos para autorización de colado son los incluidos en las especificaciones del proyecto San Rafael. La máxima altura de alzada de colados de estos concretos será 3.0 m; y la distribución y compactación del concreto deberán evitar la segregación de los materiales. El tiempo de espera entre otros colados masivos (mayor de 3.0 m de espesor mínimo) será 48 horas.

Requisitos para la autorización de colado CCR

En caso de concreto de regularización de la cimentación deberá tener al menos siete días de edad, para permitir el transito de vehículos para iniciar el CCR. Para autorización de colados de CCR. Serequerirá satisfacer los requisitos generales aplicables a los concretos del proyecto; además, deberán cumplirse los requisitos que se describen a continuación. Para recibir la primera capa de CCR., y cuando se presenten juntas frías, sobre la superficie rugosa y limpia deberá tenerse una capa de concreto de liga de 8. +- 1 cm de espesor. Si ocurrió lluvia, la superficie deberá estar sin charcos. Deberán estar listos, y en buen funcionamiento, los equipos para dosificación, mezclado, transportación, distribución, compactación y curado del concreto.

Distribución y compactación del CCR.

El tiempo transcurrido desde la elaboración del concreto hasta que ha terminado su compactación, no deberá exceder 60 minutos. La distribución del material, así como su compactación, deberán hacerse en el sentido transversal al flujo del agua del rio. El equipo y procedimiento seleccionado para la distribución del CCR en el sitio deberá ser tipo bulldozer de orugas, tal que pueda manejar el volumen de producción previsto y que no provoque segregación ni contaminación del concreto. El espesor de las capas individuales de CCR., antes de compactar, será de 55 cm aprox. La compactación, en general, se efectuara con rodillo liso vibratorio, de 10 ton de peso, 25 Dynapac o similar; el contratista presentara a la CFE los resultados que muestran el número de pasadas requeridas por el rodillo para lograr el peso volumétrico máximo compactado en el laboratorio. Lo anterior implica la construcción de terraplenes de prueba. Cerca de las laderas y en aquellos otros lugares donde no pueda acercarse el rodillo vibratorio, la compactación se hará utilizando compactadores neumáticos o rodillos lisos de los utilizados para compactación de pavimentos, o bien el contratista propondrá a CFE algún otro método y/o equipo para compactación del concreto en estas zonas. El mezclado, colocación, distribución y compactación del CCR deberán hacerse y organizarse de tal manera que entre concretos contiguos el tiempo máximo transcurrido para terminar de compactar (ligar) la unión concreto compactado-concreto suelto, no exceda 120 minutos, contados a partir de la hora en que fue elaborado el primero

Para facilitar el drenado del área de trabajo, después de una lluvia, conviene que la capa compactada tenga una ligera pendiente, hacia aguas abajo.

FORMAS PREFABRICADAS DE CONCRETO CONVENCIONAL PARA EL PARAMENTO DE AGUAS ARRIBA Y PARTE VERTICAL DEL PARAMENTO DE AGUAS DEBAJO DE LA CORTINA.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Se entenderá por la fabricación y colocación de formas prefabricadas de concreto convencional a la fabricación de las formas y su colocación en el paramento de aguas arriba y parte vertical del paramento de aguas debajo de la sección de gravedad.

Los agregados pétreos, el cemento, el agua y el acero de refuerzo los suministrara el Contratista y sus costos de obtención, acarreos, sobreacarreos, almacenamiento y las operaciones inherentes a su uso en los concretos, deberán quedar incluidos en el precio del concreto compactado.

Para integrar el precio unitario de la fabricación y colocación de las formas, el contratista incluirá el manejo adecuado y transportación del cemento desde su bodega hasta el sitio de la dosificación incluyendo las mermas normales.

También se incluirán en el precio unitario de este concepto el acondicionamiento, desperdicios, suministros y fabricación de formas, su colocación y todas las operaciones de preparación, fabricación, enfriado o calentado, transporte, colocación y compactación del concreto. Las operaciones y suministros de materiales para la reparación, resanado, curado, protección y conservación de las formas, así como todos los gastos que incidan para la realización de este concepto.

Los moldes para la fabricación de las formas deberán ser metálicos según señalado en los planos de proyecto y/o lo que indique la Comisión, los costos derivados del suministro de estos moldes estarán incluidos en el precio unitario de la fabricación de las formas.

El acero que se utilizara para el armado de las formas será como indique en los planos de proyecto y/o lo que ordene la comisión, debiendo estar incluido el costo de su colocación dentro del precio unitario de formas prefabricadas de concreto convencional.

El contratista deberá disponer en la obra de un mínimo de 30% del total de las formas prefabricadas requeridas y se deberá tener el 40% de los materiales (agregados, Cemento, aditivos, etc.) para cubrir los requerimientos de la obra, antes de iniciar la construcción de la cortina.

JUNTAS FRIAS

Se consideran juntas frías en el CCR cuando:

- A) Entre capas horizontales, el tiempo transcurrido entre ambas capas exceda 6 hrs durante el Día o 10 hrs en la Noche.
- B) Entre concretos contiguos de una misma capa, según se describe en la sección 10.07.00, o hayan pasado mas de 90 minutos.

En el caso a), se deberá limpiar con chiflón aire-agua la superficie del concreto y, precediendo al tendido del CCR., colar un concreto de liga de 8. +- 1.0 cm. de espesor. Cuando la junta fría ocurra en el mismo plano horizontal, o sea el caso b), se deberá retirar todo el material suelto en el borde de la capa ya compactada, sopletear con agua- aire y sobre esta superficie inclinada, que será la unión concreto viejo- concreto nuevo, colocar suficiente concreto, pero no menos de 8. Cm, para cubrir el borde inclinado rugoso y que sirva de colchón de asiento y adherencia al concreto.

TRATAMIENTO DE LAS LADERAS

La roca de las laderas deberá inspeccionarse cuidadosamente antes de iniciar los trabajos de CCR. El contratista deberá remover el material suelto y dejar limpias las superficies para recibir al CCR. En el caso d que se presentaran cavernas o huecos grandes, estos deberán ser preparados para colado y rellenados con el concreto 100 kg/cm² descrito en la sección 10.03.00 y para continuar posteriormente con el CCR., deberá tratarse la superficie del concreto, dejando expuesto el agregado. La roca de los taludes deberá estar limpia, y sin materiales sueltos, para recibir directamente al concreto de regularización.

CURADO DE CONCRETO

El CCR y concreto de liga deberán curarse continuamente durante el desarrollo de los trabajos de construcción. La última capa de CCR deberá curarse por espacio de 28 días.

Para el curado de los concretos solo se utilizara agua limpia o arena húmeda, autorizada por la CFE. El mojado/humedecimiento de las superficies coladas y compactadas deberá iniciarse a la brevedad posible, pero no mayor de 2 horas y de manera que NO cause daño al concreto, por la altura de caída del agua, por el volumen de agua, etc. En ningún caso se aceptara utilizar membrana de curado para concreto compactado. Para continuar colados de CCR, la superficie deberá estar libre de charcos, pero húmeda, dos horas antes de iniciar el tendido del material.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

El contratista tendrá 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.

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.

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

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

REPARACIONES

Cuando por alguna razón se cause daño a la superficie de concreto compactado y el grado de avance del fraguado en el concreto sea tal que resulte dudosa la reintegración y compactación de ese concreto, la zona de concreto dañado deberá removerse, formando caja, y ser posteriormente laterales de esta caja se deberá colocar mortero de liga, para recibir al CCR. Las líneas que forman la caja deberán ser, siempre que sea adecuado, unas paralelas y otras perpendiculares al flujo del agua del río.

BORDO DE PRUEBA

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

LONGITUD 24m.

ANCHO DE CORONA: dos veces el ancho del rodillo que se utilizara en la construcción de la Presa con traslape de aproximadamente, 40 cm.

ALTURA: La correspondiente a la colocación y compactación de 10 capas, de 55 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.

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 la Comisión. Siempre aguas debajo de la cortina.

MATERIALES: Los materiales serán los mismos que se utilizaran 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 limpieza 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 emplearan en la construcción de la cortina, la forma se manufacturaran previamente y se les dará el tiempo necesario para alcanzar la resistencia de proyecto. La forma se colocara conforme avance la construcción y se colocara concreto convencional de $f'c=100$ kg/cm². 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, las cuales se compactaran con 2,4 y 6 pasadas respectivamente, con rodillo liso vibratorio autopropulsado, de 10 toneladas de peso. El concreto será elaborado utilizando el método propuesto por el contratista para la construcción de la cortina, pudiendo modificarse o rechazarse si a criterio de la Comisión no cumple con las características deseadas. El material será transportado y colocado con el equipo propuesto por el contratista para los trabajos en la cortina, formando capas de 55 cm de espesor de material suelto.

Compactación

La compactación será de dos tipos:

.-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 efectuaran reparaciones mediante equipo de menor tamaño o de operación manual, mismo que será empleado para la construcción de la Presa y sujeto a la aprobación de la Comisión durante la construcción del bordo.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Se colocara 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 del CCR.

Se colocaran las cuatro primeras capas del CCR de tal forma que el proceso sea continuo. La superficie del CCR se curara 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 curara durante veinticuatro horas, antes de colocar la siguiente capa.

La formación de la octava capa se efectuara colocando una capa de concreto de liga de 8 (ocho) cm de espesor e inmediatamente una capa de CCR de 47 (cuarenta y siete) cm y se procederá a compactar. Las siguientes dos capas se colocaran de tal forma que entre estas últimas no se formen juntas frías.

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

Entre capa y capa, la Compañía contratista dará las facilidades necesarias para obtener calas; con objeto de comprobar la compactación y determinar el peso volumétrico.

Obtención de Núcleos: El contratista dará todas las facilidades para la obtención de núcleos de concreto en el bordo de prueba.

Resultados: Con los resultados obtenidos del bordo de prueba se podra:

- 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.

Todas las erogaciones que el Contratista deba efectuar para la construcción de este bordo de prueba quedaran incluidas en el precio unitario del concepto de trabajo de fabricación y colocación del concreto compactado con rodillo.

TRAMOS DE PRUEBA

El contratista podrá efectuar colados de prueba que puedan hacerse directamente sobre la presa, previa autorización de CFE. Antes del inicio de estos colados, el contratista debe haber determinado el tiempo de mezclado requerido para producir mezclas homogéneas de CCR., y haber descrito a CFE, en detalle, el equipo y procedimientos que utilizara para la construcción de la presa, en base a los resultados obtenidos en el bordo de prueba.

ENSAYE EN CAMPO Y EN LABORATORIO

Las pruebas básicas que el contratista deberá efectuar en el campo al CCR, incluyen: determinación de la composición del concreto, por deshidratación con alcohol; determinación de la humedad y peso volumétrico del concreto compactado; permeabilidad, Además, del CCR tierno, sin compactar, se tomara muestras para la elaboración de cilindros (30 cm de diámetro, 45 cm de altura; 15 cm de diámetro, 30 cm de altura cribados por malla de 1 ½”) de prueba con los cuales se determinara la resistencia a compresión, a tensión y módulos de elasticidad. Como respaldo adicional, el contratista continuamente deberá efectuar pruebas a los agregados para el CCR, incluyendo humedad. También deberá efectuar extracciones de núcleos de CCR, para determinar resistencia a compresión y a tensión, módulos de elasticidad, segregación y adherencia entre capas del concreto compactado.

PAGO

Para fines de estimaciones y pago se medirán los volúmenes reales colocados a entera satisfacción de la Comisión, tomando como unidad el metro cubico con la aproximación de un decimal, incluye todos los materiales (cemento, aditivos, etc.) mano de obra, formas prefabricadas, equipo y herramientas necesarios para la extracción y procesamiento de los agregados, acarreo total y desperdicio, agua, manejo, acarreo del cemento y aditivos; tramos y bordos de prueba, la dosificación y fabricación del concreto y sus acarreo total, hasta los sitios de su colocación así como la preparación y limpieza de la superficies de colado, preparación de las juntas de construcción y control, colocación del concreto a cualquier altura, compactado con rodillo, curado, desperdicios y en general todo lo necesario para dejar terminado el trabajo a entera satisfacción de la comisión

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Se deberá colocar el CCR procurando no generar montículos mayores de 60 cm (aproximadamente) para que el equipo de tendido realice el mínimo número de maniobras para tender el material en un espesor tal que garantice que ya compactado el CCR quede una capa con espesor de 30 cm. Se deberá colocar el CCR de modo que cualquier equipo que este trabajando en el recinto de la presa no transite sobre concretos de liga o capas recién compactadas, salvo que por espacios no se pueda evitar esta acción.

Como ayuda para el operador de la maquinaria de tendido se puede colocar marcas guías de niveles con pintura a los que deberá dejar el espesor de capa para minimizar el tiempo de esta acción y una nivelación mas uniforme.

En esta etapa se requiere de un ingeniero que revise que al ir colocando y tendiendo el CCR no queden zonas de segregación tanto en el interior de capa como en su perímetro, si esto sucediera deberá de contar con trabajadores de apoyo para que con herramienta menor, generalmente palas, levanten todo el material grueso segregado y lo incorporen a la franja extendida sin acumular este material en una zona, según él les indique.

La información necesaria que se deberá recavar en esta parte del proceso es la ubicación del CCR a través de coordenadas o croquis, añadiendo los tiempos en que se tarda en colocar y extender cada franja que se compacte.

Para la recavación de la información se pueden usar tablas como las que se presentan a continuación.

		Fecha			Turno		Nivel Capa	Capa No		Planta:									
		d	m	a	Diurno	Nocturno		De	A										
Franja transversal CCR		Coordenadas								Tiempo colocacion (hora)		Condiciones ambientales durante colocacion CCR		Temperatura colocacion (oC)		Tiempo de Compactacion CCR (hora)			
No	Ancho (m)	X = Distancia a la junta central Y = Cadenamientos								CCR		Temperatura ambiente (oC)	Velocidad viento (km/h)	CCR	Concreto	Inicio	Fin	No. De Pasadas	
		X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	Inicio	Fin								

Como se observa en las tablas anteriores es importante tomar datos de las condiciones climatológicas del ambiente y temperaturas del concreto.

CONTROL DE LA COMPACTACION DEL CCR EN EL RECINTO DE LA PRESA O BORDO DE PRUEBA.

Una vez que se tiene extendido y evitada la segregación en el CCR se procederá por parte del ingeniero encargado de esta operación de dar la orden a los operarios de la maquinaria de compactación (vibro compactadores) que inicien con esta actividad, indicándoles el número de pasadas por franja compactada (según diámetro de equipo) y la velocidad de operación según proyecto. Es importante no dejar a juicio de los operarios de equipo de compactación la velocidad y revisar que si estén dando el número de pasadas establecida en modo vibratorio ya que de esto en gran medida depende que el CCR alcance su grado de compactación y su densidad mínima aceptable.

El ingeniero encargado de coordinar esta operación deberá de anticiparse a la necesidad de utilizar otros equipos de compactación como vibro compactadores mas pequeños para usarlos en zonas donde el mas grande no puede entrar a compactar por falta de espacio y en zonas mas reducidas deberá de dar la orden de compactar con bailarinas o placas vibratorias, asegurándose que se realice adecuadamente y en tiempos necesarios para que el CCR alcance su densidad mínima aceptable.

Generalmente una mezcla de CCR tiene un tiempo aproximado de 40 a 45 minutos desde que se fabrica hasta que se compacta y revisa su densidad, por lo cual en cada uno de los procesos antes mencionados se deberán de controlar al máximo los tiempos y no consumir estos 40 minutos ya que si después de revisar la densidad de una capa no alcanza esta su densidad mínima se tenga tiempo para dar mas pasadas de compactación, con el fin de aumentar mas su densidad y hacer que cumpla.

Una vez que se termina la compactación se deberá de revisar la densidad obtenida del CCR, utilizando un densímetro nuclear de doble sonda previamente calibrado para la mezcla de diseño final. La medición de la densidad de cada capa compactada se realizara tomando tres lecturas en un punto especificado por el laboratorio a distintas profundidades (superficie de capa, aproximadamente 5 cm. de la superficie, a mitad de capa y en el fondo de capa). Se deberán de realizar mediciones o sondeos a cada 200 m² ó 5 sondeos por. Verificación de pruebas (retest) en caso de que el densímetro marque bajas densidades, si el tiempo lo permite se podrá dar mas compactación al CCR con el fin de aumentar su densidad y se verificara nuevamente, si la capa aumenta su densidad satisfactoriamente la operación termina y en caso de continuar bajas densidades se deberá delimitar el área y retirarse lo mas pronto posible para facilitar y

La información que se requiere recavar en esta parte del proceso se incluye en las tablas mostradas en el punto anterior.

“El concreto compactado con rodillo y sus aplicaciones: caso Presa El Realito ”

Al final de la jornada se puede presentar un reporte general de las actividades, complementario a la información ya recavada en cada parte del proceso en las tablas de registros ya mencionadas, un registro de este tipo se presenta a continuación.

REPORTES DIARIO DE ACTIVIDADES PRESA ANATA		Concretos.																																													
Fecha: _____ Área: _____		No. Remisión	Unidad No.	f _c (kg/cm ²)	Cantidad (m ³)	Característica	Notas	Pruebas																																							
<input checked="" type="checkbox"/> Maquinaria y Equipo.																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Maquinaria</th> <th style="text-align: center;">Trabajo</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">SI</th> <th style="text-align: center;">No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Retroexcavadora CAT 416 D # 62</td><td></td></tr> <tr><td>Retroexcavadora John Deere 310 G (P130)</td><td></td></tr> <tr><td>Retroexcavadora John Deere 310 G (P131)</td><td></td></tr> <tr><td>Vibrocompactador CAT CS 563 D # 116</td><td></td></tr> <tr><td>Cargador Frontal 980 G # 86</td><td></td></tr> <tr><td>Rodillo CAT CB 214 D # 82</td><td></td></tr> <tr><td>Rodillo CAT CB 214 D (G141)</td><td></td></tr> <tr><td>Doel Track CAT 277 # 95</td><td></td></tr> <tr><td>Bob CAT 262 # 23</td><td></td></tr> <tr><td>Bob CAT 296</td><td></td></tr> <tr><td>Excavadora CAT 330 B # 48</td><td></td></tr> <tr><td>Grúa Titan National Series 300 # 89</td><td></td></tr> <tr><td>Grúa LORAIN # 88</td><td></td></tr> <tr><td>Grúa LORAIN # 87</td><td></td></tr> <tr><td>Bomba de Concreto # 93</td><td></td></tr> <tr><td>Bomba de Concreto MAYCO ST - 70</td><td></td></tr> <tr><td>Pipa # 108</td><td></td></tr> <tr><td>Pipa # 122</td><td></td></tr> </tbody> </table>		Maquinaria	Trabajo	SI	No.	Retroexcavadora CAT 416 D # 62		Retroexcavadora John Deere 310 G (P130)		Retroexcavadora John Deere 310 G (P131)		Vibrocompactador CAT CS 563 D # 116		Cargador Frontal 980 G # 86		Rodillo CAT CB 214 D # 82		Rodillo CAT CB 214 D (G141)		Doel Track CAT 277 # 95		Bob CAT 262 # 23		Bob CAT 296		Excavadora CAT 330 B # 48		Grúa Titan National Series 300 # 89		Grúa LORAIN # 88		Grúa LORAIN # 87		Bomba de Concreto # 93		Bomba de Concreto MAYCO ST - 70		Pipa # 108		Pipa # 122							
Maquinaria	Trabajo																																														
SI	No.																																														
Retroexcavadora CAT 416 D # 62																																															
Retroexcavadora John Deere 310 G (P130)																																															
Retroexcavadora John Deere 310 G (P131)																																															
Vibrocompactador CAT CS 563 D # 116																																															
Cargador Frontal 980 G # 86																																															
Rodillo CAT CB 214 D # 82																																															
Rodillo CAT CB 214 D (G141)																																															
Doel Track CAT 277 # 95																																															
Bob CAT 262 # 23																																															
Bob CAT 296																																															
Excavadora CAT 330 B # 48																																															
Grúa Titan National Series 300 # 89																																															
Grúa LORAIN # 88																																															
Grúa LORAIN # 87																																															
Bomba de Concreto # 93																																															
Bomba de Concreto MAYCO ST - 70																																															
Pipa # 108																																															
Pipa # 122																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Residente de colocación</td></tr> <tr><td>Mayordomos</td></tr> <tr><td>Cabos</td></tr> <tr><td>Ayudantes en trabajos generales</td></tr> <tr><td>Topógrafos</td></tr> <tr><td>Ayudante de Topógrafo</td></tr> <tr><td>Soldador</td></tr> <tr><td>Ayudante de Soldador</td></tr> <tr><td>Electricista</td></tr> <tr><td>Ayudante de Electricista</td></tr> <tr><td>Bandereros</td></tr> <tr><td>Seguridad</td></tr> </tbody> </table>		No.	Residente de colocación	Mayordomos	Cabos	Ayudantes en trabajos generales	Topógrafos	Ayudante de Topógrafo	Soldador	Ayudante de Soldador	Electricista	Ayudante de Electricista	Bandereros	Seguridad																																	
No.																																															
Residente de colocación																																															
Mayordomos																																															
Cabos																																															
Ayudantes en trabajos generales																																															
Topógrafos																																															
Ayudante de Topógrafo																																															
Soldador																																															
Ayudante de Soldador																																															
Electricista																																															
Ayudante de Electricista																																															
Bandereros																																															
Seguridad																																															
<input checked="" type="checkbox"/> Producción de Planta de Pavimentos Obras Industriales.																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Hora de Inicio</th> <th style="text-align: center;">Hora de Paro Final</th> <th style="text-align: center;">Producción Final</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		Hora de Inicio	Hora de Paro Final	Producción Final																																											
Hora de Inicio	Hora de Paro Final	Producción Final																																													

CONTROL DEL CURADO DEL CCR

Una vez que se termina el ciclo del CCR y ya se compacto satisfactoriamente debe de iniciar el curado del mismo a través de un riego de aspersión en forma de rocío sobre las capas frescas recién compactadas y deberá de tenerse siempre la superficie de capa húmeda hasta el momento que se coloque otra capa encima de esta. Para este trabajo se requiere capacitar personal y garantizar que las 24 horas del día se realice el curado para que el concreto obtenga la resistencia requerida de proyecto.

Para el control de todo el proceso descrito el constructor deberá de contar con personal calificado en CCR y el personal mínimo que se requiere se enlista a continuación:

En la fabricación de concretos convencionales en planta se requiere de un ingeniero para producción de concreto de liga coordinado con jefe de esta planta, planta de CCR y colocación en el recinto de la presa o bordo de prueba. Este ingeniero puede requerir de auxiliar para checar remisiones, destino de cada concreto y medición de tiempos.

En la planta de CCR se requiere de un ingeniero coordinado con el de la planta de concreto convencional, con jefe de planta para verificar condiciones de la misma y con el de colocación. Un auxiliar checador para tiempos de carga y descarga a la salida de la planta; otro auxiliar checador para recibir camiones en la tolva de almacenamiento temporal (augermax) y terminar de anotar los tiempos para completar el ciclo.

En el transporte se deberá de revisar periódicamente que los caminos utilizados para este acarreo estén en buenas condiciones, este trabajo lo puede realizar el propio personal de planta de CCR.

En la colocación y extendido se requiere de un Ingeniero encargado de colocación, coordinado con los ingenieros de plantas de producción para planear los sitios de tiro y el avance diario estimado. Un cabo de colocación para dirigir maniobras de personal y equipo. Un auxiliar checador de tiempo de colocación, tendido y compactado registrando el control del ciclo de tiempos. Se requiere de una brigada de limpieza con aproximadamente 10 personas coordinadas por el ingeniero encargado de la colocación. También se requiere de una brigada con aproximadamente 3 personas en la colocación o generación de juntas y anclas de paneles prefabricados. Una brigada con aproximadamente 5 personas para control de segregación en el tendido de CCR. Una brigada con aproximadamente 5 personas para la colocación de concretos convencionales. Una brigada con aproximadamente 3 personas para asegurar el curado permanente por jornada de trabajo.

Y para trabajos en general de composturas, mantenimientos, etc. dentro del recinto de la presa se requiere de soldadores para soportes de bandas, electricistas para revisión de línea de energía de bandas, vibradores eléctricos de concreto, iluminación general de la presa. Mecánicos para mantenimientos de equipo y maquinaria.