

Nº 86
2AV.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA DE
CONCRETO COMPACTADO Y RODILLADO DE
LA PRESA TRIGOMIL

T E S I S
Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL
presenta
ALFREDO MUÑOZ HERNANDEZ

México, D. F.

ENERO 1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	Pags.
1) INTRODUCCION	1
1.1) UBICACION	1
1.2) IMPORTANCIA DEL PROYECTO	1
1.3) DESCRIPCION Y CARACTERISTICA DE LAS PARTES DE LA OBRA	2
2) EL CONCRETO RODILLADO Y COMPACTADO	14
2.1) INTRODUCCION AL CCR	14
2.2) CARACTERISTICAS	15
2.3) DOSIFICACION	17
2.3.1) DISEÑO	17
2.3.2) TIPOS DE CCR	20
2.3.3) PROPORCIONAMIENTO	21
2.3.4) CONSISTENCIA	24
2.4) FABRICACION	24
2.4.1) MAQUINARIA	24
2.4.2) MANEJO DEL CCR FRESCO	26
2.4.3) CURADO	28
2.5) PROPIEDADES Y CONTROL	28
2.5.1) PRUEBAS	31
2.5.2) CONCRETO ENDURECIDO	32
2.5.3) PERMEABILIDAD	33
2.6) APLICACION EN PRESAS	36
2.6.1) PRESAS EN MEXICO	40
2.7) APLICACION EN PAVIMENTOS	43
2.7.1) PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	43

2.7.2) AGRIETAMIENTO	44
2.8) COSTO	47
3) PLANEACION GENERAL DE LA OBRA	48
3.1) SECUENCIAS DE CONSTRUCCION	48
4) <u>CONSTRUCCION CORTINA DE CONCRETO COMPACTADO Y RODILLADO</u>	
4.1) INSTALACION Y MANEJO DE MATERIALES	57
4.2) PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA LA CORTINA DE CCR	68
5) CONCLUSIONES.	80
REFERENCIAS	92

CAPITULO 1 INTRODUCCION

1) INTRODUCCION

Atendiendo a las necesidades cada vez mayores del sector agrícola, la Comisión Nacional del Agua y Recursos Hidráulicos ha proyectado una presa de almacenamiento de agua, en el estado de Jalisco, a la cual se le ha denominado como "PRESA TRIGOMIL".

1.1) UBICACION

El proyecto Trigomil está localizado a unos 2 kms. aproximadamente, aguas abajo del poblado llamado Trigomil, sobre el río Ayuquila, que pertenece al sistema "Ayutla - Ayuquila- San Pedro" y que es afluente del río Armería que cruza hasta el estado de Colima.

1.2) IMPORTANCIA DEL PROYECTO

Este proyecto será el primero en importancia que se construya en el país con el novedoso procedimiento constructivo "CONCRETO RODILLADO Y COMPACTADO". Este procedimiento ha sido utilizado en otras partes del mundo con magníficos resultados tanto en lo económico como en la rapidez de su construcción.

Debemos hacer notar que este proyecto es de gran importancia por ser una de las cortinas más altas del mundo en su tipo.

1.3) DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS DE LAS PARTES DE LA OBRA

Esta presa se compone de las siguientes estructuras:Obra de toma provisional, Obra de desvío, Obra de toma definitiva, la cortina y el Vertedor de excedencias .

DATOS PRICIPALES DE PROYECTO:

Altura de la cortina	100 mts.
Longitud de la corona	270 mts.
Ancho de la base	88 mts.
Ancho de la corona	5 mts.
Longitud de la cresta vertedora	75 mts.
Gasto de diseño del vertedor	4600 m3/s.

Obras preliminares a la construcción.

EXCAVACION DE GLORIETA : Consiste en una excavación en la margen izquierda, de 25m. de ancho, 30 m. de largo, y una altura de 40 m. Aproximadamente con un volumen de 30,000 m3, para el monumento, mirador-estacionamiento. Ilustraciones 1 y 2. Que se presentan a continuación.

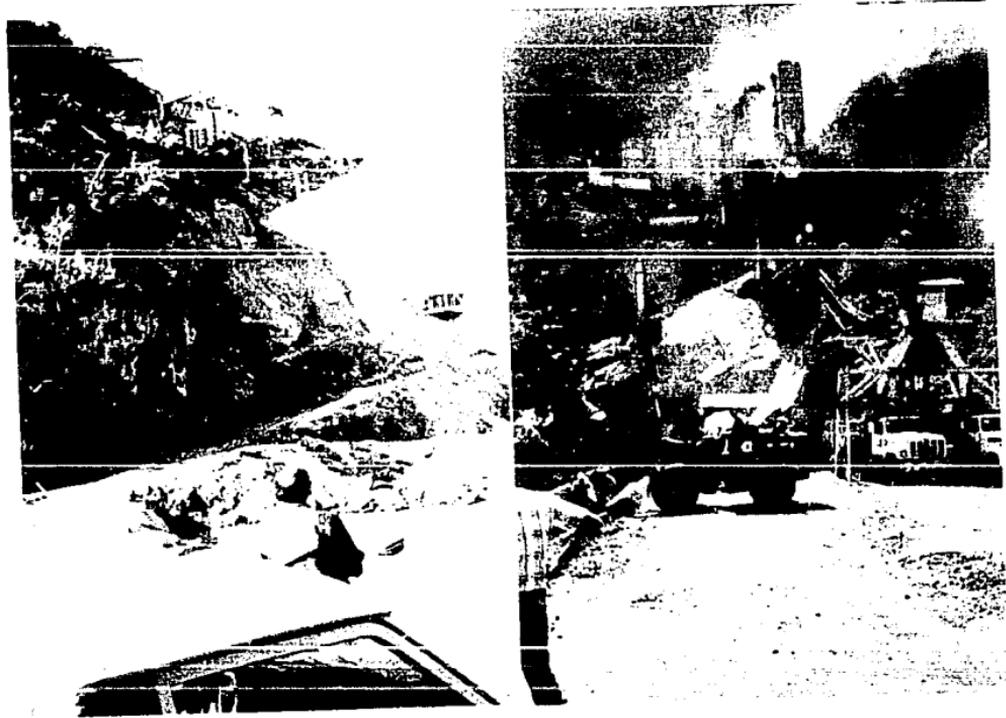


fig.1

fig.2

fig.1 Ubicación de la glorieta al a margen izquierda de la cortina en TRIGOMIL.

fig.2 Vista de frente a la glorieta, ahora ya ocupada por las instalaciones de fabricación de CCR.

GALERIAS DE EXPLORACION, INSPECCION Y TRATAMIENTOS: Se hicieron seis galerías en las laderas, que son excavadas en roca con diametro de 3.20m. en la sección del portal y longitud de 5m. cada una, para la exploración y hacer tratamientos de inyección en las laderas, para posteriormente revestirlas de concreto, las cuales también se utilizarán para inspección de filtraciones; el volumen aproximado de excavación será de: 2,675 m³. figs.3 y 4.



fig. 3 Vista panorámica de una de las seis galerías de exploración



fig.4 Galería de ins-
pección revesti-
da de concreto.

OBRA DE TOMA PROVISIONAL :

Contiene una obra de toma provisional, ubicada sobre la roca de la margen derecha del río y consiste en un cajón de concreto convencional que atraviesa todo el cuerpo de la cortina, de 3.5 mts. de ancho y 3.5 mts. de alto. Este cajón servirá como desvío del río provisionalmente, mientras se hace el definitivo. Después se instalará una tubería de 1.54 mts. de diámetro con sus respectivas válvulas y

rejillas en la zona dentro del cajón y relleno con concreto para empacar la tubería de acero y funcionar como una obra de toma provisional, durante la construcción. fig. 5 y 6. Ilustran la obra de toma provisional y los restos de una de la primeras ataguías usada para el desvío provisional.

fig.5

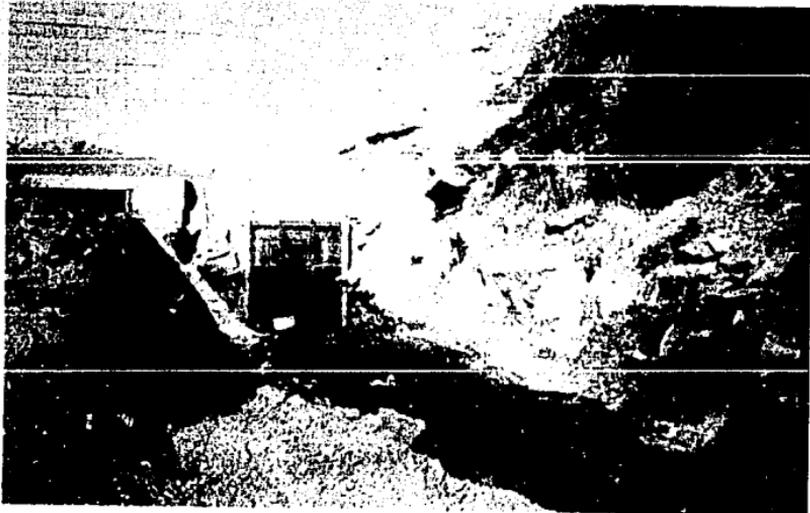


fig.6



ATAGUIAS:

Se construirán dos ataguías para el primer desvío del río por la obra de toma provisional, una aguas arriba y una aguas abajo para poder limpiar el cauce del río y construir la estructura de desvío

Después se retiran para encauzar el río por dicha estructura de desvío.

Al final de la obra, se vuelven a construir otras dos ataguías, aguas arriba y aguas abajo, para desviar el río nuevamente por la toma provisional, para colar el tapón de concreto del propio desvío y así sellar la cortina.

Las dimensiones de estas ataguías serán aproximadamente para la de aguas arriba 40 metros de longitud, un ancho medio de 15 metros y una altura de 7 metros y para la de aguas abajo, 25 metros de longitud, ancho medio de 12 metros y altura de 3 metros.

Los materiales que se utilizarán para estas ataguías serán arcilla y protección de roca de desperdicios y limpieza de los taludes con un volúmen aproximado de 15,000 m³.

DESVIO:

Es una estructura de concreto convencional en el desplante de la cortina que forma un cajón de 15 mts. de ancho por 8 mts. de altura atravesando todo el cuerpo de la cortina, por donde

circulará el río durante todo el tiempo de construcción de la presa. Contiene la losa de desplante, los muros laterales, dos muros columna centrales que dividen el claro en tres partes iguales y una losa armada en el techo. Los volúmenes principales de esta obra son:

Excavación en roca	3,200 m ³
Concreto en losa inferior	4,910 m ³
Concreto en muros	3,415 m ³
Concreto en columna	685 m ³
Concreto en losa superior	640 m ³
Acero de refuerzo	155 m ³

fig. 7 Cajón de desvío, vista desde aguas arriba.



Vertedor:

Integrado en el cuerpo de la cortina, va el vertedor que es una estructura de concreto armado convencional, consistente en un cimacio de derrame en la parte superior, la losa armada de escurrimiento rápido con sus respectivos muros laterales y un deflector salto de sky que descarga las excedencias de agua de la presa directamente sobre la roca del lecho del río.

Sus dimensiones son: ancho promedio 67.50 mts. espesor de la losa 0.80 mts., los volúmenes principales de esta obra son: 6,630 m³ de concreto y 78 tons. de acero de refuerzo.

Ver fig.12

OBRA DE TOMA DEFINITIVA:

Es un conjunto alojado en el cuerpo de la cortina, de cota más alta y dimensiones mucho mayores que la obra de toma provisional, tiene una longitud aproximada de 110 mts. y un diámetro de 2.13 mts.

En la cara húmeda de aguas arriba, lleva una estructura de rejillas, y aguas abajo conecta con una tubería de 2.13 mts, de diámetro y a continuación lleva la estructura de salida, construída en concreto convencional, con sus caseta de control, válvulas de operación y obturación, para controlar el gasto.

Como volúmenes principales se tienen: 1,210 m³ de concreto y 53 ton. de acero de refuerzo. figs. 8 y 9.



fig.8 Obra de toma definitiva en construcción.



fig.9 Rejillas para obra de toma definitiva

TAPON DE CIERRE:

Finalmente al terminarse la construcción de la Presa, se colocará un tapón gigantesco de concreto en la estructura de desvío, con lo cual queda terminada la obra y puede empezar a embalsar.

Este tapón tiene un volumen aproximado de 10,500 m³.

fig. 10

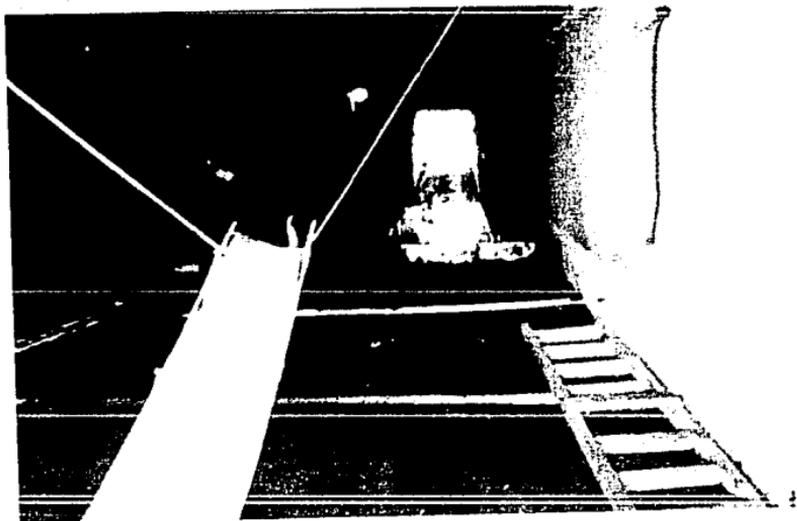


fig.10 Se inicia el colado del tapón de desvío.

CORTINA:

Sobre la estructura del desvío y de la obra de toma provisional, que son de concreto convencional, se colocará concreto rodillado, que es un concreto fabricado como el convencional pero con una granulometría diferente, contiene mayor porcentaje de finos y una cantidad de agua tal, que se pueda obtener un revenimiento igual a cero, lo cual origina que tenga una apariencia diferente.

La resistencia del CCR a utilizar será de una: $f'c=150 \text{ Kg/cm}^2$
La cara húmeda (aguas arriba) de la cortina estará recubierta por unos precolados de $0.9 \times 0.9 \text{ mts.}$ y 25 cms. de espesor, entre estos precolados y el concreto llevará una capa de concreto convencional de 0.5 mts. de espesor. Esta cara de aguas arriba será prácticamente vertical aunque en la base lleva una leve inclinación.

La cara aguas abajo quedará con un talud de 0.8 a uno.

con las capas de CCR aparente, excepto en la zona del vertedor. En la corona se rematará con concreto convencional los últimos siete metros de altura.

Los volúmenes principales de esta obra son:

Concreto Rodillado	350,000 m3
Concreto Convencional	50,000 m3
Concreto en Precolados	2,700 m3
Acero de Refuerzo en Precolados	300 ton.

A continuación se ilustra en las figuras 11 y 12.



fig.11 Se observa la obra de la cortina de CCR el día 22/11/91. Aproximadamente el 80% de avance.

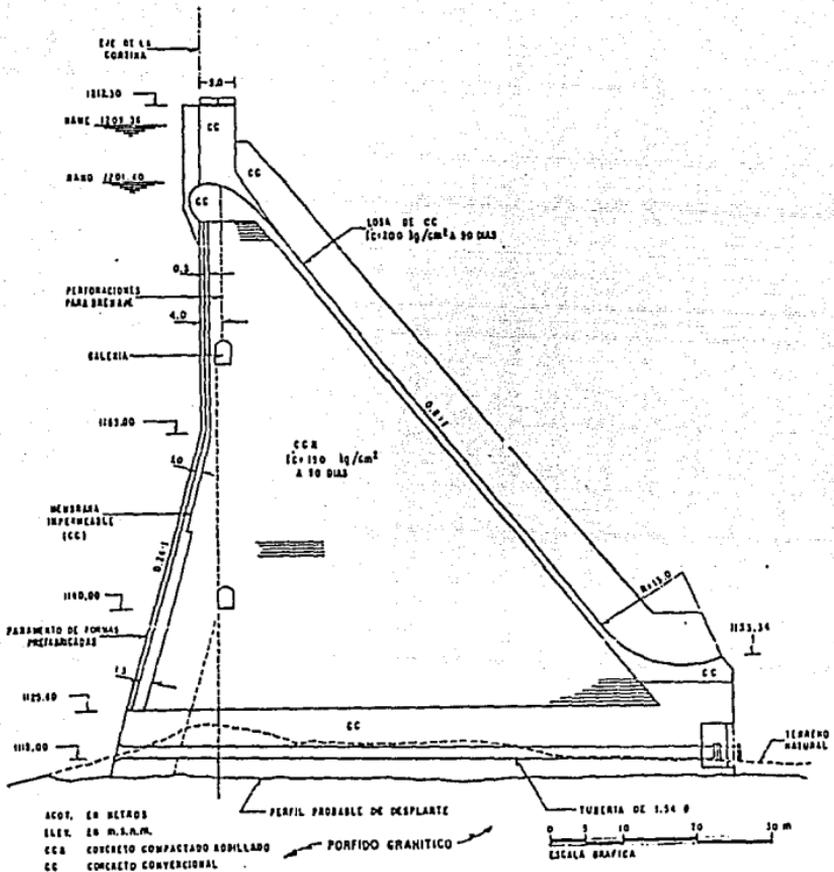


Fig. 12

PRESA TRIGOMIL, JAL. SECCION VERTEDORA Y OBRA DE TOMA PROVISIONAL.

**CAPITULO 2 EL CONCRETO
RODILLADO Y
COMPACTADO**

2) EL CONCRETO RODILLADO Y COMPACTADO

2.1) Introducción al CCR

Desde 1928 existe información documental sobre la compactación de concreto con equipo para terracerías en Estados Unidos , y el término concreto compactado con rodillos (ccr) se empleó desde 1952 en Inglaterra. Antecedentes empíricos en 1970 en España , utilizaron técnicas semejantes a las actuales . Sin embargo, se reconoce que estos trabajos corresponden más bien a bases estabilizadas para caminos y los primeros trabajos con los criterios actuales se desarrollan durante la década de los años 70's para la construcción de las presas y vías terrestres .

Ernest K. Schrader, ha sido promotor de esta tecnología en obras hidráulicas con la construcción de la cortina de gravedad para control de avenidas Willow Creek en Oregon, Estados Unidos, en 1982, al utilizar metodologías adecuadas para diseño y control de concreto compactado y rodillado ó rolacreto, el que definió inicialmente como relleno de grava húmeda mezclado con un contenido de cemento entre 2.5 y 7% en peso, que endurece como un verdadero concreto y tiene contenidos de aire de tan solo 1 a 3%.

Se podría pensar que cualquier material terreo mezclado con cemento y agua que se compacta con rodillos en un CCR. Los

materiales naturales con inclusión de cemento que se emplean en rellenos compactados, sin cumplir con la granulometría especificada para obtener una alta densidad, corresponden a suelo-cemento, puesto que en el CCR, la granulometría del material es fundamental en su diseño.

Es necesario señalar que las técnicas para fabricar y colocar suelo cemento y concreto compactado rodillado son similares, pues en ambos casos se utilizan equipos para terracerías, con lo que es posible manejar grandes volúmenes de materiales en plazos cortos, lo que permite su aplicación con la maquinaria regular de obras de tierra.

2.2) CARACTERISTICAS

Durante la Conferencia Roller Compacted Concrete II (San Diego 1988), se ha definido al concreto compactado rodillado como una mezcla de concreto con revenimiento nulo, bajo contenido de cemento (80 a 120 kg/m³), contenido opcional de puzolanas (20 a 30 kg/m³), relación agua cemento muy baja, buena graduación de agregados con tamaño máximo de 76.2 mm. que se elabora en plantas de proceso continuo y se transporta y coloca con maquinaria para terracerías, en capas del orden de 30 cm. compactadas con equipo vibratorio. En algunos casos se incluyen aditivos que permiten una mejor manejabilidad.

El material cementante es cemento portland combinado en muchos casos con puzolanas como ceniza volante (fly ash) o escoria de alto horno molida granulada (milled granulated

blastfurnace slag), que por tener propiedades cementantes, reducen el consumo del cemento y el costo de la obra.

En la actualidad, las mezclas continúan con revenimiento cero, baja relación agua/cementante, con aproximadamente 100kg. de agua por metro cúbico y se cuida estrictamente la granulometría y contenido de agua durante su elaboración. Sin embargo, con objeto de incrementar la adherencia entre capas y reducir la permeabilidad en presas; y para incrementar la resistencia y obtener una mejor superficie de rodamiento en pavimentos, los contenidos de cementante se han incrementado hasta valores del orden de 350 kg/m³. con consumos hasta de 330 kg de cemento y 145 kg de cenizas volantes por metro cúbico . Los espesores de la capa de concreto fresco por compactar han aumentado hasta 60 cm. para reducir el volumen del concreto de liga (más rico en cemento) que se emplea para el tratamiento de juntas frías .

En el otro extremo se encuentran los concretos con muy bajo contenido de material cementante para la construcción de presas, en que se ha utilizado 43 kg de ceniza volante y 48 L de agua para un metro cúbico con aditivo inclusor de aire en que se obtuvieron resistencias ala compresión de 21.6 MPa (212 kg/cm²) ala edad de 90 días (Mather, 1981).

Aunque las variaciones anteriores se alejan del concepto inicial del CCR, tienen como fin obtener concretos con mejores características y reducir aún mas el tiempo de construcción y por tratarse de una tecnología en pleno desarrollo, aún no se ha dicho la ultima palabra.

2.3) DOSIFICACION

2.3.1) Diseño

Para fines de diseño, construcción y control de calidad el CCR debe ser tratado como una terracería hasta su evaluación de compactación; después de colocado, debe ser curado y tratado como un concreto.

Para obtener el mayor peso volumétrico, se requiere que los agregados correspondan en su conjunto a un material bien graduado (curva granulométrica en forma de C) que incluya una proporción menor del 15% de finos no plásticos o de muy baja plasticidad. Los rangos de granulometría típicos para obras hidráulicas y pavimentos se indican en la fig. 2.1

Con la granulometría seleccionada, se ensaya en el laboratorio diversas combinaciones de material cementante (cemento + puzolana) y agua, para obtener el máximo peso volumétrico, lo que define el contenido de cementante y el contenido de agua óptimo de laboratorio (fig. 2.2).

Adicionalmente, se obtienen especímenes del CCR para determinar sus características mecánicas como resistencia en compresión, en tensión, entre capas y su permeabilidad, con fin de verificar que cumpla con los requisitos de proyecto. La mezcla de laboratorio debe ser ajustada a las condiciones de campo, por medio de bordos de prueba, similares a lo que se construyen para presas. Al mismo tiempo de la prueba de campo, se elaboran especímenes de control para verificar la

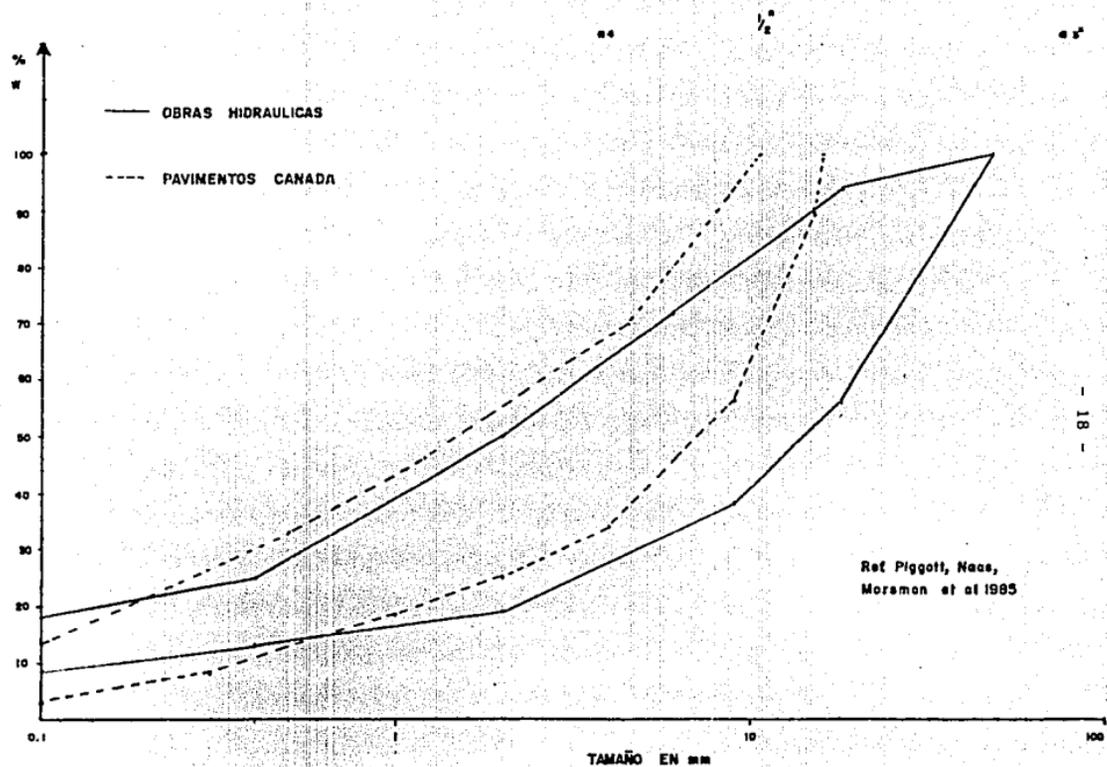


Fig. 2.1 AGREGADOS PARA CCR

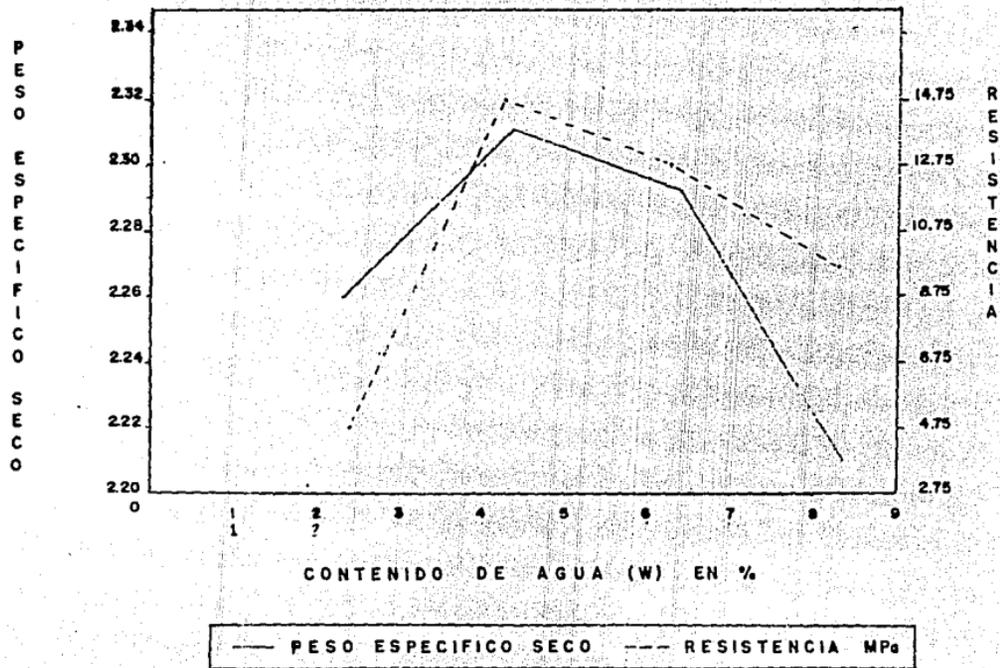


Fig. 2.2

(REEVS, YATES, 1985)

19

evolución de la adquisición de resistencia. Sin embargo, la determinación de propiedades del CCR endurecido se debe efectuar en núcleos extraídos con perforadora, que reflejan las características reales.

2.3.2) TIPOS DE CCR

El concepto de CCR se ha modificado gradualmente y se acepta que existen varios tipos:

-CCR pobre para presas o rolacreto, con un contenido de cementante menor de 100 kg/m³, del cual las puzolanas de la clase f (bajo contenido de cal), se encuentran en una proporción mayor al 40%. Por lo general se coloca en capas de 30 cm y en ocasiones tiene una alta proporción de finos (Willow Creek, la Manzanilla).

- CRP o concreto rodillado para presas (Japón), que se coloca en capas de 50 a 100 cms., con un contenido de cementante de 120 a 130 kgs/m³. del cual las puzolanas corresponden a un 20-35% (Shimajigawa, Tamagawa).

- CCR con cementante medio para presas, que se coloca en capas de 30 cms. y contenidos de cementante entre 100 y 150 kgs/m³ (Les Olivettes).

-CCR rico en cementante para presas con una buena adherencia entre capas sin tratamiento especial, que se coloca en espesores de orden de 30 cms. y con un contenido de cementante superior a 150 kgs/m³, del cual las puzolanas representan el 60 a 80%.

-CCR o concreto rodillado para pavimentos, que por lo común se fabrica con granulometría semejante a la de concretos

asfálticos, se coloca en capas de 15 cms. con contenidos de cementante mayores de 250 kg/m³ y las puzolanas corresponden al 30% o menos del cementante.

El tamaño máximo de agregado en presas es por lo general de 76.2 mm., aunque se ha utilizado hasta 150 mm. (en Tamagawa) y la tendencia es emplear tamaño inferior a 50 mm. para reducir la segregación del material y el puenteo de los tamaños mayores en la parte inferior de las capas. En pavimentos, el tamaño máximo es de 19 mm. y en general se utiliza del orden de 55% de material menor a la malla #4 (4.76 mm.), para proporcionar una adecuada superficie de rodamiento.

2.3.3) PROPORCIONAMIENTO

En las tablas I y II se indican dosificaciones de presas y pavimentos respectivamente, obtenidas de diversas fuentes. El consumo de material cementante varía de 60 a 248 kg/m³ en presas y de 278 a 440 kg/m³ en pavimentos, con relaciones agua cementante de 0.38 a 0.50 en pavimentos.

el contenido de agua en ambos casos oscila entre 3 y 8% del peso de los agregados (84 a 168 L/m³). La razón de un mayor consumo de cemento y menor proporción de puzolanas en los pavimentos rígidos se debe a que las lozas son sometidas a tensiones, por lo que se requiere una mayor resistencia a esta sollicitación, a que se utiliza un menor tamaño de agregados y a que para utilizar con prontitud el CCRP, se reduce el contenido de puzolanas. En cambio en presas, se

TABLA I. DOSIFICACIONES Y PROPIEDADES DEL CCR EN PRESAS

NOMBRE	CCM Kg/m3	PUZ Kg/m3	CEM+PUZ Kg/m3	GRAVA Kg/m3	ARENA Kg/m3	GR/AR	C/AGR %	AGUA L/KG	A/(C+P)	M %	T MAX mm	DENS Kg/m3	f'c7 MPa	f'c28 MPa	f'c50 MPa	f'c90 MPa	f'c365 MPa	R128 MPa	X cm/s
SHINOJIGAMA	91	39	130					106	.82		76.2								
MILLOW CREEK	70	23	93					106	1.14		76.2								1.2E-9
WINCHESTER	194	0	194					101	.97		50.0								
MIDDLE FORK	66	0	66	777	1166	.67	3.4	107	1.62	5.3	50.0	2110		10.0	13.9	14.6		2.0	
COOPERFIELD	95	15	110					107	.97		50.0								
GALESVILLE	54	52	106	1520	778	1.95	4.6	107	1.01	4.5	76.2	2611							
MONROSVILLE	64	0	64	890	1376	.65	2.8	136	2.13	5.0	76.2	2467							
DE MIST KRAAL MEIR	59	59	117	1731	736	2.35	4.7	100	.85	3.9	76.2	2700			21.0			3.3	6.2E-7
ARABIE	36	74	110					113	1.00		76.2								
ZARINDEK	32	74	105	1735	640	2.71	4.4	106	1.01	4.3	76.2	2650			20.0			2.0	2.2E-7
SACO DE NOVA OLINDA	72	0	72	1734	410	4.23	3.4	168	2.33	7.6									
CEMAR FALLS	110	92	202					110	.58		50.0	2411	15.1	22.1					
TAMAGAMA	91	39	130								150.0								
UPPER STILLMATER	77	171	248	1292	729	1.77	12.3	94	.38	4.1	50.0	2404					32.1	1.3	
LES OLIUETTES	88	47	135					125	.93		63.5	2450		12.7	14.2			2.6	1.0E-11
LOWER CHASE CREEK	64	40	104	1542	712	2.17	4.6	108	1.04	4.6	63.5	2280							
LA MANGANILLA	130	0	130	1338	851	1.57	5.9	109	.84	4.7	76.2	2320							
STAGECONCH	71	77	148	850	1280	.67	6.9	138	.93	6.0	50.0								
WARROT	71	107	178	1222	736	1.66	9.1	104	.58	4.9	76.2								
TRIGONIL	140	0	140					127	.86		76.2								127

CCM = CEMENTO; PUZ = PUZOLANA; GR/AR = GRAVA/ARENA; A/(C+P) = AGUA/CEMENTANTE; A = AGUA; M = A/(GR+AR+CEM+PUZ); C/AGR = CEMENTANTE/AGREGADOS;
 T MAX = TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO; f'c d = RESISTENCIA A LA COMPRESION A LA EMD DE d DIAS; R1 = RESISTENCIA A LA TENSION; DENS = DENSIDAD;
 X = COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

TABLA II . DENSIFICACIONES Y PROPIEDADES DEL CCRP

LUGAR	TIPO	SUP 1000 m ²	ESP cm	CEN Kg/m ³	PUZ Kg/m ³	CEN+PUZ Kg/m ³	AGREG Kg/m ³	C/AGR %	AGUA L/m ³	A/(C+P)	W %	T MAX mm	DENS Kg/m ³	FINOS %	f'c 28 MPa	Ri 28 MPa	COSTO DOLL/m ³
DUNCAN TASMANIA	CAMINO	350	18	300	20	320						19		5-9	30		61
TENCO TASMANIA	ALMACEN	50	25	400	40	440						19		5-9	40		76
TEA TREE, TASMANIA	CAMINO	60	15	300	30	330						19		5-9	30		84
GOLIATH, TASMANIA	ESTACIONAM.	65	12.5	300	30	330						35		5-12	30		71
HOBART, TASMANIA	ESTACIONAM.	1.5	12.5	300	30	330						32		5-9	30		90
F. HOOD, TEX. USA	CAMPO MIL.	15.2	25	182	96	278	2186	12.7	91	.33	3.7	50	2489	1		5.7	
KITZINGEN, ALEM.	CAMPO MIL.	14.2	18	277	156	433	1790	24.2	137	.32	6.2	19	2400	0		5.4	
F. CAMPBELL KEEN, USA	CAMPO TRACTICO	41.2		243	129	372	2018	18.4	84	.23	3.5	19	2412	0-4			
TOOLEE, UT. USA	ALM. MILITAR	5.6	30	306	0	306	1047	20.9	104	.27	4.7	16	2393	5		3.5	
REDWICK, CO. USA	CAN. CARGA	113	38	282	45	327	2013	16.2	129	.39	5.5	19	2200			4.0	93
F. BOWLING, GA. USA	CAN. MILITAR	19.5	19	281	89	370	1959	18.9	97	.26	4.2					4.0	76
F. LEWIS, WASH. USA	BASE LANZAM.	13.1	22	233	71	304	1959	15.5	116	.30	5.1		2384			3.9	
MASSPORT, MASS. USA	PATIO ALM.	18.2	45	356	59	415	1911	21.7	145	.35	6.2	19				4.8	
CELI, TEX. USA	TERMINAL	75.2	20	154	154	308	1912	16.1				19		0	27.6		
F. DRUM, N.Y. USA	CAMPO MIL.	351	25	267	89	356						19					
WELLS ROAD AUSTRALIA	AUTOPISTA	7.7	20	320	0	320			130	.41		19					
UNIV. PURDUE USA	PRUEBA			145	0	145	2274	6.4	72	.50	3.0					4.6	
UNIV. PURDUE USA	PRUEBA			233	0	233	2285	10.6	70	.30	2.9					5.5	

SUP = SUPERFICIE; ESP = ESPESOR; CEN = CEMENTO; PUZ = PUZOLANA; AGREG = AGRIGADOS; A = AGUA; C/P = CEMENTO; W = A/(C+P+AGREG);
 C/AGREG = CEMENTANTE/AGREGADOS; DENS = DENSIDAD; T MAX = TAMAÑO MÁXIMO DE AGRIGADO; f'c = RESISTENCIA EN COM RESION; Ri = RESISTENCIA
 EN TRNSION

procura reducir el contenido de cemento con sustitución de puzolanas para reducir los cambios volumétricos durante la hidratación y se emplea un mayor tamaño de agregado con fines económicos.

Los tipos de cemento Portland usados han sido I, II, IV y puzolánicos. Las puzolanas empleadas corresponden a naturales, o con alto o bajo contenido de cal (clases C o F, ASTM), escoria de alto horno o mezclas de escoria, ceniza volante activa y polvo de calizas. Los agregados utilizados han comprendido desde agregados para concretos hidráulicos o asfálticos, grava natural o triturada, ceniza volante inerte o limo, con control de la granulometría en todos los casos.

2.3.4) CONSISTENCIA

Los primeros CCR, prácticamente no tenían ninguna trabajabilidad, con un tiempo en la prueba VeBe mayor de 25 s. Las actuales mezclas trabajabilidad de 10 a 20 s, en parte por el mayor contenido de pasta cementante, el uso de aditivos y una mejor dosificación de finos.

2.4) FABRICACION

2.4.1) MAQUINARIA

Una de las ventajas del CCR es la utilización de los tradicionales métodos y maquinaria de construcción, por lo que el equipo utilizado comprende:

-Para la elaboración del concreto.- Silos, cribas, básculas y

mezcladoras. Estas últimas es conveniente sean del tipo continuo, lo que permite una producción uniforme y constante. Aunque se han empleado revolventoras de producción discontinua, la pasta se adhiere y endurece en las paredes por la consistencia seca de la mezcla, lo que a la larga reduce la capacidad de la revolventora.

-Para su transporte.- Se han empleado los tradicionales camiones de volteo, vagonetas, bandas transportadoras, grúas y torres, sistemas de cables tipo funicular, vagonetas con cremallera y tuberías de acero.

- Para la colocación y distribución.- En vías terrestres se utiliza con frecuencia pavimentadoras para su colocación, por la disponibilidad de este equipo, el que proporciona una distribución uniforme y homogénea. Otros equipos para uniformizar la capa por compactar son camiones con dispositivos distribuidores, motoconformadoras, bulldozer y angledozer, cargadores frontales y hasta pequeños tractores agrícolas con dispositivos para repartir el CCR y uniformizar la superficie.

- Compactación.- El equipo más empleado es el rodillo liso vibratorio con peso de 8 a 14 ton. que por lo común aplica del orden de 6 pasadas con vibración. En algunos se hace la compactación sin vibración o algunas pocas pasadas sin ésta. En vías terrestres es común que se empleen el rodillo liso vibratorio combinado con rodillos neumáticos en tandem. En las zonas de difícil acceso a la maquinaria pesada, se utiliza compactadores manuales.

- Curado y Acondicionamiento de superficie.- Cuando se requiere curar alguna capa generalmente se aplica aspersión con las tradicionales "flautas".

2.4.2) MANEJO DEL CCR FRESCO

El procedimiento de fabricación del concreto debe asegurar una mezcla completa de los constituyentes para obtener un producto homogéneo. El transporte y colocación deben evitar la segregación, para reducir la posibilidad de concreto poroso al separarse los tamaños mayores de la masa, así como la pérdida de humedad. Es conveniente un adecuado control del espesor de capas a fin de compactar de manera uniforme el material. La consistencia debe ser tal que no se produzcan fallas por cortante al transitar el equipo de compactación (mezcla muy seca), ni que el rodillo se hunda desplazando al concreto fresco, (mezcla muy plástica).

El tiempo entre la producción y la compactación no debe exceder de 1 h. con objeto de que la densificación se realice antes del fraguado inicial de la pasta. En concretos con gran porcentaje de puzolanas o con aditivo retardante del fraguado, el lapso podrá ser mayor.

Para tener una buena adherencia entre capas se utilizan 4 criterios:

- 1) El plazo de colocación entre capas antes de que la capa compactada alcance la madurez varía entre 8 y 72 h. por lo que el índice de madurez estará comprendido entre 500 y 1600 Fxh, del que el menor es el más adecuado.

La unidad utilizada Fxh, es el # de horas por la temperatura.

2) Aplicación del concreto de liga entre capas cuando se ha alcanzado la madurez de la capa compactada . Este concreto es un CCR más rico en pasta de cementante, que por lo común es fabricado al eliminar el agregado de mayor tamaño y que se coloca en espesores de 39 a 76 mm antes de colocar la capa subsecuente.

3) Aplicación de un mortero convencional de 12 a 25 mm de espesor.

4) Uso de CCR rico en cementantes que no requiere tratamiento entre capas.

Los espesores de colocación de CCR comunes son de 30 cm, aunque en algunos casos se han colocado de 2 a 4 capas de 15 cm que se compactan simultáneamente. La práctica japonesa (CRP) utiliza capas de 50 a 100 cm de espesor.

La compactación en presas se realiza con rodillos lisos vibratorios que transmiten 20.5 y 27 kg/cm de tambor para espesores de capa menores y mayores de 15 cm respectivamente, con vibración a una frecuencia superior a 1700 ciclos por minuto, amplitud entre 0.63 y 0.89 mm con equipo que circula a una velocidad inferior a 3.2 km/hr.

Debido a que la zona lateral de una capa de CCR en el paramento de aguas abajo en presas y cerca de los acotamientos en pavimentos casi imposibles de compactar sin cimbra por falta de confinamiento se ha desarrollado en Francia un compactador de orilla para reducir el desperdicio de material, obtener taludes más inclinados y lograr un mejor acabado.

La superficie de CCR debe mantenerse libre de contaminación por el tránsito del equipo.

2.4.3) CURADO

En presas, la intención es tener un proceso ininterrumpido de colocación, compactación de capas sucesivas por lo que en teoría la capa terminada se cubre con la siguiente antes de 8 h. y no requiere curado. Sin embargo, por suspensiones de la producción en presas, o por la terminación del pavimento se requiere curar la superficie expuesta cuando menos 14 días con aspersión de agua, arena húmeda o con cubiertas de material plástico. Después de una suspensión por falla de equipo o lluvia, se debe realizar tratamiento de la junta fría (escarificación, limpieza con chiflón de agua o chorro de arena, capa de liga). Como se requiere una buena adherencia entre capas no se utilizan membranas de curado.

2.5) PROPIEDADES Y CONTROL

Por tratarse de un procedimiento que combina tecnologías de fabricación del concreto y de manejo de compactación de terracerías, para realizar el control de la producción se utilizan ensayos de las dos áreas; así, para obtener un concreto denso de buena resistencia y baja permeabilidad, se requiere que los espacios dejados por los tamaños mayores sean ocupados por granos de menor tamaño, hasta ocupar prácticamente todos los espacios con los agregados y, además, el material cementado debe rodear por completo a todas las partículas para obtener una masa homogénea. Para obtener esta

condición, es necesaria una buena distribución de tamaños, con lo que se obtienen concretos mas densos. Por otro lado, la resistencia depende del contenido del cementante y la relación agua cemento por lo que para tener buena resistencia y baja permeabilidad, se requiere que los espacios dejados por los tamaños mayores sean ocupados por granos de menor tamaño hasta ocupar prácticamente todos los espacios con los agregados y además, el material cementante debe rodear por completo a todas las partículas para obtener una masa homogénea. Para obtener esta condición, es necesaria una buena distribución de tamaños con lo que se obtienen concretos más densos. Por otro lado la resistencia depende del contenido de cementante y la relación agua cementante, por lo que para tener una buena resistencia y baja permeabilidad se requiere baja relación a/c. Debido a que el acomodo de las partículas en una masa de suelo es más eficiente al aplicar una alta fuerza de compactación a un contenido de agua dado, al utilizar rodillos vibratorios se logra una mejor densificación.

Por lo anterior el control en obra se realiza al verificar el contenido de agua, la granulometría de los agregados, cantidad de material cementante agua y agregados además de un buen mezclado. Una vez producido el concreto debe llegar al sitio de colocación sin segregarse para ser extendido y compactado.

Una vez compactado se verifica su peso específico seco y su

contenido de agua con las tradicionales determinaciones de campo (calas) . También se elaboran especímenes de concreto cilíndricos o cúbicos para ser sometidos a la prueba de compresión.

La determinación de la resistencia, adherencia entre capas y permeabilidad, se realizan por medio de la extracción de núcleos, que se someten a prueba de conversión prueba tipo brasileña, tensión y permeabilidad horizontal y vertical.

2.5.1) PRUEBAS

Para la verificación de mezclas de diseño y control de obra se ha utilizado la elaboración de cilindros de concreto de 15x30 cm, la mesa vibradora Vebe y la Proctor modificada con molde de 15.2 cm de diámetro. Por la consistencia de la seca de la muestra en CCR pobre, el cilindro de mortero de la prueba Vebe, no se forma y el material presenta oquedades. Para CCR con contenidos de pasta media a alta, se utiliza la prueba Vebe.

Diversas pruebas confirman un comportamiento similar entre la compactación de suelos y la del CCR; Esto es el peso volumétrico máximo se incrementa con la energía y con la disminución del contenido de finos. El contenido de agua óptimo disminuye al incrementar la energía de compactación y aumenta con el contenido de finos, por lo que la prueba Proctor Modificada tipo D parece ser adecuada para el CCR. Es conveniente señalar que por la alta energía aplicada -93 golpes por capa de 5 cm (27.27 kg/cm/cm³)- se produce rotura de los agregados gruesos, por lo que han utilizado un pisón de 14 cm de diámetro con bordes redondeados y el USBR se ha inclinado por reducir la energía a 50 golpes por capa. En relación a la resistencia, esta se incrementa con la energía de compactación, el contenido del cementante y con la reducción en la relación agua-cementante, aunque se presentan disminuciones por ruptura de los agregados al aplicar alta energía, lo que producen resultados erráticos. Ensayes que involucran un mayor volumen de CCR con

vibración se encuentran en desarrollo . Sin embargo, en aras de utilizar la experiencia y equipo de las pruebas de captación Proctor, parece que la tendencia será utilizar este ensaye con cambios en algunos parámetros.

Es conveniente indicar que el agua de la mezcla cumple dos objetivos: dar lubricación entre partículas para lograr una adecuada densificación y proporcionar el agua necesaria para la hidratación del cemento y puzolanas. Por esta última razón, la determinación del contenido de agua en el recién compactado es difícil, ya que el agua se integra parcialmente a la pasta, por lo que la forma de determinar el w es en base a la dosificación.

Como en obras de tierra, la forma adecuada de determinar la energía de compactación de campo, contenido óptimo de agua y espesor de capa, es con la ejecución de bordos de prueba, que cumplen la doble finalidad de ensayar el procedimiento y equipo de construcción, y verificar la dosificación teórica. Las variables que se evalúan son generalmente número de pasadas, espesor de capa y contenido de agua, aunque se pueden estudiar distintas dosificaciones, tiempo entre colocación de capas para su tratamiento, tipos de maquinaria, formas de liga entre capas, etc.

2.5.2) CONCRETO ENDURECIDO

En las tablas I y II se indica, además de la dosificación, algunos valores de la resistencia a la compresión y a tensión a diversas edades, las que son mayores a las obtenidas, en

concretos convencionales para el mismo contenido del cementante, sobre todo a edades superiores a 50 días. Por ejemplo en pavimentos, al utilizar agregado de 1.3 cm y 282 kg de cemento por metro cúbico para los dos tipos de concreto, se obtuvo un módulo de ruptura a la flexión 60% mayor en CCR con relación agua cemento de 0.30, que en concreto regular $a/c = 0.53$; asimismo, la resistencia a compresión para el mismo contenido de cemento, resulta ser el doble para CCR, aun en edades tempranas, en comparación con concreto masivo convencional.

En la figura 2.3 se muestra la evolución típica con el tiempo de la resistencia del CCR para obras hidráulicas y en la fig. 2.2 la relación entre peso específico seco y resistencia al variar el contenido de agua, para un contenido constante de cementante. Por la intensa compactación que se aplica, se obtienen densidades comprendidas entre 2200 y 2750 kg/m³, las que en general son mayores que las de un concreto convencional.

2.5.3) PERMEABILIDAD

En la tabla I se reporta algunos valores del coeficiente de permeabilidad y en la figura 2.4 se señala la relación existente entre este parámetro y el contenido de cementante. Cabe destacar que las primeras presas construidas como Willow Creek son presas de control de avenidas que no requieren una alta permeabilidad. En esa figura se compara también la

Variación de la Resistencia del CCR
con la edad (Reesvs, Yates, 1985)

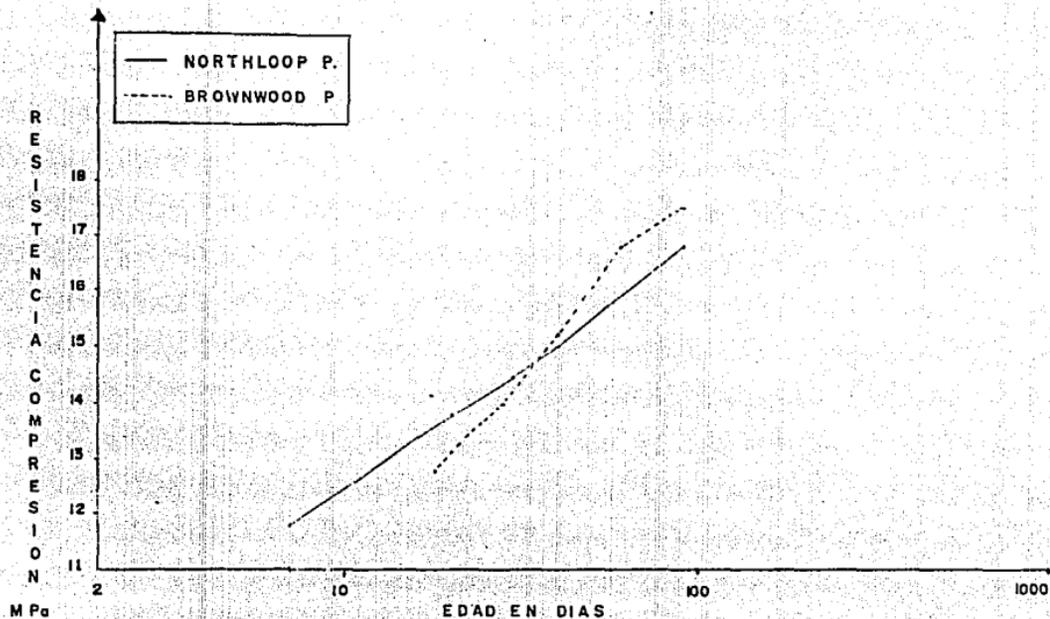


Fig. 2.3

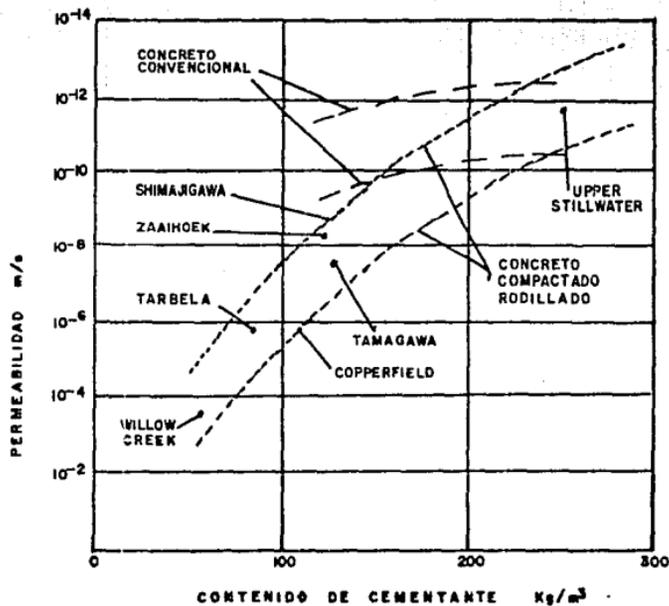


Fig. 2.4 RELACION ENTRE PERMEABILIDAD Y CONTENIDO DE CEMENTANTE EN PRESAS (DUNSTAN, 1988; 1989)

permeabilidad de concreto masivo convencional en presas de gravedad la que resulta similar para contenidos de cementante del orden de 200 kg/m³ en presas de CCR. Respecto a la permeabilidad general de presas de CCR, se ha comprobado que no exhiben mayores filtraciones que la de concreto convencional. Sin embargo, las que sólo dependen del CCR como elemento impermeable, han manifestado mayores fugas que la de concreto convencional. El caudal de filtraciones en todas las presas de CCR se reduce exponencialmente con el tiempo por obturación con limo y por calcificación.

2.6) APLICACION EN PRESAS

Los mayores volúmenes de CCR utilizado corresponden a obras hidráulicas, sobre todo presas nuevas o rehabilitación de cortinas de materiales graduados, por lo que la información disponible es abundante a la fecha. En la tabla III se señalan las presas terminadas hasta 1989 y se incluye el costo unitario y el volumen del CCR utilizado.

Para fines de comparación se reportan algunos datos de la presa Trigomil en construcción por la Comisión Nacional del Agua.

Existen condiciones particulares en la construcción de presas que se requiere señalar:

A fin de asegurar una adecuada impermeabilidad de la cortina se emplean diversos métodos para formar una pantalla impermeable (membrana) en el paramento aguas arriba, que por lo común tiene taludes de 0.25 a 1 en cortinas de sección de

TABLA III. PRESAS CONSTRUIDAS CON CCR

NOMBRE	LUGAR	H m	V 1000 m ³	TALUD a. abajo	CEM	PUZ	CEM/PUZ	AÑO	COSTO DOLL/m ³
					Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³		
SRINAJIGAWA	JAPON	89	170.0	0.80	91	39	130	1980	
WILLOW CREEK	OR. USA	52	331.0	0.80	70	23	93	1982	20.00
WIRCHESTER	KENN. USA	21	24.5	1.00	104	0	104	1984	60.20
MIDDLE FORK	CO. USA	38	42.1	0.80	66	0	66	1984	32.60
COOPERFIELD	AUSTRALIA	40	140.0	0.8, 0.90	95	15	110	1984	32.00
GALESVILLE	OR. USA	51	160.0	0.80	54	52	106	1985	34.00
CASVILLOBLANCO	ESPAÑA	25	161.0	0.80	53	51	104	1985	
MONKSVILLE	U.S. USA	40	219.2	0.70	64	0	64	1986	31.40
CHAIKOVNIK	YASMANIA	25	22.5	1.00	70	60	130	1986	55.00
DE NISY KRAAL WEIR	SUDAFRICA	30	60.0	0.60	59	59	117	1986	
ARABIX	SUDAFRICA	35	107.0	0.75, 0.50	36	74	110	1986	
DATIX	CHINA	56	50.0					1986	
GRINSTONK	N.H. USA	42	87.7	0.75	74	30	104	1986	33.45
ZAAIBONK	SUDAFRICA	50	120.0	0.62	32	74	105	1986	
BRIZANA (DIQUK)	ESPAÑA	15	12.0		90	90	180	1986	
SACO DE ROVA OLIZDA	BRASIL	57	132.0	0.80	72	0	72	1986	
CEDAR FALLS	WASH. USA	9	4.2	0.70	110	92	202	1986	70.00
KHONGVO	CHINA	57	43.0	0.75	70	50	120	1986	
PANAGAMA	JAPAN	103	750.0	0.81	91	39	130	1987	
OPPER STILLMAYER	UT. USA	87	1,102.0	0.60	77	171	248	1987	36.60
LES OLIVETTES	FRANCIA	36	85.0	0.75	80	47	135	1987	
LOWER CHASK CREEK	AR. USA	18	13.8	0.70	64	40	104	1987	44.20
BUCCA WEIR	AUSTRALIA	12	24.0	1.00	90	90	180	1987	
LA MANZANILLA	CYO. MEX.	36	20.3	0.80	130	0	130	1987	39.00
LOS MORALES	ESPAÑA	20	22.0	0.75	81	140	221	1987	
ELK CREEK	OR. USA	76	796.0	0.80	70	33	103	1988	26.35
SYAGCOACH	CO. USA	46	33.6	0.80	71	77	148	1988	39.30
PIRIKA	JAPON	40	120.0	0.80	84	36	12	1988	
ATN AL KORHINA	MARROCOS	26	27.0	0.75, 0.20	200	0	200	1988	
SYA RUGERIA	ESPAÑA	83	225.0	0.75	72	143	215	1988	
MANO	JAPON	69	101.0	0.80	96	24	120	1988	
YASHKONIR	RUSIA	75	85.0	0.75	90	30	120	1988	
LOGNRYTAN	CHINA	50	73.0	0.75	54	86	140	1988	
KLENNPOONT	SUDAFRICA	50	45.0	0.60	61	142	203	1988	
URUGUA I	ARGENTINA	76	590.0	0.80	60	0	60	1989	
ASAHIGAWA	JAPON	84	174.0	0.80				1989	
MARNOT	OR. USA	15	7.6	0.80	71	107	170	1989	73.24
TRIGONIL	JAL. MEX.	100	361.5	0.80	140	0	140	CONS	

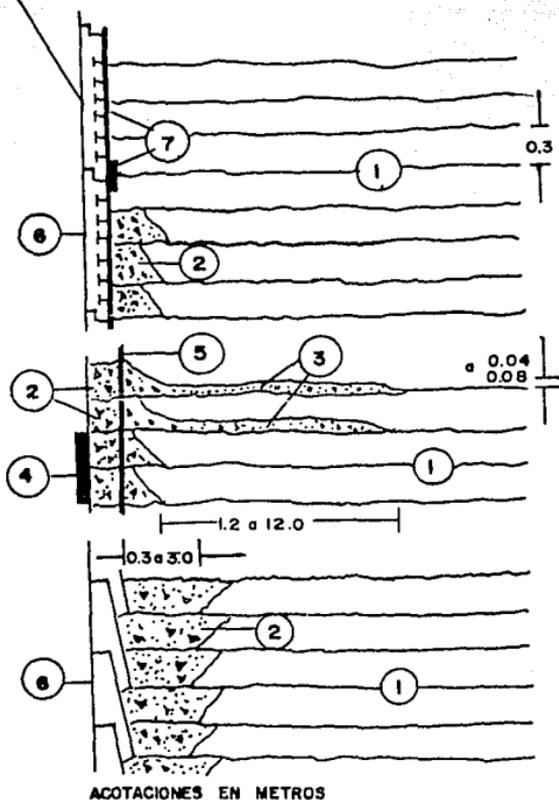
H = ALTURA; V = VOLUMEN DE CCR x 1000 m³; CEM = CEMENTO; PUZ = PUZOLANA

gravedad. Estos sistemas se indican en la figura 2.5 Entre éstos, el mas empleado ha sido el uso de concreto convencional confinado entre el CCR y formas prefabricadas. En virtud de que la membrana de concreto convencional sufre contracciones y expansiones, normalmente se presentan agrietamientos, los que en ocasiones son inducidos a distancias preestablecidas, o se permite su libre desarrollo para sellarlos posteriormente. La técnica japonesa (CRP) corta el concreto endurecido con sierra o se secciona el concreto en proceso de fraguado formando monolitos que se tratan con un procedimiento semejante a los de presas de concreto convencional.

En general, el contacto entre cimentación y CCR es uniformizado con concreto convencional hasta lograr una superficie que permita la operación de la maquinaria. La corona de cortinas de gravedad y de las estructuras de galerías para inspección y drenaje alojadas dentro del CCR se contruyen con cimbra, formas prefabricadas u ocupando el espacio con material granular grueso que se retira después. El drenaje de la cortina y cimentación se obtiene por medio de perforaciones desde la corona y galerías.

Merece especial atención el vertedor de las cortinas de CCR, pues con mayor frecuencia se utilizan vertedores escalonados formados por el propio CCR, formas prefabricadas o por concreto convencional, que facilita la construcción y permite una mayor disipación de la energía. Los vertedores escalonados se han empleado en más de 13 obras de importancia

PARAMENTO AGUAS ARRIBA



- (1) CCR, (2) CONCRETO CONVENCIONAL,
(3) CONCRETO DE LIGA, (4) GEOMEMBRANA,
(5) SELLO, (6) FORMA PRECOLADA, (7) SELLO PVC

Fig. 2.5 METODOS DE IMPERMEABILIZACION EN PRESAS

entre las que destacan Monksville, Zaaihoek, Upperv Stillwater, Elk Creek, Stagecoach, Grindstone y Knellpoort, con alturas entre 42 y 90 m.

2.6.1) PRESAS EN MEXICO

Las aplicaciones en nuestro país son aún pocas y sólo se conocen dos obras terminadas en que se utilizó CCR que corresponden la primera al relleno de desvío de la Presa Hidroeléctrica Peñitas en Chiapas con un volumen de 50 000 m³ para desplante del canal de conducción del vertedor auxiliar que se especificó tamaño máximo de 76.2 mm, resistencia a la compresión de 60 kg/cm² a un año, cemento puzolánico y agregados en greña sin un control granulométrico.

La Manzanilla

Con objeto de evitar las inundaciones tradicionales en el municipio de León, Guanajuato la SARH construyó varias presas de regulación de avenidas en la Sierra de la Comanja (SARH, 1988). Destaca entre éstas La Manzanilla, sobre el arroyo Ibarrilla, a sólo 3 km. de la ciudad de León por ser la primera presa construida de CCR en el país. Los principales datos de esta obra son: finalidad, control de avenidas y recarga de acuíferos; área de la cuenca 53 km²; avenida máxima extraordinaria 317 m³/s; capacidad al N.A.N. 950 000 m³; capacidad total, 1 300 000 m³; altura de la cortina 36m longitud de la corona 150 m; gasto máximo del vertedor 109.5 m³/s; longitud del vertedor, 7.5 m; carga máxima sobre el vertedor 3.67 m; gasto máximo por los dos orificios de control, 49 m³/s.

La construcción se inició en noviembre de 1986, con la limpieza del cauce y laderas, para colocar concreto convencional sobre el conglomerado continental del cauce y uniformizar la zona de trabajo. La dosificación del CCR se indica en la tabla I y fue resultado del bordo de prueba que se realizó previamente a la construcción. El contenido de cemento representa el 6% del peso de los agregados y el contenido óptimo de campo resultó de 6.5%; el concreto de liga se produjo eliminando la grava de 38 a 76 mm de la dosificación normal de CCR. La unión entre concreto convencional y CCR, así como en juntas frías de CCR se efectuó con CCR de liga, que se colocó en espesor de 8 cm previo a la colocación de CCR normal, para tener un espesor de capa de 30 cm. La producción de CCR fue discontinua, trabajando dos turnos entre semana y uno en sábados, lo que requirió el tratamiento de esas juntas frías con concreto de liga. El cemento utilizado fue puzolánico, producido en León y al principio se utilizó ceniza volante de MICARE, que no tiene propiedades cementantes. El control de compactación se realizó con calas de 30 x 30 x 20 cm, aceptando densidades superiores a 2200 kg/m³. La dosificación se realizó por peso de materiales y la mezcladora fue de tipo continuo de paletas. El transporte del CCR se efectuó con camiones y se extendió con un cargador frontal; la compactación se realizó con 6 pasadas de un rodillo liso vibratorio de 10 tons y el CCR se curó superficialmente con aspersión de agua después de 4 h de

compactado. El volumen de CCR colocado fue de 20 300 m³. La impermeabilización de la cortina se obtuvo colocando una pantalla impermeable de 50 cm de ancho de concreto convencional entre el CCR y las formas prefabricadas autoportables en el paramento aguas arriba. Para la construcción de la galería se colocó grava bien graduada a manera de cimbra. Las obras de control, vertedor, dado de corona, superficie de desplante, liga de CCR con laderas, membrana impermeable y recubrimiento de la galería se realizaron con concreto convencional.

Las dificultades que se presentaron durante la construcción fueron el deterioro de la mezcladora al utilizar ceniza y el manejo de ésta, por lo que se sustituyó por la misma cantidad de arena limosa (kg/m³); la descarga de los camiones de volteo produjo segregación que redujo manualmente y al extender el CCR; la poca tolerancia de las formas prefabricadas dificultó su colocación; no se logró compactar el CCR cerca del paramento aguas abajo y formar un talud 0.8:1 - el talud natural del CCR es casi 1:1- por lo que se dejó un sobre ancho de 20 cm y se colaron escalones de concreto convencional para formar el talud requerido. El retiro de la grava en la galería fue difícil y tardado por la alta compacidad que alcanzó el material, por lo que es conveniente utilizar material uniforme o algún otro método. En dos ocasiones el agua sobrepasó la cortina en construcción sin causar daños. La obra fue terminada en 8 meses.

2.7) APLICACION DE PAVIMENTOS.

Para el uso del CCR en pavimentos (CCRP), se requiere que exista una buena sub-base y terreno de cimentación, ya que si éstos son deformables, el equipo no logra compactar adecuadamente el concreto y no se logra el objeto principal de obtener la máxima densificación.

Los concretos compactados rodillados para presas y pavimentos no sólo difieren en granulometría y dosificación (tablas I y II), sino que en estos últimos se utilizan algunas técnicas particulares.

2.7.1) PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

Para evitar las juntas frías longitudinales, se ha preferido el uso de dos pavimentadoras que se movilizan en forma paralela, mas una que tienda un tramo largo y regrese a colocar el adjunto. Los espesores de compactación varían de 15 a 20 cm y cuando se requieren espesores mayores de 20 cm se colocan en el mismo día dos capas, por lo que no se requiere tratamiento entre ellas. El procedimiento de compactación difiere también, ya que se procura compactar de los acotamientos hacia el centro para obtener confinamiento. La densificación se realiza por lo general aplicando 2 pasadas con rodillo liso sin vibración, de 2 a 4 pasadas con vibración y 2 pasadas adicionales con rodillo neumático para proporcionar una mejor superficie de rodamiento.

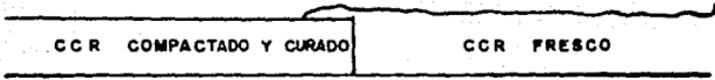
Para obtener una adecuada adherencia en las juntas fresca, se retira con motoconformadora el material con poca compactación

en el hombro, antes de tener el tramo adyacente y se compacta como se indica en la Fig. 2.6 Se considera junta fría cuando el tiempo de colocación entre losas vecinas es mayor de 60-90 min, por lo que se requieren tratamiento, que consiste en el aserrado del CCRP de la orilla para obtener un corte del orden de 90 grados con orilla horizontal, colocación de lechada, mortero rico o adhesivo epóxico antes de colocar el CCR fresco. El curado de la superficie final se realiza a la brevedad posible, generalmente con aspersión de agua con un mínimo de 7 días.

2.7.2) AGRIETAMIENTO.

Por tratarse de tramos largos, el facturamiento por cambios térmicos se produce en su mayor parte en las primeras 72 h. con distancias variables entre 6 y 76 m, las que se permite se manifieste libremente o se inducen por medio de aserrado de 1/4 a 1/3 del espesor del pavimento, a equidistancias entre 8 y 100 m. Las grietas son tratadas con productos asfálticos.

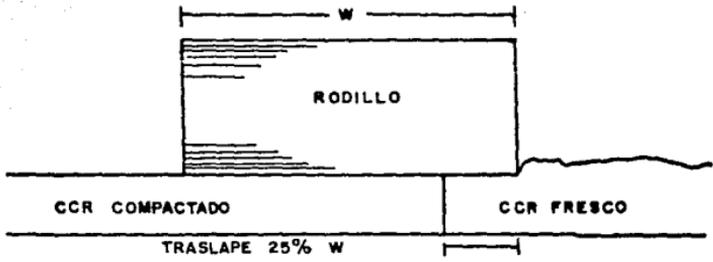
A la fecha, existe una fuerte controversia sobre la capacidad de transferencia de carga entre losas vecinas, pues el Cuerpo de Ingenieros de EUA señala un valor de 0% y otros autores indican valores de 10 a 37%. A este respecto, es conveniente señalar que si el patrón de agrietamiento inducido o natural es amplio, la abertura de las grietas es mayor y existe menor transferencia que si las grietas son cercanas y hay mayor fricción entre caras.



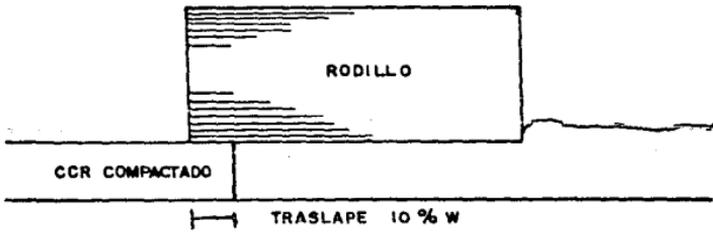
a) TENDIDO



b) ACOMODO



c) JUNTA FRESCA CON RODILLO ESTATICO



d) JUNTA FRESCA CON RODILLO VIBRATORIO

Fig. 2.6 JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CCR
(WITHROW, 1988)

Es conveniente señalar que las principales aplicaciones del CCRP son en obras especiales con altos niveles de carga y abrasión como instalaciones militares, almacenes de materiales, etc., en que la textura de la superficie pasa a segundo término y puede ser rugosa por tratarse de tránsito lento, aunque existen aplicaciones en autopistas, en las que el acabado se obtiene colocando una capa final a base de asfaltos de 2.5 a 7.5 cm.

2.7.3) APLICACIONES EN MEXICO.

Las instituciones del sector público tienen particular interés en el uso del CCRP, como es el caso de la SCT y de Caminos y Puentes Federales de Ingreso, por lo que esta última, conjuntamente con el IMCYC, relizaron en 1988 un interesante y amplio estudio para probar la metodología, a cargo del Dr. Donato Figueroa, que incluyó el diseño de mezclas empleando la práctica canadiense, evaluación de métodos de control y ensaye, pruebas de campo, determinación de propiedades del material en laboratorio y campo, diseño de pavimento, construcción de un tramo de prueba en la autopista México Cuernavaca, prueba de equipos y evaluación de resultados.

Se tiene conocimientos que la CFE ha utilizado CCRP en un camino para la construcción de la presa Aguamilpa, cuyos resultados proporcionarán un mejor conocimiento en nuestro medio.

2.8) COSTO.

Al utilizar un proceso continuo de elaboración, el método del CCR logra el manejo de grandes volúmenes de materiales con equipos de alta capacidad y eficiencia, lo que produce una importante disminución en el costo por manejo del concreto fresco y reduce la necesidad de usar formas y métodos de enfriamiento para concreto masivo. Por otra parte, al obtener una densificación mas eficiente con la maquinaria pesada que con procedimientos tradicionales se obtiene mayor resistencia que en el concreto convencional para el mismo contenido de cemento, lo que permite reducir el consumo, aunado al uso de puzolanas con propiedades cementantes -más económicas que el cemento, lo que también disminuye el costo. En las tablas II y III se incluye el costo del CCR, que oscila entre 26 y 75 doll/m³ en presas y entre 61 y 93 doll/m³ en pavimentos, lo que depende principalmente del consumo de cemento. En presas con sección de gravedad, se estima que la reducción en el costo de la obra es del 33% y en pavimentos del 50 al 75%.

CAPITULO 3 PLANEACION GENERAL DE LA OBRA

3) PLANEACION GENERAL DE LA OBRA

3.1) SECUENCIAS DE CONSTRUCCION

Primeramente se excavó la Glorieta de instalaciones y la limpieza de laderas entre trazas de la cortina, después se excavaron las seis galerías de explotación y tratamiento.

A continuación se esta construyó la obra de toma provisional que en realidad es un canal de concreto en la margen derecha para un desvío previo del río con objeto de poder construir la obra de desvío real.

Hecho esto, es posible construir las ataguías que aislan el recinto de la cortina en el lecho del río para hacer la limpieza del mismo y colocar la plantilla de concreto de regulación y desplante.

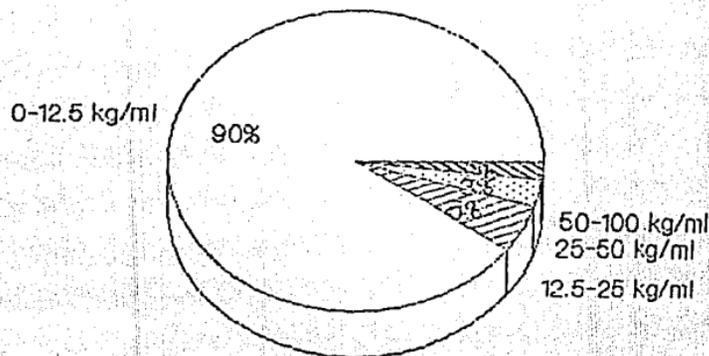
Se continua sobre la plantilla con la perforación de barrenos para tratamiento de la cimentación por medio de inyección.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la primera etapa, fig.3.1 los cuales fueron proporcionados por la gerencia de supervisión de la COMISION NACIONAL DEL AGUA.

Después se construyó con concreto convencional la obra de desvío para que el río pueda pasar através de la misma en tiempo de avenidas sin que causara daños y demoras en la construcción de la cortina.

En la fig. 3.2 se presenta una gráfica de volumen vs tiempo la cual ilustra los volúmenes de concreto convencional que se colocaron en el desplante y la obra de desvío.

TRATAMIENTO DE CIMENTACION PRIMERA ETAPA

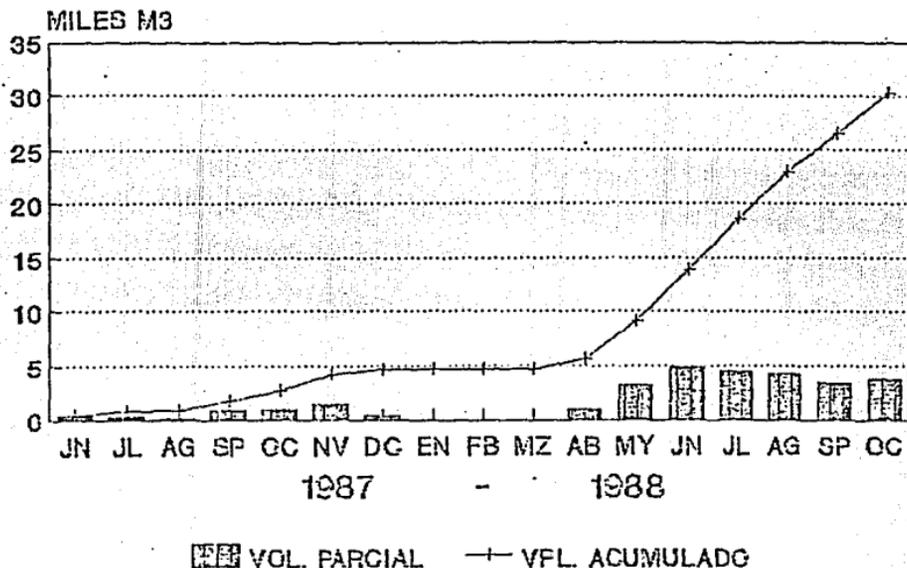


CONSOLIDACION DEL DESPLANTE

Consumos de Mezcla en kg/ml. de Cemento

Fig. 3.1

DESPLANTE Y O. DE DESVIO COLOCACION DE C. CONVENCIONAL



Preca "Trigomil"

Fig. 3.2

Una vez vuelto a desviar del río por la obra de desvío, en la obra de toma provisional se instalan tuberías de la toma y válvulas y se rellenarán con concreto convencional.

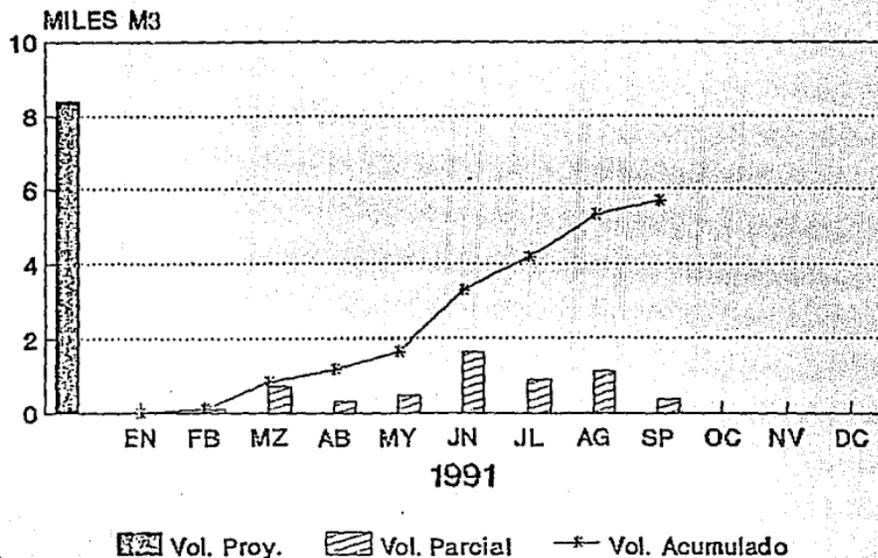
Mientras tanto, comienza la colocación de CCR sobre la obra de desvío colocando capas de 30 cms. de espesor limitadas a los lados por una zanja de 50 cms. antes de llegar a la roca de las laderas, por la parte de aguas arriba en forma idéntica para llenar entre éstas y los precolados con la membrana impermeable de concreto convencional; a continuación se presenta en las figs. 3.3, 3.4, 3.5 las gráficas de volumen de concreto convencional colocado tanto en las laderas como en la membrana impermeable, al igual que la colocación de precolados para la cara aguas arriba, así mismo se observa el volumen acumulado y el volumen proyectado.

Por la cara aguas abajo de la cortina el borde del CCR queda libre en cada capa cuidando únicamente de guardar la inclinación proyectada de esa cara, quedando con una apariencia rugosa escalonada.

En el cuerpo de la cortina del lado de la margen derecha, se va colocando dentro del concreto un relleno grava-arena, el cual es extraído posteriormente, quedando formado el túnel, para la obra de toma definitiva, después será introducida la tubería de 2.13 mts y se construirá con concreto convencional la estructura de rejillas en la cara aguas arriba. En la cara aguas abajo va la estructura de salida de la Obra de Toma que es un canal de concreto revistiendo la excavación en la roca,

LADERAS

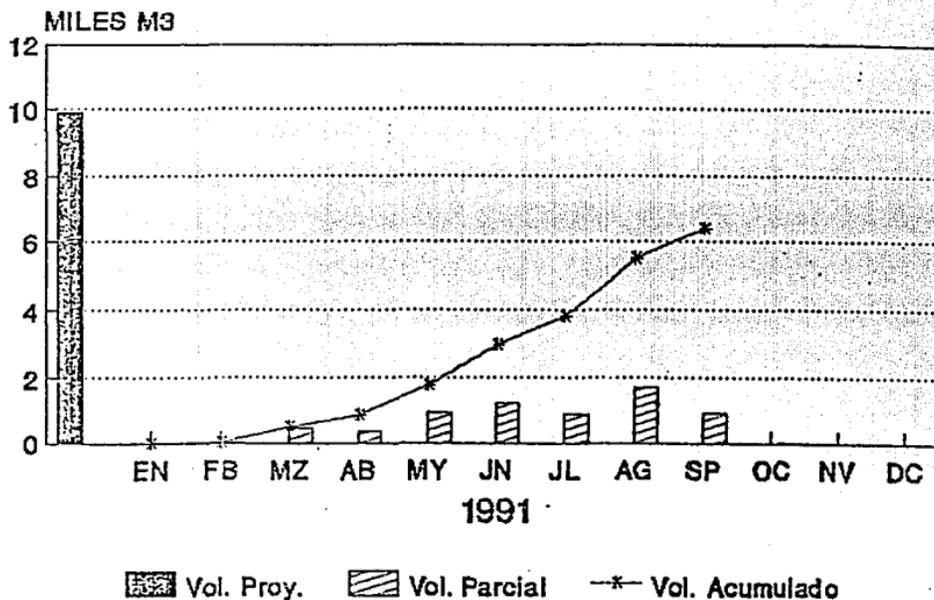
C. CONVENCIONAL



Presa "Trigomil"

Fig. 3.3

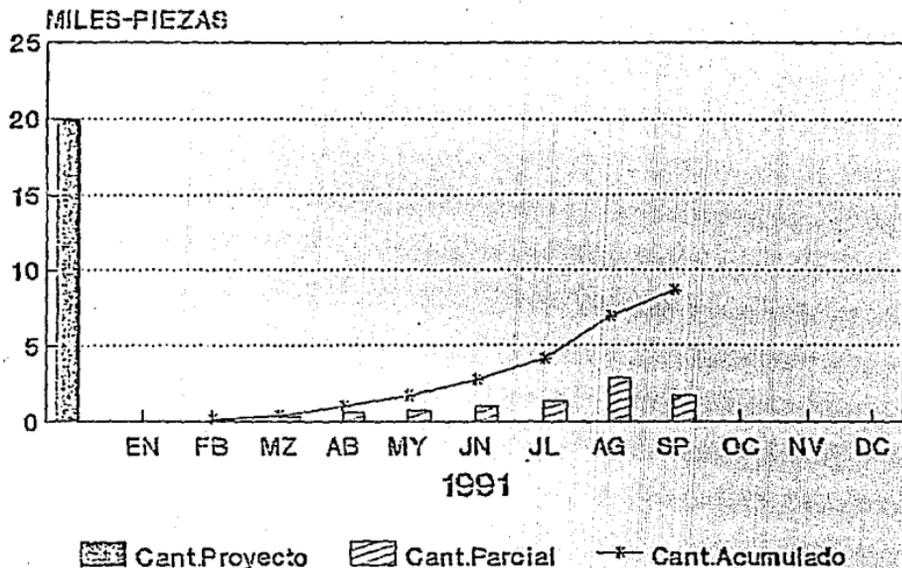
MEMBRANA C. CONVENCIONAL



Presa "Trigomil"

Fig. 3.4

COLOCACION DE PRECOLADOS C. CONVENCIONAL



Presa "Trigomil"

Fig. 3.5

apoyos para la tubería y válvulas y una caseta de operación y control sobre la misma. Esta estructura se puede construir independientemente y simultáneamente de la cortina.

A medida que se van colocando las capas de CCR de la cortina, se va dejando preparado el sitio donde será alojado el vertedor, y conforme sube la altura de construcción de la cortina, se va construyendo éste. Ver fig. 3.6

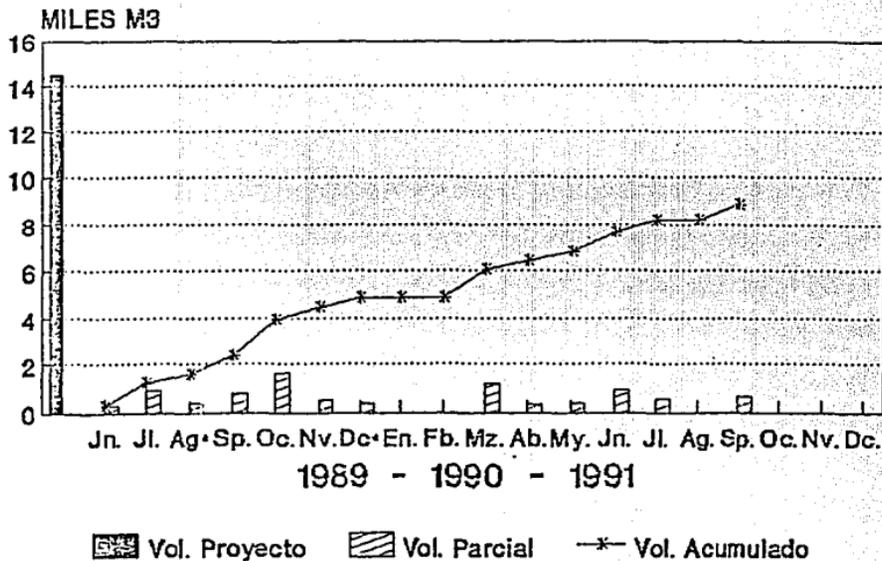
La parte superior de la cortina se terminará con concreto convencional sobre CCR siendo una estructura de 7 mts. de altura por 5 mts. de ancho, a todo largo de la cortina con excepción de la zona del vertedor que constituye "La Corona" de la misma.

El conducto de la obra de desvío, será relleno con un tapón de concreto convencional una vez que sea posible volver a pasar el agua del río en tiempo de estiaje por la tubería de la obra de toma provisional.

Con esta etapa se termina la construcción de la cortina, cuando se decida comenzar a embalsar, se cierra la válvula de mariposa de la obra de toma provisional y entonces comienza el llenado y operación de la presa.

Durante el tiempo de construcción de la cortina, simultáneamente se estará aplicando el tratamiento de inyección en laderas y galerías, siendo éstas, a continuación, revestidas de concreto.

VERTEDOR COLOCACION DE C. CONVENCIONAL



Presa "Trigomil"

Fig. 3.6

56

**CAPITULO 4 CONSTRUCCION CORTINA
DE CONCRETO COMPACTADO
Y RODILLADO**

4) CONSTRUCCION DE LA CORTINA DE CONCRETO COMPACTADO Y RODILLADO

4.1) INSTALACION Y MANEJO DE MATERIALES

El relieve topográfico de la zona donde esta enclavada la obra, presenta características suigeneris aún cuando todas las obras de este tipo se encuentren muchas similitudes, pero en el caso de "Trigomil" el área de la cortina es una boquilla estrecha del río, con taludes en forma de "V" perfecta. El banco de extracción de roca para obtener los agregados para los concretos de la cortina, se encuentra ubicado a un lado de la misma pero exactamente arriba y en la dirección del eje de la cortina, siguiendo la ladera izquierda a una distancia aproximada de 400 mts.

El desnivel existente entre el lecho del río y la corona de la cortina, hemos indicado que son 100 mts., y el desnivel entre esta corona y el banco de la roca son de 180 mts. aproximadamente. fig.4.1 Vista panorámica de la boquilla y a la margen izquierda el banco de extracción de los agregados.



Todas las características anteriores, hicieron pensar en una planeación de la obra que hiciese económicas las instalaciones y con acarreo de materiales mínimos para la fabricación de CCR y utilizar lo menos posible acarreo en camiones por lo que se consideró mover los agregados y el concreto a base de bandas y tuberías de transportación. Para ello se planearon todas las instalaciones desde el banco de roca hasta la cortina en forma escalonada; es decir, partiendo del banco de roca que es la parte mas alta, se construyeron dos plataformas de explotación de roca y mas abajo una carga del producto. Ver fig.4.2 Banco de roca.

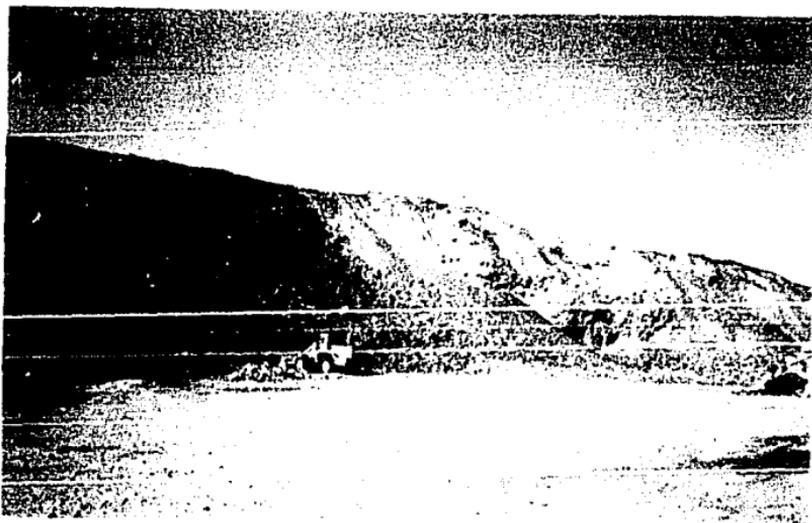


fig. 4.2

En el siguiente nivel se instaló una tolva receptora de roca, para alimentar la trituradora primaria, (Ver fig.4.3)

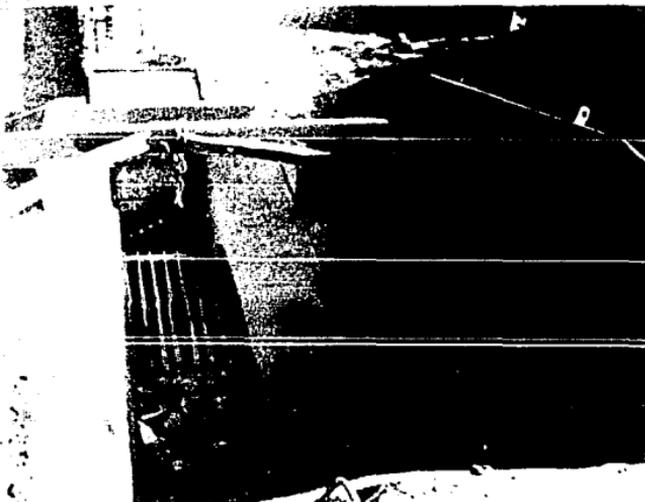


fig. 4.3 Trituradora primaria de quijadas.

En otro nivel mas abajo, se instaló la trituradora secundaria, y una cribadora comunicadas por medio de bandas transportadoras. Ver figs. 4.4, 4.5, 4.6.

Paralelamente a las instalaciones de las trituradoras se construyeron en tres niveles, tres almacenes de agregados de los diferentes tamaños necesarios para el CCR. Ver fig.4.7

Tamaño I $T_1 = < 3/4"$

Tamaño II $T_2 = 3/4" \text{---} 1.5"$

Tamaño III $T_3 = 1.5" \text{----} 3"$

Ver proceso de trituración, conducción y cribado para abastecer los tres diferentes almacenes de agregados en las figs. 4.4, 4.5, 4.6, 4.7



fig. 4.4 Banda transportadora del producto de la primera trituración.



fig. 4.5 Criba y trituradora secundaria en el proceso de elaboración de agregados pétreos.

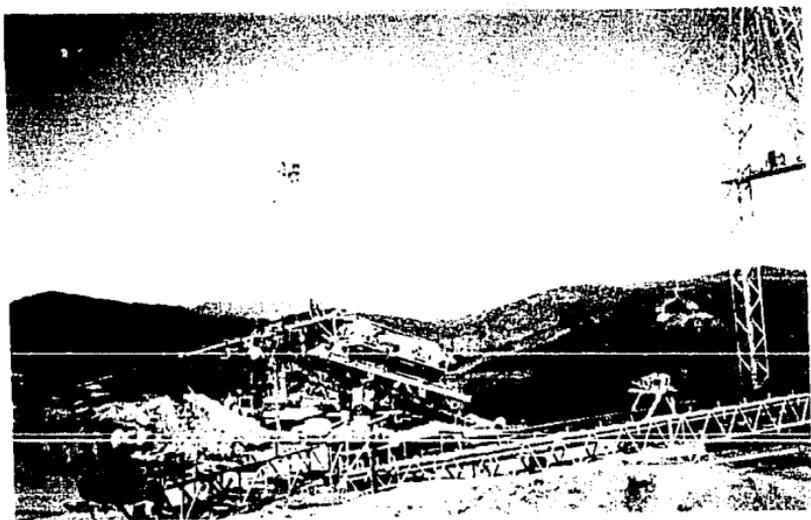


fig. 4.6 Cribadora para seleccionar los tamaños TI y TII

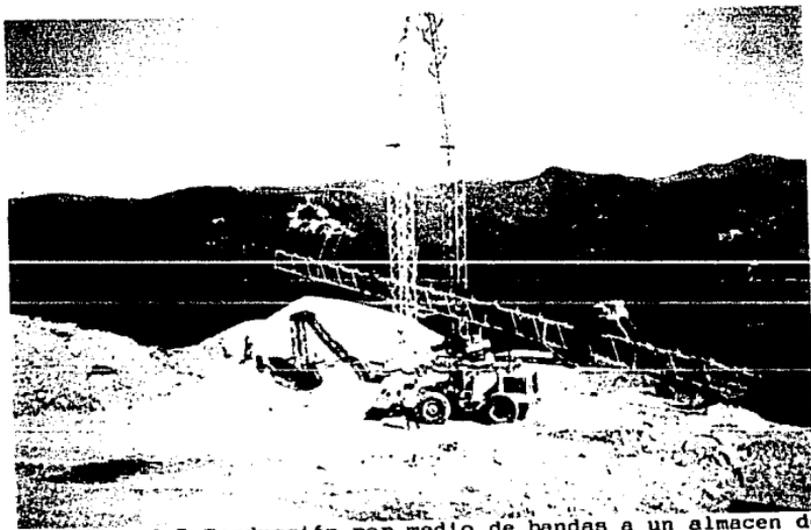


fig. 4.7 Conducción por medio de bandas a un almacén de agregados.

Bajo estos almacenes de agregados se excavó y se revistió con concreto armado, un túnel de recuperación de agregados con una banda de 42" en su interior. Ver fig.4.8

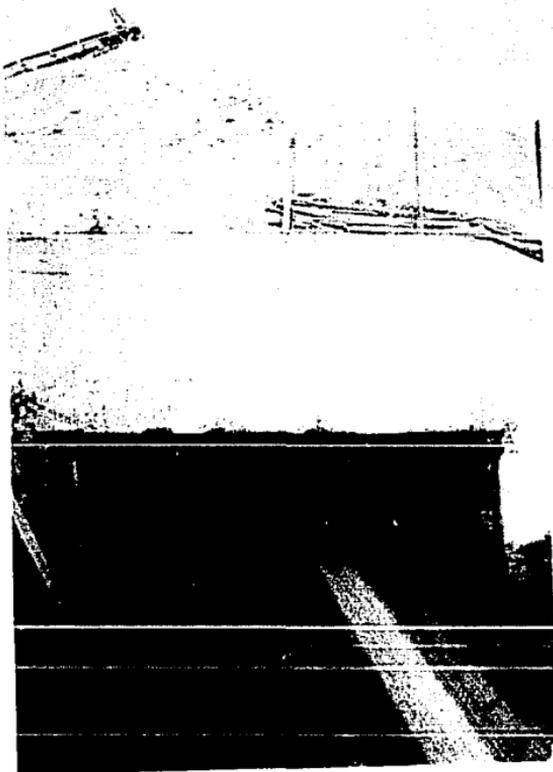
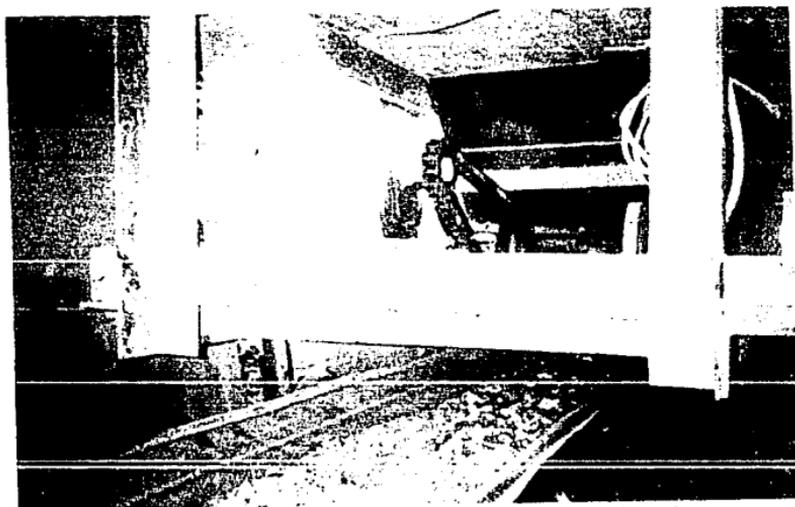


fig. 4.8
Túnel de
recuperación de
concreto armado.

A esta banda de 42" bajan los agregados por gravedad, a través de unas compuertas que se abren y cierran por medio de un control automático que se maneja en una caseta ubicada en la glorieta. Ver figs. 4.9 y 4.10



Proceso de recuperación de agregados por medio de compuertas y bandas transportadoras.

fig. 4.9 Compuertas de recuperación ubicadas por debajo de cada almacén de agregados.

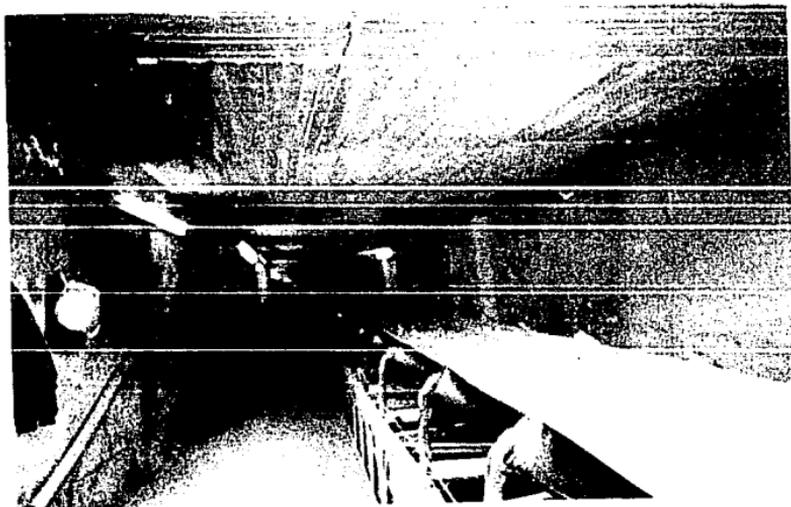


fig. 4.10 Banda transportadora con dirección a la planta de concreto ROSS 220.

Posteriormente la banda los transporta hasta las tolvas superiores de una planta de concreto Ross 220 que se ha instalado en un nivel mas abajo del túnel de recuperación de agregados y que coincide con el nivel de la corona de la cortina. Esta instalación esta alojada en una gran excavación en la ladera izquierda de la montaña a la cual se denomina "La Glorieta" y fue hecha para ubicar las instalaciones durante la construcción de la obra. fig. 4.11



fig. 4.11

La Glorieta
donde se
encuentra
ubicada la
planta ROSS 220.

De este nivel de la corona de la cortina que es donde se efectuará la maquila de CCR ahí se encuentran básculas, silos que contienen cemento y ceniza volante que vierten sus contenidos a la planta mezcladora la cual posteriormente entrega el CCR ya listo para transportarlo por medio de tuberías y bandas transportadoras al lugar de colocación esta conducción tendrá al final un amortiguador de energía y una tolva de recepción, el cual vacía el concreto a camiones Dumpcret, los cuales transportan y distribuyen el concreto a lo largo y ancho de la cortina. Ver proceso en las figs. 4.12 a 4.15 .

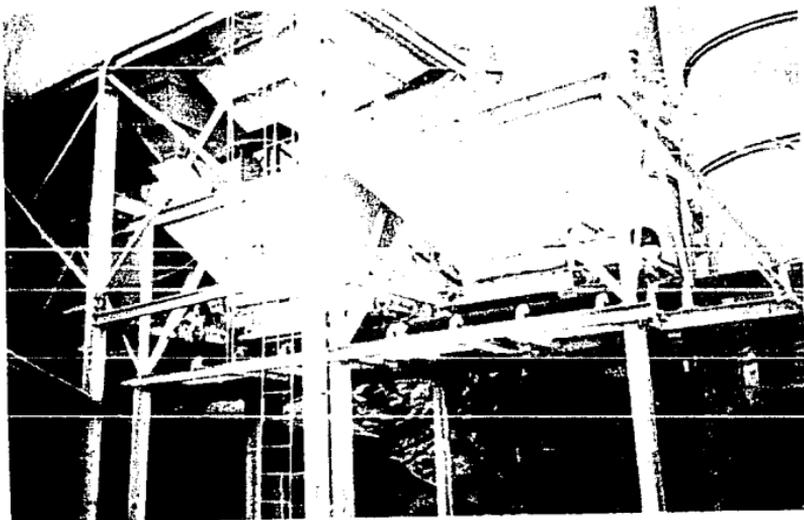


fig. 4.12 Básculas para dosificar los agregados del CCR.

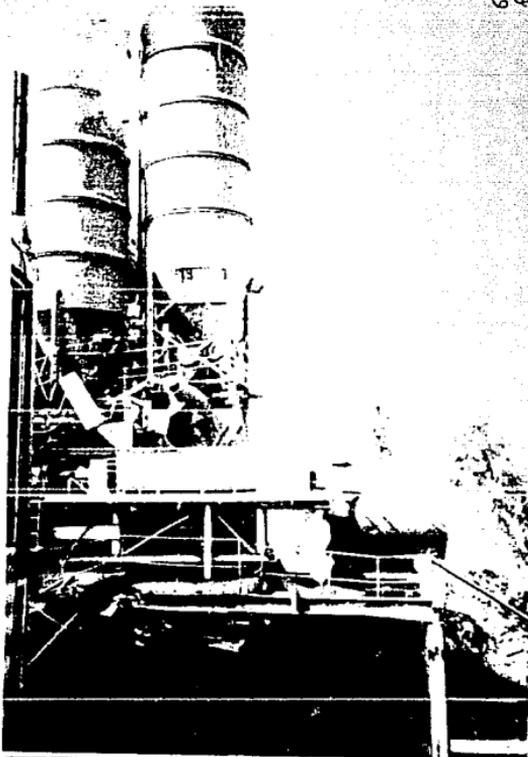


fig. 4.13 Planta
mezcladora del CCR.



fig.4.14 Sistema de
transporte del CCR
por medio de bandas y
tuberías en forma
escalonada.

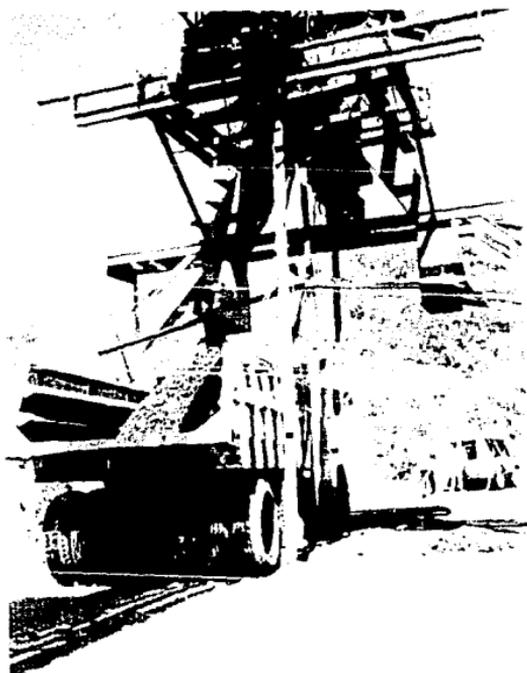


fig.4.15 Entrega del CCR en el sitio listo para su colocación.

De esta forma se aprovecho la topografía del sitio, los desniveles existentes para manejar por gravedad en forma escalonada los materiales existentes en el mismo sitio, desde el banco de roca, su procesamiento de triturado, la transportación de los bancos triturados, la maquila de los concretos, la bajada de los mismos hasta el propio sitio de colocación con el mínimo de camiones de acarreo de estos materiales; puesto que de otra forma se habrían multiplicado

mas los caminos de acareo y acceso y obviamente las distancias y costos del mismo.

4.2) PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA LA CORTINA DE CCR.

El concreto CCR con una granulometria que se muestra en la fig. 4.17 y una dosificación de:

Cemento 143 kg/m³

Ceniza 47 kg/m³

Agregados pétreos:

TI 0.86 m³/m³ de CCR, TI < 3/4"

TII 0.442 m³/m³ de CCR, 3/4" < TII < 1.5"

TIII 0.368 m³/m³ de CCR, 1.5" < TIII < 3"

Agua 127 lts/m³, 6% del peso de los agregados.

Esta mezcla trae como resultado un concreto con revenimiento igual a cero con una apariencia como se observa en la fig.4.16

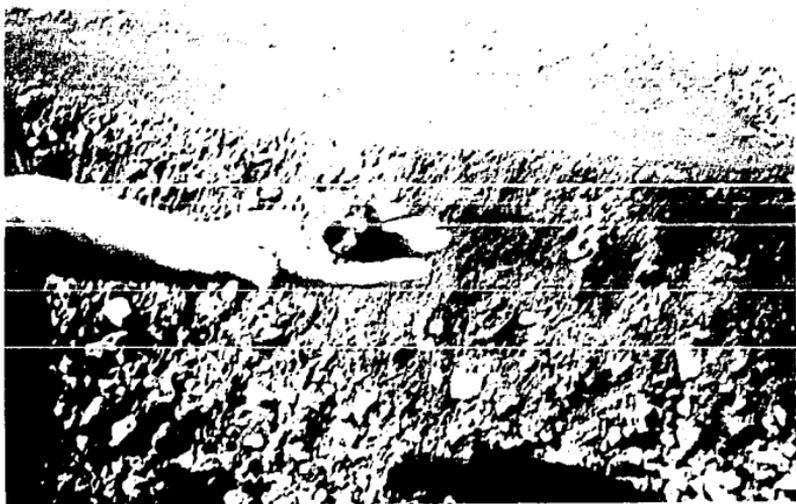
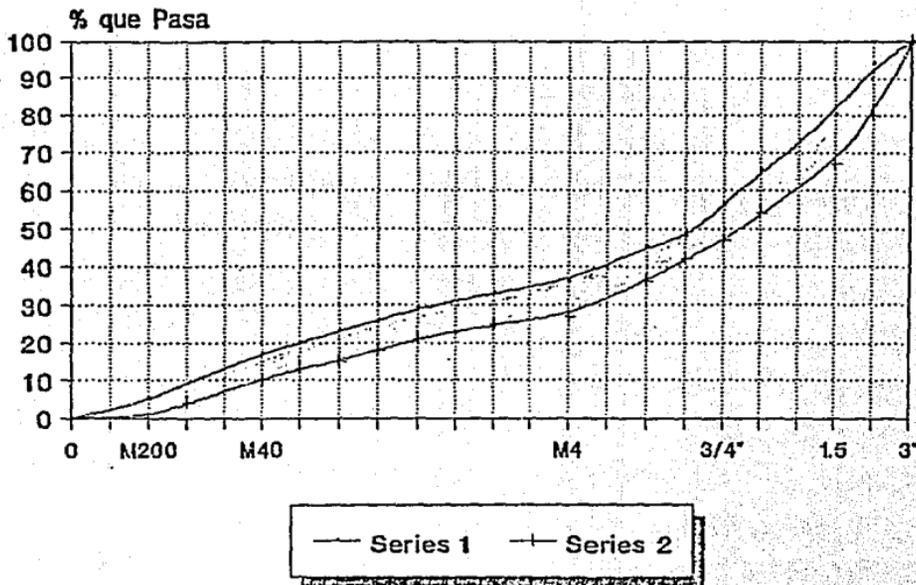


Fig.4.16

GRANULOMETRIA DEL C.C.R. Diseño



Presa "Trigomil"

Fig. 4.17

69

La ceniza que aparece en la dosificación es una ceniza que no contiene propiedades cementantes (no puzolánica) y su función es la de proporcionar una mejor granulometría para evitar el puenteo entre agregados.

Esta mezcla se extendiera con un cargador frontal sobre neumáticos (D-5) uniformemente en toda el área de la cortina siguiendo una misma dirección con un espesor de 25 a 30 cm.

Se compactara con un rodillo liso vibratorio de 10 ton.

fig.4.18 . Dando 6 pasadas a velocidad de 3 km/h con el fin de obtener una alta compactación y eliminar zonas de filtración en el concreto. Ver compactación en la fig. 4.19

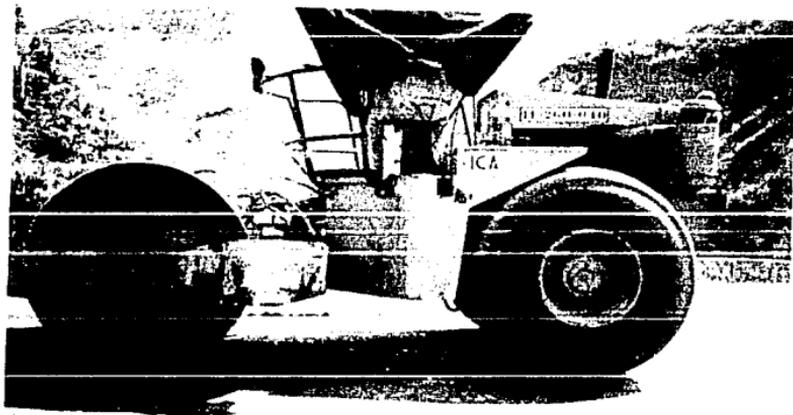


fig. 4.18 Rodillo liso vibratorio de 10 ton.



fig. 4.19 Compactación de CCR.

Después de haberse llevado a cabo la compactación, el plazo para colocar la siguiente capa de CCR sin aplicar concreto de liga es de 5 hrs. En caso contrario se aplicara un concreto de liga con un espesor de 8 cm. con la siguiente dosificación :

Cemento 183 kg/m³

Ceniza 0 kg/m³

Agregados pétreos: .

TI 1.195 m³/m³

TII 0.328 m³/m³

Agua 127 lts/m³

En la cara húmeda aguas arriba de la cortina, lleva unas piezas precoladas con concreto normal $f'c=200$ kg/cm² de 0.9x0.9 mts. de sección entre éstas, y tres capas sucesivas de CCR confinan la membrana impermeable de concreto

convencional con un espesor de 50 cm. , tambien entre la roca de las laderas y el CCR se aplica una junta de concreto convencional con un espesor aproximado de 30 cm. Ver ilustraciones en la figs. 4.20,4.21



fig. 4.20 Membrana impermeable en la cara aguas arriba.

El concreto convencional se fabricara con una planta "ORU 1040" esta planta se encuentra ubicada a 3 km. aproximadamente de la cortina porque ahi fue el lugar mas factible para fabricar los precolados y de ahi se transporta a la

"Glorieta" en camiones revolvedoras y despues es transportado por medio de canalones como se observa en la fig. 4.14

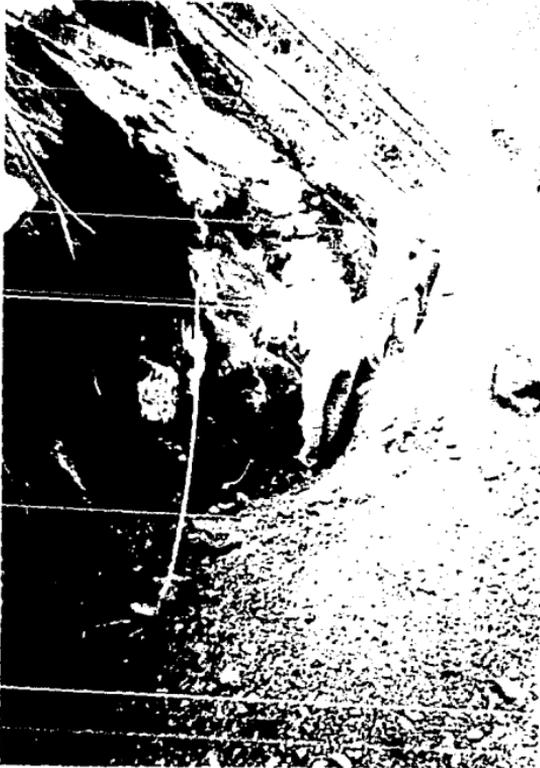


fig.4.21 Preparacion para la junta con la roca de la ladera.

CURADO DEL CCR: En la obra la intanción es tener un proceso ininterrumpido de colocación y compactación de capas sucesivas, por lo que en teoría la capa terminada se cubre con la siguiente antes de 8 hrs. y no requiere curado. Sin embargo por interrupciones en el proceso se requiere curar la

superficie cuando menos 14 días con aspersión de agua como se muestra en la fig. 4.22



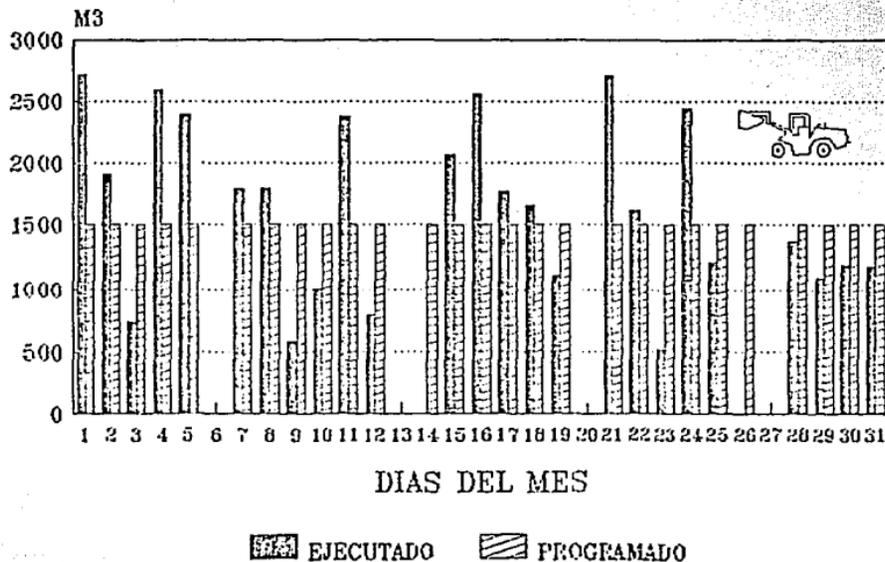
fig.4.22 Curado por aspersión.

Este proceso es repetitivo hasta llegar al nivel de proyecto, el cual es 7 m. debajo la elevación de la corona porque esta se rematará con concreto convencional.

A continuación se presenta una tabla y una gráfica de los volúmenes programados vs volúmenes ejecutados día a día en el mes de octubre de 1991 figs. 4.23, 4.24

El programa se vio retrasado muchas veces por problemas en el transporte de la Glorieta al lugar de colocación del CCR por fallas en las bandas transportadoras y la segregación de los agregados. A pesar de todos estos contratiempos el programa de la obra para 1991 se ha ejecutado de forma satisfactoria

COLOCACION DEL C.C.R. AVANCE DIARIO



OCTUBRE '91

Fig. 4.23

57

COMISION NACIONAL DEL AGUA

GERENCIA EN EL ESTADO DE JALISCO
RESIDENCIA GENERAL DEL PROYECTO "TRIGOMIL"

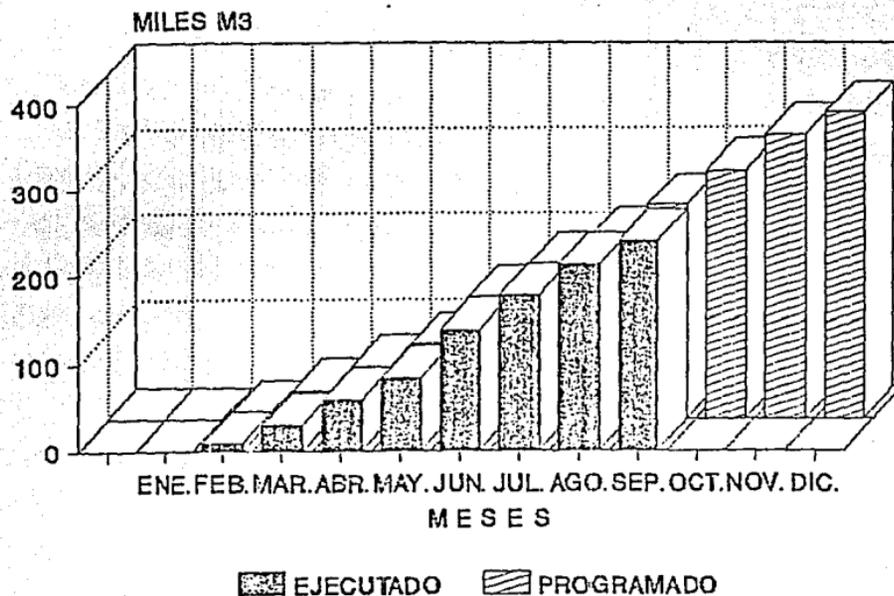
Fig. 4.24

FECHA	ELEVACIONES m.s.n.m.		VOLUMEN PROGRAMADO		VOLUMEN EJECUTADO		VOLUMEN FALTANTE POR EJECUTAR
	PROGRAMADA	ACTUAL	PARCIAL	ACUMULADO	PARCIAL	ACUMULADO	
ANTERIOR	1171.80	1170.00		250,060		240,718	113,982
19 OCT. '91	1171.90	1170.20	1306	251,366	2,722	243,440	111,260
2 OCT. '91	1172.18	1170.52	1306	252,672	1,912	245,352	109,348
3 OCT. '91	1172.46	1170.84	1306	253,978	731	246,083	108,617
4 OCT. '91	1172.74	1171.16	1306	255,284	2,601	248,684	106,016
5 OCT. '91	1173.02	1171.48	1306	256,590	2,395	251,079	103,621
6 OCT. '91	1173.30	1171.80	1306	257,896	0	251,079	103,621
7 OCT. '91	1173.58	1172.12	1306	259,202	1,798	252,877	101,823
8 OCT. '91	1173.86	1172.44	1306	260,508	1,794	254,671	100,029
9 OCT. '91	1174.14	1172.76	1306	261,814	584	255,255	99,445
10 OCT. '91	1174.42	1173.08	1306	263,120	1,007	256,262	98,438
11 OCT. '91	1174.70	1173.40	1306	264,426	2,376	258,638	96,062
12 OCT. '91	1174.98	1173.72	1306	265,732	787	259,425	95,275
13 OCT. '91	1175.26	1174.04	1306	267,038	0	259,425	95,275
14 OCT. '91	1175.54	1174.36	1306	268,344	0	259,425	95,275
15 OCT. '91	1175.82	1174.68	1306	269,650	2,065	261,490	93,210
16 OCT. '91	1176.10	1175.00	1306	270,956	2,570	264,060	90,640
17 OCT. '91	1176.38	1175.32	1306	272,262	1,776	265,836	88,864
18 OCT. '91	1176.66	1175.64	1306	273,568	1,658	267,494	87,206
19 OCT. '91	1176.94	1175.96	1306	274,874	1,118	268,612	86,088
20 OCT. '91	1177.22	1176.28	1306	276,180	0	268,612	86,088
21 OCT. '91	1177.50	1176.60	1306	277,486	2,720	271,332	83,368
22 OCT. '91	1177.78	1176.92	1306	278,792	1,619	272,951	81,749
23 OCT. '91	1178.06	1177.24	1306	280,098	515	273,466	81,234
24 OCT. '91	1178.34	1177.35	1306	281,404	2,447	275,913	78,787
25 OCT. '91	1178.62	1177.90	1306	282,710	1,215	277,128	77,572
26 OCT. '91	1178.90	1178.20	1306	284,016	0	277,128	77,572
27 OCT. '91	1179.18	1178.20	1306	285,322	0	277,128	77,572
28 OCT. '91	1179.46	1178.80	1306	286,628	1,371	278,499	76,201
29 OCT. '91	1179.74	1179.10	1306	287,934	1,100	279,599	75,101
30 OCT. '91	1180.02	1179.40	1306	289,240	1,200	280,799	73,901
31 OCT. '91	1180.30	1180.00	1306	290,546	1,184	281,983	72,717

h L

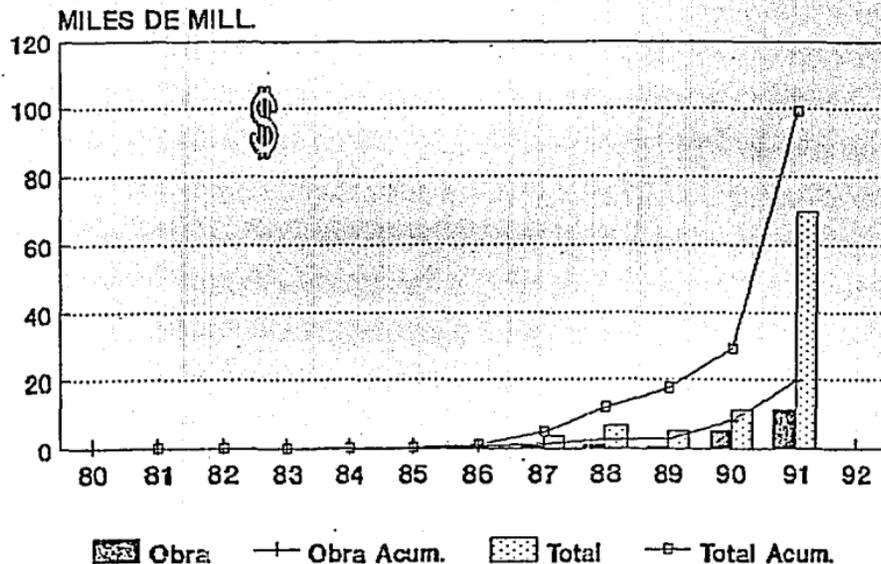
como se observa en la fig. 4.25 . Tambien podemos observar por medio de la gráfica de erogaciones en la fig. 4.26 que el programa de obra se vio afectado por diversos problemas y no fue sino hasta 1991 en el año en el cual la obra tuvo una ejecución importante.

COLOCACION DEL G.C.R. AVANCE MENSUAL



EROGACIONES

Gráfica



PRESA "TRIGOMIL"

Fig. 4.26

CAPITULO 5 CONCLUSIONES

5) CONCLUSIONES

El procedimiento constructivo utilizado en " TRIGOMIL " para la cortina de gravedad, tiene muchas ventajas contra el concreto convencional, como son:

- MANEJO: El manejo del CCR es como el de una terracería en estado fresco y como consecuencia se manejan mayores volúmenes de éste y puede ser un proceso ininterrumpido de construcción.
- COSTO: El costo se abate con su manejo y su dosificación puesto que se utiliza muy poco material cementante, además de no usar cimbra .
- VARIACIONES VOLUMETRICAS:
Por contener menor cantidad de cementante se genera menor cantidad de calor de hidratación, evitando mayores variaciones volumétricas y con esto menor agrietamiento.

Sin embargo existen ciertas controversias que consideraríamos como desventajas tales como: Adherencia entre capas, permeabilidad y tratamiento de juntas frías. Además aún no se han estandarizado pruebas para su control de calidad, aunque no se ha dicho la última palabra en el diseño de éste. " TRIGOMIL " representa el inicio de la aplicación en la construcción de un procedimiento novedoso en México, como es este en cortinas de gravedad, el cuál ofrece amplias perspectivas de continuarse empleando con mayor frecuencia, por las ventajas que ofrece económicamente y su rapidez de

ejecución no solo en cortinas, sino tambien en diversas estructuras, como son carreteras, rellenos masivos, diques, etc.

REFERENCIAS

- Francisco Torres Herrera, consultor IMTA, CNA.

- Rodrigo Murillo Fernández, consultor IMTA, CNA.

1990 México D.F.

" CONCRETO COMPACTADO RODILLADO EN PRESAS Y PAVIMENTOS "

- Benito Rodríguez Elizondo

- Octavio Coria Ochoa

Julio-1987 40 Aniversario del grupo ICA. México D.F.

" PRESA TRIGOMIL "

- S.A.R.H. Residencia general de supervisión Noviembre de

1991 " PRESA TRIGOMIL " Jal. Mex.