

881215

**UNIVERSIDAD ANAHUAC**

ESCUELA DE INGENIERIA

Con estudios Incorporados a la Universidad Nacional Autónoma de México

2  
24



**PROCESO CONSTRUCTIVO DEL CONCRETO COMPACTADO  
CON RODILLOS DE LA CORTINA DE LA PRESA TRIGOMIL**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
**EDUARDO DOMIT BARDAWIL**

DIRECTOR DE TESIS : ING. JAVIER VAZQUEZ TIRADO

MEXICO D. F.

1992



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 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**

<b>INTRODUCCION</b>	<b>3</b>
<b>I. HISTORIA Y ANTECEDENTES DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS</b>	<b>5</b>
1. HISTORIA	5
2. ANTECEDENTES EN MEXICO	10
<b>II. DEFINICION, CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL CCR Y SUS COMPONENTES</b>	<b>12</b>
1. ASPECTOS GENERALES Y DEFINICIONES	12
2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	13
3. MATERIALES	18
3.1 AGREGADOS	18
3.2 CEMENTO Y PUZOLANAS	21
3.3 ADITIVOS	22
4. PROPIEDADES	24
4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION	24
4.2 PROPIEDADES ELASTICAS	25
4.3 CAPACIDAD DE DEFORMACION	26
4.4 CAMBIO DE VOLUMEN	27
4.5 PERMEABILIDAD	27
4.6 PROPIEDADES DE CORTANTE	27
4.7 DURABILIDAD	28
<b>III. SELECCION DE ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCION DE LA CORTINA</b>	<b>29</b>
1. CORTINA DE MATERIALES GRADUADOS	30
2. CORTINA DE CONCRETO CONVENCIONAL	31
3. ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE CONCRETO CONVENCIONAL Y CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS	33
<b>IV. PRESA TRIGOMIL</b>	<b>37</b>
1. LOCALIZACION	38
2. DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS	40
2.1 GEOLOGIA Y TOPOGRAFIA DE LA BOQUILLA	40
2.2 CARACTERISTICAS DE LA CORTINA	42

<b>3. PROCESO CONSTRUCTIVO</b>	<b>45</b>
3.1 CONSTRUCCIÓN Y HABILITACIÓN DE ACCESOS	45
3.2 LIMPIA Y PREPARACIÓN DEL TERRENO	47
3.3 OBRAS PRELIMINARES Y ADICIONALES A LA CORTINA	48
A) GALERÍAS DE EXPLORACIÓN	48
B) OBRA DE TOMA PROVISIONAL	50
C) ATAGUÍAS	51
D) OBRA DE DESVÍO	52
E) CIMENTACIÓN	53
F) OBRA DE TOMA DEFINITIVA	54
G) BORDO DE PRUEBA	55
H) TAPÓN DE CIERRE	58
3.4 EXTRACCIÓN, PROCESAMIENTO, Y ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS	59
3.5 CONCRETO CONVENCIONAL	67
A) MEZCLADO	67
B) TRANSPORTE Y COLOCACIÓN	68
C) FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE PIEZAS PRECOLADAS	70
3.6 CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS	72
A) MEZCLADO	72
B) TRANSPORTE	77
C) COLADO	81
D) COMPACTACIÓN	85
E) CONTROL DE TALUDES DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LA CORTINA	90
F) JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN HORIZONTAL	93
G) CURADO Y PROTECCIÓN	96
H) CONTROL DE CALIDAD	99
3.7 OBRAS COMPLEMENTARIAS	102
3.8 RELACIÓN DE EQUIPO Y MAQUINARIA	103
<b>V. PLANEACION, PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRA</b>	<b>105</b>
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>117</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>118</b>

## **INTRODUCCION:**

El Concreto Compactado con Rodillos (que en lo sucesivo se abrevia con sus iniciales CCR) se ha convertido en una de las soluciones más viables en la colocación de concreto masivo, sobre todo en la construcción de presas y pavimentos.

Este material se empezó a utilizar a fines de los años sesentas, existiendo registros de procedimientos similares en su colocación desde 1876. De hecho en el año de 1941 se utilizó un procedimiento semejante en la colocación del pavimento del aeropuerto de Yakima en Washington, y no obstante que el equipo usado era muy rudimentario y que el control de calidad del material en lo que se refiere a mezclas no fue el ideal, el pavimento sigue prestando muy buen servicio, con un ligero mantenimiento a base de una capa delgada de cemento asfáltico.

Cabe señalar que el CCR tiene cada vez más aceptación como alternativa constructiva debido básicamente a su calidad, tiempo de colocación y economía:

## **CALIDAD:**

El CCR endurece hasta formar un concreto similar en cuanto a calidad al del convencional de igual relación agua-cemento.

#### **TIEMPO DE COLOCACION:**

La elaboración, transporte y colocación es sustancialmente más rápida que la del concreto convencional.

#### **ECONOMIA:**

Debido a su facilidad de colocación y a la cantidad de cemento necesaria para elaborar un metro cúbico de concreto, el costo del CCR se ve disminuido en ahorros que van de un 30 a un 60 % respecto a otras alternativas.

## **I. HISTORIA Y ANTECEDENTES DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS:**

### **1.HISTORIA:**

El concepto de " Concreto Compactado con Rodillos (CCR)" comenzó a utilizarse a finales de los años sesenta y principio de los setentas.

Existen registros del uso de procedimientos similares a los utilizados para elaborar el CCR desde 1876. El concreto empleado en la pavimentación del aeropuerto de Yakima, en el Estado de Washington, Estados Unidos, en el año de 1941 fue construido con procedimientos similares al del CCR, aunque con equipo rudimentario, y con un diseño de mezcla y control de calidad que tal vez no fueron los ideales; sin embargo este pavimento ha prestado muy buen servicio hasta hoy en día.

Las primeras investigaciones y trabajos de desarrollo del CCR fueron conducidos por el "Cuerpo de Ingenieros Militares de los Estados Unidos" y por las autoridades del Valle de Tennessee, quienes emitieron la "Especificación General de Construcciones No. G-48 para Concreto Compactado con Rodillos" para regir la producción y el colado de concreto sin revenimiento, mediante métodos de construcción relacionados normalmente con la colocación de enrocamientos compactados con rodillos.

Dentro del grupo de ingenieros militares que se dedicaron a estudiar el CCR se distingue Ernest K. Schrader, Ingeniero Consultor en Walla Walla, Washington, quien durante los últimos 20 años se ha dedicado al diseño, construcción, investigación y evolución del concreto, y es uno de los pioneros en CCR, habiendo recibido diversos reconocimientos destacando entre otros: el que le concedió la "Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos" por su labor en la Educación e Investigación de Grandes Presas, la Medalla "Tudor" de la Sociedad Americana de Ingenieros Militares, para el ingeniero más sobresaliente menor de 36 años, y el reconocimiento de las Naciones Unidas por su participación en la "Modernización de la Tecnología del Concreto".

En 1970 en la Conferencia sobre "Construcciones de Ingeniería" en Asilomar, California; el Profesor Jerome M. Raphael expuso sobre una extrapolación del suelo-cemento, aplicando los conceptos sobre colocación y compactación de terraplenes enriquecidos con cemento, utilizando equipo de movimiento de tierras y compactación. En dicha conferencia postuló que el incremento en la resistencia al esfuerzo cortante del material granular enriquecido con cemento puede dar como resultado una reducción significativa en la sección transversal de una presa en comparación con otras alternativas. Logrando también un ahorro en tiempo y dinero si se utilizan métodos de mezcladoras y colocación continua.

En 1972 Robert W. Cannon, mostró los resultados de pruebas aplicadas a concreto transportados por camiones, esparcido por un



cargador frontal, y compactado con rodillo vibratorio, en sus conferencias sobre "Construcción de Presas de Concreto usando Métodos de Compactación de Tierra" y "Compactación de Concreto Masivo con Rodillo Vibratorio".

También el Cuerpo de Ingenieros Militares realizó pruebas a concretos transportados, colocados y compactados con equipo común de movimiento de tierras en Jackson Mississippi y en "Lost Creek Dam", en Oregon, los resultados demostraron que el CCR tiene propiedades equivalentes a las de un concreto convencional.

De los primeros registros que se tiene de colocación masiva de CCR, es la "Presa Willow Creek" en Heppner Oregon, Estados Unidos, misma que necesitó de muchos años de pruebas y evaluaciones.

Simultáneamente a Willow Creek, en Pakistán, se realizó una colocación masiva de CCR para la construcción de la presa "Tarbela" (1975) donde se colocaron aproximadamente 344,000 m<sup>3</sup> de este material, en 44 días, con un rendimiento de más de 7,600 m<sup>3</sup>/día con un máximo de 19,000 m<sup>3</sup>/día. Lográndose la terminación del colado con éxito en un periodo muy restringido, antes de la temporada de lluvia y del llenado del embalse.

En 1976 se llevó a cabo la primera colocación estructural de CCR en Estados Unidos, en la Planta Nuclear "TVA's Bellefonte" donde se usaron 6,000 m<sup>3</sup> de CCR para llevar 3 m. la cimentación sobre

la cual se construyó el edificio de turbinas.

Hoy en día ya existen antecedentes de la utilización de CCR para colados masivos, en diversos lugares como:

En Estados Unidos:

PROYECTO	LUGAR	ALTURA	CANT. CCR	AÑO
(Presa)		(m)	(m3)	
"Willow Creek"	Hepner,OR	52	331,000	1982
"North Loop"	Austin, Tx	10	15,800	1984
"Winchester"	Winchester,KY	21	24,500	1984
"Middle Fork"	Parachute,CO	38	42,000	1984
"Great Hills"	Austin, Tx	37	10,000	84-85
"Galesville"	Azalea,OR	51	170,500	1985
"Upper Stillwater"	Duchesne,UT	88	1,070,000	84-85
"Pamo"	E.U.	80	371,000	1985
"Monksville"	Ringwood,NJ	46	221,000	1986
"Grindstone Canyon"	Ruidoso,NM	42	87,500	1986
"Elk Creek"	E.U.	76	796,000	1988

En el resto del Mundo:

PROYECTO (Presa)	LUGAR	ALTURA (m)	CANT. CCR (m3)	AÑO
'Tarbela'	Pakistán	ND	344,000	1975
'Shimajigawa'	Japón	89	170,000	1980
'Milton Brook'	G.B.	27	17,400	1981
'Cooper Field'	Australia	40	138,000	1984
'Ohkawa'	Japón	78	1,000,000	1985
'Erizama'	España	45	12,000	1985
'Trigomil'	México	100	351,600	1985
'Zaaihoek'	Sudáfrica	50	120,000	1986
'Saco'	Brasil	56	132,000	1986
'Craigbourne'	Australia	25	22,000	1986
'Arable'	Sudáfrica	35	110,000	1986
'Tamagawa'	Japón	103	1,000,000	1986
'Mist Kraal'	Sudáfrica	30	35,000	1986
'KengKou'	China	57	60,000	1986
'Olivettes'	Francia	37	153,000	1987
'Varzea Grande'	Brasil	31	30,000	1987
'Wriggleswade'	Sudáfrica	37	236,000	1987
'Kneelpoort'	Sudáfrica	50	55,000	1987
'Wolewdans'	Sudáfrica	70	165,000	1987
'Bucca'	Australia	12	24,000	1987
'Gassan'	Japón	155	2,000,000	1987
'Rilou'	Francia	25	55,000	1987
'Ain Al Koreima'	Marruecos	26	26,500	1987
'Santa Eugenia'	España	80	219,000	1987
'Pirica'	Japón	40	360,000	1988
'Mano'	Japón	69	101,000	1988
'Acaua'	Brasil	79	623,000	1988

## **2. ANTECEDENTES EN MEXICO:**

Recientemente, gracias a la aceptación y difusión de CCR en el Mundo, en México se comenzó a considerar como alternativa constructiva.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) a través de la Comisión Nacional del Agua, decidió se diseñara la primera presa a nivel experimental, para control de avenidas y almacenamiento "La Manzanilla", localizada en las cercanías del poblado "Colonia Nuevo México", entre León y Silao, en el Estado de Guanajuato, sobre el Río Ibarrilla.

La Manzanilla fue diseñada para una capacidad total de almacenamiento de 6'000,000 m<sup>3</sup>, con un embalse de 350,000 m<sup>2</sup>. La cortina tiene una altura de 45 m., longitud aproximada de 200 m. y se colocaron 64,000 m<sup>3</sup> de CCR.

También la Comisión Federal de Electricidad experimentó con CCR en un desvío del Proyecto Hidroeléctrico "Peñitas" en el Estado de Chiapas.

Como consecuencia de los resultados obtenidos la SARH proyectó Presa "Trigomil", la primera con cortina de CCR en México, la de mayor altura en el Mundo (cuando se proyectó) y con una sección transversal muy reducida.

Actualmente se proyecta la Presa "Peña Colorada" en el Estado de Colima, contemplando un volumen de 500,000 m<sup>3</sup> de CCR y una altura de 50 m.

## **II. DEFINICION, CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL CCR Y SUS COMPONENTES:**

### **1. ASPECTOS GENERALES Y DEFINICIONES:**

El concreto se puede definir como un material compuesto, que consiste esencialmente en un medio aglutinante dentro del que se encuentran contenidas partículas o fragmentos de agregados; el aglutinante es una mezcla de algún tipo de cemento y agua, el cual debe ser suficiente para contener los agregados llenando todas las cavidades.

El Concreto Compactado con Rodillos se define como la mezcla formada por grava de tamaño máximo 76.2 mm. (3", Grava 3), arena con finos no plásticos o cenizas volantes, cemento y agua. Se coloca con equipo pesado y se compacta mediante vibración externa proporcionada por rodillos lisos vibratorios. Su revenimiento es nulo. Debiendo ser lo suficientemente seco para soportar el peso del equipo vibratorio, pero suficientemente húmedo para permitir una adecuada distribución del cementante a lo largo de la masa durante el mezclado y el proceso de vibrado. En su estado fresco presenta apariencia de tierra que al endurecer, adquiere aspecto y propiedades físicas semejantes a las del concreto convencional.

## **2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS:**

A continuación se presentan las ventajas y desventajas del CCR con respecto al concreto convencional.

### **VENTAJAS:**

-El CCR resulta más económico que el concreto convencional debido a que el consumo de cemento en el CCR es menor (de 50 a 70 Kg/m<sup>3</sup>) contra el concreto convencional (promedio de 300 Kg/m<sup>3</sup>) para resistencias similares.

-Gracias a su bajo contenido de cemento, el calor de hidratación que se genera es menor, minimizando los agrietamientos y fisuras por efecto térmico.

-Otro factor que hace más económico al CCR, es su procedimiento constructivo, que para colados masivos el rendimiento es mucho mayor que el concreto convencional. Además, el CCR nos permite la utilización de más opciones en el transporte del mismo.

-Los agregados que componen el CCR a diferencia que el concreto convencional no necesitan ser lavados, puesto que los finos hasta cierto punto son permisibles, por lo tanto, la necesidad de tener un riguroso control de calidad en la producción de los agregados es menor.

-Utiliza menor cantidad de cimbra.

-El procedimiento constructivo del CCR requiere menor cantidad de mano de obra, basándose en la utilización de equipo y maquinaria de construcción pesada. Aunque el costo de mano de obra sea bajo, la ventaja de la utilización de maquinaria radica en un trabajo más exacto, eficiente (mayor avance), de mejor calidad, y minimiza los errores humanos.

-Mayor conveniencia desde el punto de vista financiero, esto gracias a lo siguiente:

Dado que el procedimiento constructivo del CCR es más rápido, la recuperación de la inversión se logra antes, al entrar en funcionamiento el proyecto con anticipación con respecto a las otras alternativas (Concreto convencional y materiales graduados).

-Se puede lograr la terminación del proyecto en una sola temporada o estación del año (temporada de secas).

-El procedimiento de construcción en el colado es continuo, lo que implica un menor número de juntas, lo cual representa un ahorro dado el alto costo de las mismas.

-Las filtraciones se reducen a lo largo del tiempo, debido a la calcificación y depósito de azolves en las juntas.



Es importante mencionar, no obstante a las ventajas que representa el CCR con respecto al concreto convencional, sus características y comportamiento es muy similar a las del concreto convencional.

#### **DESVENTAJAS:**

Una desventaja que puede presentar el CCR, es la eterna lucha entre lo nuevo y lo viejo, es decir, métodos innovadores contra los métodos tradicionales. Sin embargo la utilización de este procedimiento ha sido probado en muchas ocasiones, y demostrado su comportamiento en diversos proyectos que actualmente funcionan en todo el mundo. Dados los excelentes resultados obtenidos, esta desventaja se ha ido sobreponiendo.

A continuación se presentan las principales desventajas del CCR, y los medios más adecuados para evitar o minimizar las mismas:

-En estado fresco, antes de ser compactado el CCR tiene apariencia de tierra y no de concreto, por lo que se puede dar el caso de que la gente descuide su control de calidad y no lo trate como un concreto, provocando que el material se contamine, que no se de el tiempo adecuado de fraguado, problemas de segregación, que no se consolide, un curado inadecuado, que son los problemas comunes por considerarse en cualquier tipo de concreto.

Esto se evita concientizando a la gente y con estrictos controles de calidad.

- En caso de lluvia se debe suspender el mezclado y el colado del CCR, por que puede variar la relación agua cemento y por lo tanto la resistencia y trabajabilidad de la misma. En este caso se debe suspender el colado, para posteriormente continuar el proceso de colocación mediante una junta.

Esta desventaja se minimiza gracias a la rapidez del procedimiento constructivo del CCR, se puede concluir el colado en una sola temporada de secas, evitando suspensiones en el proceso.

-Debido a la continuidad que debe llevar este método es importante cuidar la ruta critica del proceso, teniendo especial interés en la sincronización de tiempos evitando suspensiones innecesarias.

-Otra desventaja es la dependencia directa del equipo, dada la continuidad del proceso cualquier falla en el equipo provoca una suspensión casi total de la obra.

Se puede disminuir la probabilidad de interrupción en el proceso, con un correcto mantenimiento en la maquinaria, y de ser posible teniendo en lugar de maquinaria única de gran capacidad para cada parte del proceso, maquinaria doble o más con menor capacidad que sumadas iguale la de la primera. Puesto que en caso de falla, las maquinas alternas pueden seguir funcionando, sin suspender el proceso mientras se repara la maquina descompuesta.

-Por ser un procedimiento continuo, las 24 horas, el personal puede no rendir constantemente lo mejor de sí, cansándose fácilmente, volviéndose monótono el trabajo, lo que aumenta la probabilidad de

error humano, y los controles pueden perder cierta eficacia.

Para evitar esto, es conveniente la rotación de cuadrillas de trabajo, tanto de turno como de frente de ataque. Para así, darle más variedad al trabajador dentro de lo posible.

Concluyendo, la mayor parte de las desventajas de utilizar el CCR se superan fácilmente con el simple hecho de planear y controlar correctamente el proceso del mismo.

### **3. MATERIALES.**

#### **3.1 AGREGADOS.**

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

Algunas sustancias deletéreas como los finos que pasan la malla No.200, que para mezclas plásticas comunes (concreto convencional) afectan los requerimientos de agua (y por lo tanto la resistencia) pueden no ser perjudiciales en las mezclas rígidas para el CCR. Sin embargo, se deben evitar las sílices y la mica, puesto que pueden contribuir a la expansión incontrolada y a otros efectos indeseables. Los porcentajes superiores a lo normal de materiales finos que pasan por la malla No. 200 pueden en realidad disminuir los requerimientos de la pasta para un nivel dado de esfuerzo de compactación, por lo tanto el límite de finos permisibles se establecerá mediante pruebas, evaluando su efecto en las propiedades del concreto deseadas.

Los tamaños mayores que 3 pulgadas (76 mm.) no parecen reditu

suficiente ahorro en el costo del material como para compensar el costo adicional de la dosificación y los costos que ocasiona el tratamiento de los problemas de segregación relacionados con agregados más grandes o tomar en cuenta las consecuencias de ésta al determinar los requisitos de resistencia, adherencia y permeabilidad.

Cuando las capas de colado son mayores que 3 veces el tamaño máximo de agregado, el tamaño tiene poca influencia en la capacidad de compactación de la clase de equipo vibratorio utilizado para los enrocamientos compactados con rodillos.

La granulometría no es tan importante para lograr la compactación deseada en el CCR como en el concreto de revenimiento normal, gracias a las diferencias en el equipo utilizado para densificar los dos tipos de concreto. Sin embargo la graduación del agregado sí afecta la compactabilidad relativa del concreto y puede influir en el número mínimo de vibraciones (o pasadas) requeridas para la compactación total de una capa, por lo que se recomienda el uso de agregados de granulometría uniforme.

El proporcionamiento del agregado grueso para los requerimientos mínimos de mortero depende de los efectos combinados de los huecos entre agregados, el área de la superficie y la forma de las partículas. Cuando las granulometrías se controlan mediante cribado y división de los agregados en distintas fracciones de tamaño, el contenido de huecos puede mantenerse dentro de los

límites. La compactabilidad se incrementa con agregados de forma redondeada o cúbica y disminuye con los de forma plana.

La segregación de los agregados durante el manejo, tiende a incrementarse cuando aumenta el tamaño máximo y sus proporciones. Por lo tanto, las proporciones de tamaños más pequeños por lo general se incrementan para reducir la segregación. Desde el punto de vista económico, esto también redundaría en la utilización de todos los grupos de tamaños y reduce el desperdicio de las fracciones más pequeñas de agregados.

Para cualquier granulometría, el volumen mínimo de agregado que produzca una consistencia sin revenimiento puede ser establecido proporcionando la parte de mortero necesaria para obtener la resistencia requerida aproximada y ajustando las proporciones de agregado grueso y mortero hasta lograr un revenimiento de cero. Las proporciones de agregado fino, material cementante y agua deben permanecer en una relación fija durante esos ajustes.

### 3.2 CEMENTO Y PUZOLANAS:

El concreto adecuado para compactación con rodillos puede ser fabricado con cualquiera de los tipos básicos de cemento y con cualquier clase de puzolana. La selección del tipo de cemento se basa en los requisitos estructurales y no en el método de colado y compactación del concreto. La diferencia fundamental en la selección y el proporcionamiento de los cementos y puzolanas que se emplean en el CCR y los utilizados en concreto para fines estructurales normales radica en el empleo de mayores volúmenes de puzolanas y menos importancia del efecto de éstas en la trabajabilidad.

En el proporcionamiento de mezclas con volúmenes mínimos de pasta, una de las principales funciones de la puzolana o de los finos añadidos es ocupar espacios que, si no, serían ocupados por cemento o agua. Obviamente, llenar estos espacios con agua daría como resultado una menor resistencia del concreto, y con cemento una mezcla más cara. Las puzolanas no sólo ocupan espacio, sino que también contribuyen al desarrollo de la resistencia. Su contribución a la generación de calor varía inversamente a la relación puzolana cemento de tal manera que para un determinado requisito de resistencia, la mezcla con el menor contenido de cemento (que cumpla con la resistencia requerida) tendrá menor incremento de temperatura.

En mezclas con deficiencia de finos, la puzolana no necesita ser altamente reactiva para ser efectiva. Así, muchas cenizas volantes cuya reactividad, debida a insuficiente finura de partícula, no satisface las actuales especificaciones de la "ASTM", serían adecuadas en la mayoría de las aplicaciones del CCR. No todas las puzolanas son igualmente efectivas, tanto la forma de la partícula como la reactividad influirán en los requerimientos mínimos de cemento para producir una resistencia determinada.

La resistencia del concreto depende primordialmente de las proporciones de cemento, puzolana y agua. El tipo de cemento tiene un importante efecto en la velocidad de hidratación y en la velocidad de desarrollo de resistencia, por lo tanto influye significativamente en la resistencia a edades tempranas. Después de los 28 días, disminuye la diferencia en las contribuciones de resistencia de los diversos tipos de cemento, siendo que los cementos que tienen el desarrollo más lento de resistencia producen finalmente resistencias más altas.

### **3.3 ADITIVOS:**

Están bien establecidas las ventajas que representa el uso de aditivos que aumenten la trabajabilidad y retarden el fraguado para conservar "vivas" las capas compactadas de concreto masivo y evitar las juntas frías, particularmente durante climas cálidos. Tanto los aditivos inclusores de aire como los reductores de agua y los retardantes han sido utilizados en dosis normales en la mayoría de



las aplicaciones y colados de prueba del CCR hechos hasta la fecha. Las pruebas de laboratorio indican que dichos aditivos son eficaces para reducir el tiempo de vibrado requerido para lograr la compactación total del CCR. Sin embargo, la eficacia de los aditivos inclusores de aire para establecer sistemas adecuados de inclusión de aire para la protección contra la congelación-deshielo del CCR y las dosis apropiadas que deben aplicarse en éste, son aún desconocidas. Por lo tanto son necesarios programas de prueba para poder establecer estos parámetros en el futuro.

#### **4. PROPIEDADES:**

##### **Aspectos Generales:**

Las propiedades esenciales del concreto convencional, también son importantes para el CCR. Algunas de las diferencias en las propiedades del CCR y el concreto común se deben principalmente a las desigualdades en las proporciones de la mezcla. Por lo general hay un 40% menos de agua y un 30% menos de pasta en el CCR que en el concreto normal. Dichas propiedades son:

##### **4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION:**

La resistencia a la compresión del concreto completamente compactado se ve afectada principalmente por la relación agua/cemento para mezclas con relaciones puzolana/cemento fijas. No parece haber nada fuera de lo común en la obtención de resistencia en estas mezclas con bajo contenido de agua, si se indica suficiente agua para lograr la hidratación continuada.

Puesto que no hay requisitos de resistencia a temprana edad para colados masivos de CCR, las resistencias deben basarse para edades más avanzadas, por ejemplo 6 meses a 1 año, a menos que la estructura se ponga en servicio más pronto.

Se han llevado a cabo varios experimentos sobre espécimenes de prueba moldeados a compresión para establecer un procedimiento

adecuado. Los resultados de dichos ensayos indican estrecha correlación entre las resistencias de los corazones y de los cilindros cuando el procedimiento de moldeado alcanza la compactación total. Esto último se puede lograr mediante el vibrado prolongado en un cilindro sobrellenado.

#### **4.2 PROPIEDADES ELASTICAS:**

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

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

#### 4.3 CAPACIDAD DE DEFORMACION:

El concreto sin restricción puede cambiar de volumen sin esfuerzo. Cuando el concreto está restringido 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 del concreto, ocurrirá agrietamiento. Las deformaciones en el concreto se pueden desarrollar debido a reducciones del volumen inducidas por el secado y la contracción autógena, así como la congelación del concreto. Los factores que afectan a la capacidad de deformación son el tipo de agregado, las características de su forma y el contenido de cemento. Generalmente los agregados duros y quebradizos, como la cuarcita, producen baja capacidad de deformación. La adición de material triturado, mejorará la capacidad de deformación. El aumento del contenido de cemento desarrollará la capacidad de deformación al incrementar la resistencia a la tensión; sin embargo, esta mejoría suele ser contrarrestada por los problemas de disipación del calor causados por el aumento del mismo que se genera debido al alto contenido de cemento.

La capacidad de deformación del CCR no debería ser distinta a la del concreto común con el mismo contenido de material cementante; sin embargo, debe esperarse que la capacidad de deformación de la mayoría de los concretos compactados sea baja, porque están elaborados con contenidos de cementos más bajos y/o mayor sustitución de cemento por puzolana. Esta capacidad de

deformación más baja inducida por temperatura, que resulta de una mezcla más pobre y de un colado en capas más delgadas.

#### **4.4 CAMBIO DE VOLUMEN:**

La posibilidad de cambios de volumen debidos a la pérdida de humedad o a la contracción por secado es baja en el CCR puesto que tiene mucho menos agua de mezclado que el concreto común. La superficie está sujeta al secado, como ocurre con todos los concretos, pero también existe menos pasta en la superficie y más restricción debida al mayor volumen de agregado.

#### **4.5 PERMEABILIDAD:**

La permeabilidad de una masa de concreto depende en gran medida del sistema de cavidades de aire atrapado y, por lo tanto, está casi totalmente controlada por el proporcionamiento de la mezcla y por el grado de compactación. Cuando hay suficiente pasta para reducir al mínimo el sistema de cavidades de aire, el equipo de compactación es capaz de compactar por completo la masa, el CCR resultará relativamente impermeable.

#### **4.6 PROPIEDADES DE CORTANTE:**

Las pruebas de resistencia al cortante no confinadas, no revelan diferencias significativas entre las propiedades de cortante del CCR y las del concreto común.

#### 4.7 DURABILIDAD:

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

La resistencia del concreto al ataque del interperismo (o congelación-deshielo) depende de su resistencia y contenido de aire incluido, así como de la resistencia a la congelación del agregado.

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

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

### III. SELECCION DE ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCION DE LA CORTINA:

Cuando se determina la construcción de las cortinas de las grandes presas, las decisiones más importantes que se deben tomar, giran en torno al método más adecuado para emprender la obra y el tipo de materiales por utilizar.

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

En ciertos casos, el sitio permite construir tanto una cortina de gravedad como una de materiales graduados. En ese caso, el costo de la construcción es el factor decisivo para la elección final.

A continuación se enuncian las ventajas y desventajas en la construcción de una cortina de concreto y de una de materiales graduados:

## 1. CORTINA DE MATERIALES GRADUADOS:

### VENTAJAS:

Mayor eficiencia por el empleo constante de maquinaria pesada.  
Operación continua. Estructura flexible. Costo comparativamente bajo.

### DESVENTAJAS:

Mayor volumen de material por colocar. Se necesitan diferentes equipos de compactación para los distintos materiales que forman la cortina. Es difícil encontrar los materiales idóneos, y el costo depende de lo accesible de los mismos. No se conoce con exactitud la interacción de los materiales. (ver fig.1)

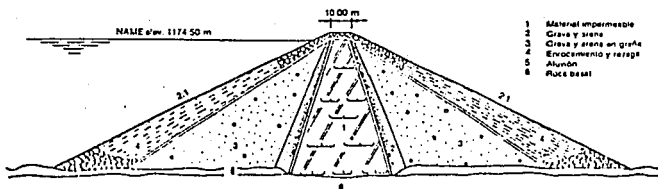


Fig.1, Sección de Materiales Graduados.



## 2.CORTINA DE CONCRETO CONVENCIONAL:

### VENTAJAS:

Requieren menor volumen por colocar. El material es homogéneo. Los materiales para la fabricación de concreto son fáciles de almacenar. El vertedor se halla en el cuerpo de la cortina. Las propiedades del concreto son controlables. El concreto resiste al desbordamiento.

### DESVENTAJAS:

La temperatura y el secado ocasionan cambios volumétricos. El proceso de construcción es semi-continuo. La estructura, por ser rígida, admite deformaciones mínimas en la cimentación (ver fig.2).

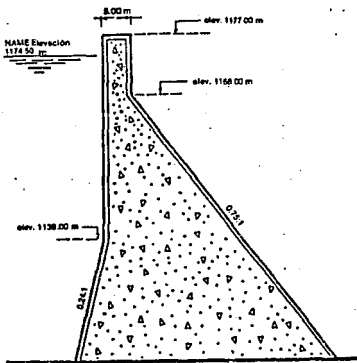


Fig.2 Sección de Gravedad.

Gracias a la experiencia recopilada de la construcción convencional de cortinas, se sabe que la utilización de concreto o materiales graduados implica, en ambos casos, ventajas e inconvenientes en porcentajes similares. En cambio, la utilización del concreto compactado con rodillo, reúne las características deseables de los dos materiales, aumenta la eficiencia y reduce los costos de construcción, sin detrimento del funcionamiento y de la seguridad de las presas. (ver capítulo ventajas CCR, II.2).

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos procedió a la elección del tipo de cortina, considerando todos aquellos aspectos topográficos, hidrológicos, geotécnicos, disposición de materiales y costos, que determinan el diseño y características de este tipo de obra.

Normalmente las cortinas de las presas con materiales graduados resultan ser las más económicas, sin embargo al ser analizada la disponibilidad de materiales, se descartó la posibilidad de una presa de este tipo, debido a la escasez de arcilla en las zonas cercanas al sitio de desplante de la cortina de Trigomil.

La boquilla es ideal para una cortina de tipo gravedad, además la localización del vertedor y la obra de toma fueron factores determinantes para la elección. Por lo tanto se plantearon dos alternativas para su proceso constructivo, que son una cortina de concreto convencional o de concreto compactado con rodillos. Las ventajas y desventajas de cada una de estas alternativas fueron mencionadas en el capítulo anterior.

Dado que las características finales del CCR son las mismas que las del concreto convencional, la decisión final del tipo de cortina por ejecutarse dependió del costo de la misma.

### **3. ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE EL CONCRETO CONVENCIONAL Y EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS**

A continuación se presenta una relación de ambas propuestas para poder apreciar la diferencia económica (precios del año 1985):

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	CONCRETO CONVENCIONAL		CCR	
			P.U.	IMPORTE	P.U.	IMPORTE
<b>PRESAS Y DQUES</b>						
<b>TERRACERAS</b>						
<b>DESMONTE</b>						
-Desmonte y limpieza de áreas	HA	3	76,192.00	228,576.00	76,192.00	228,576.00
-Despunte de bancos de préstamo	M3	2,000	283.69	567,380.00	283.69	567,380.00
-Regreso del material producido del despunte de bancos de préstamo	M3	1,800	142.86	257,148.00	142.86	257,148.00
<b>EXCAVACIONES</b>						
-En cualquier material excepto roca faja que formen parte de las obras por ejecutarse	M3	7,500	468.40	3,513,000.00	0.00	0.00
-De limpieza para desplante de la cortina.	M3	7,500	0.00	0.00	448.09	3,345,675.00
-De relleno en los conductos de la obra de toma o galerías.	M3	4,000	0.00	0.00	2,591.42	10,365,690.00
-En roca faja que formen parte de las obras por ejecutarse	M3	22,500	1,208.10	29,182,250.00	1,208.10	29,182,250.00
<b>SUMINISTRO Y COLOCACION DE MATERIALES</b>						
-Suministro y colocación de gravas y arena para formación de conductos de toma y galerías.	M3	4,000	0.00	0.00	2,867.68	11,470,720.00
<b>ACARRIROS</b>	LOTE	1	12,874,133.10	12,874,133.10	12,874,133.10	12,874,133.10
<b>SOBREACARRIROS</b>	LOTE	1	7,081,952.10	7,081,952.10	7,081,952.10	7,081,952.10
<b>EXCAVACIONES DE LA OBRA DE TOMA, DE DESVIO, Y DE TOMA PROVISIONAL</b>	LOTE	1	26,921,254.28	26,921,254.28	26,921,254.28	26,921,254.28
<b>CONCRETO CONVENCIONAL EN SECCION GRAVEDAD NO VERTEDORA.</b>	M3	134,850	10,118.77	1,383,785,551.50	0.00	0.00
<b>CONCRETO CONVENCIONAL EN SECCION GRAVEDAD VERTEDORA.</b>	M3	251,850	9,508.67	2,394,254,839.50	0.00	0.00
<b>COLOCACION DE ACERO DE REFUERZO EN OBRA DE TOMA.</b>	LOTE	1	2,966,792.60	2,966,792.60	0.00	0.00
<b>COLOCACION DE ACERO DE REFUERZO EN LA OBRA DE TOMA PROVISIONAL.</b>	KG	16,500	105.09	1,733,985.00	0.00	0.00
<b>ACEROS DE REFUERZOS PARA CCR</b>	LOTE	1	0.00	0.00	18,336,007.00	18,336,007.00
<b>SUMINISTRO Y COLOCACION DE ACERO ESTRUCTURAL.</b>	LOTE	1	8,670,842.94	8,670,842.94	8,670,842.94	8,670,842.94
<b>CONCEPTOS DIVERSOS:</b>						
-CCR	LOTE	1	0.00	0.00	82,168,225.17	82,168,225.17
-Concreto Convencional.	LOTE	1	57,021,891.61	57,021,891.61	0.00	0.00
<b>MAQUINARIA Y EQUIPO:</b>						
-Equipo de Bombeo para desague	LOTE	1	3,552,378.00	3,552,378.00	3,552,378.00	3,552,378.00
<b>TRATAMIENTO DE CIMENTACION PERFORACION.</b>	LOTE	1	17,878,750.00	17,878,750.00	17,878,750.00	17,878,750.00
<b>PERFORACION CON MAQUINA NEUMATICA EN BARRENOS PROFUNDOS.</b>	LOTE	1	2,332,440.00	2,332,440.00	2,332,440.00	2,332,440.00
<b>PERFORACION CON MAQUINA NEUMATICA.</b>	M	240	17,445.00	4,186,800.00	17,445.00	4,186,800.00
<b>PERFORACION PARA MUESTREO</b>	M	80	42,987.57	3,439,005.60	42,987.57	3,439,005.60
<b>INYECCION DE PERFORACIONES.</b>	H.L.	365	25,524.00	9,316,260.00	25,524.00	9,316,260.00
<b>EJECUCION DE PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LUIGON.</b>	PRUEBA	16	68,077.22	1,089,235.52	68,077.22	1,089,235.52

10

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	CONCRETO CONVENCIONAL		CCR	
			P.U.	IMPORTE	P.U.	IMPORTE
TUNELES Y GALERIAS, EXCAVACIONES EN LADERAS:						
-CCR	M3	2,700.00	0.00	0.00	17,287.76	46,576,652.00
-Concreto convencional.	M3	1,327.53	17,287.76	22,950,020.03	0.00	0.00
FABRICACION Y COLOCACION DE CONCRETO COMUN EN LA OBRA DE TOMA	LOTE	1	20,394,558.00	20,394,558.00	0.00	0.00
FABRICACION Y COLOCACION DE CONCRETO COMUN EN OBRA DE DESVIO.	M3	10,100	14,482.82	148,074,482.00	0.00	0.00
FABRICACION Y COLOCACION DE CONCRETO COMUN EN LA OBRA DE TOMA PROVISIONAL.	M3	317	23,600.00	7,481,200.00	0.00	0.00
CONCRETOS (PARA CCR):						
FABRICACION Y COLOCACION DE CONCRETO CONVENCIONAL EN:						
Membrana Impermeable, parte superior de la seccion de gravedad, en vertedor, etc.	LOTE	1	0.00	0.00	843,248,706.60	843,248,706.60
CONCRETO COMPACTADO CON FODILLO Y DE LIGA.						
-Fabricación y colocación de CCR en la cortina.	M3	332,500	0.00	0.00	3,669.30	1,220,042,250.00
-Fabricación y colocación de concreto de liga en la cortina.	M3	29,090	0.00	0.00	4,066.48	117,927,920.00
-Formas prefabricadas de concreto convencional para el paramento a guisa arriba de la cortina.	M3	28,000	0.00	0.00	5,642.93	158,602,040.00
ACEROS DE REFUERZO PARA CONCRETO CONVENCIONAL:						
-En seccion gravedad no vertedore.	KG	8,750	82.54	557,145.00	0.00	0.00
-En seccion gravedad vertedore.	KG	82,200	72.48	4,508,256.00	0.00	0.00
EXCAVACIONES EN ROCA PARA GALERIAS.	LOTE	1	5,370,925.00	5,370,925.00	5,370,925.00	5,370,925.00
ACARREO Y SOBRECARRERO DE LOS MATERIALES DE EXCAVACION EN TAJOS Y GALERIAS.	LOTE	1	1,618,912.00	1,618,912.00	1,618,912.00	1,618,912.00
EQUIPO DE BOMBEO PARA DESAGUE EN GENERAL.	LOTE	1	11,408,234.00	11,408,234.00	11,408,234.00	11,408,234.00
EXCAVACIONES EN NICHOS Y PERFORACION DE SUPERFICIES.	LOTE	1	678,875.52	678,875.52	678,875.52	678,875.52
PERFORACION DE SONDEOS GEOMECANICOS EN GALERIAS.	M	120	58,337.80	7,120,548.00	58,337.80	7,120,548.00
SUMINISTRO DE EQUIPO Y MATERIAL PARA EJECUCION DE ENSAYES GEOMECANICOS:						
-CCR	LOTE	1	0.00	0.00	83,268,983.93	83,268,983.93
-Concreto convencional.	LOTE	1	24,000,000.00	24,000,000.00	0.00	0.00
FABRICACION Y COLOCACION DE MATERIALES MANUFACTURADOS.						
-Fabricación y colocación de concreto común en revestimiento de galerías.	M3	1,300	28,272.63	36,754,809.00	28,272.90	36,754,809.00
MANOBRAS, ACARREO Y SOBRECARRERO:						
-Acarreo de cemento para concreto común.	TON	184,135	4,086.81	670,754,128.57	0.00	0.00
-Acarreo de cemento para CCR.	TON	89,500	0.00	0.00	4,086.81	365,751,595.00
-Acarreo de Canchas Volantes.	TON	25,000	0.00	0.00	3,209.85	80,218,250.00
-Acarreo de acero de refuerzo para concreto convencional.	TON	285	10,096.98	2,881,470.44	0.00	0.00
-Acarreo de acero de refuerzo para CCR.	TON	196	0.00	0.00	10,096.98	1,979,004.18
MANEJO DEL RIO.	LOTE	1	18,830,889.80	18,830,889.80	18,830,889.80	18,830,889.80
<b>TOTAL</b>				<b>\$4,652,197,508.92</b>		<b>\$3,231,168,387.52</b>

64

Como resultado de la comparación de ambas propuestas, se obtuvo una diferencia del 38% a favor del CCR, por lo que la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, decidió se construyera con la técnica del concreto compactado con rodillos.

#### **IV. PRESA TRIGOMIL:**

##### **INTRODUCCION**

Ubicada en el estado de Jalisco, en las cercanías de Unión de Tula, sobre el río Ayuquila, se construye la presa Trigomil (Presa General Ramón Corona); la cual será una de las más altas en su género, con cortina de Concreto Compactado de Rodillos (CCR), sistema relativamente nuevo, similar en su concepto a la tierra estabilizada con cemento, excepto que contiene agregados de mayor tamaño, manejándose con maquinaria para movimiento de tierras, siendo prácticamente la primera vez que se utiliza en México.

La Presa Trigomil forma parte de la unidad de riego "El Grullo-Autlán" para el aprovechamiento de las aguas del río Ayuquila, integrado por la presa almacenadora "Tacotán", con capacidad total de 148.9 millones de m<sup>3</sup>, la presa derivadora "El Corcovado", una red de 176 Km. de canales en su mayoría no revestidos, red de drenaje con longitud de 105 Km. y una red de caminos de 156 Km.

Trigomil surge con la pretensión original de rehabilitar y ampliar la zona de riego de Autlán, incrementando la producción de cultivos y fomentando la ganadería; aumentando de 9,383 a 18,019 hectáreas de tierra propia para cultivos como hortalizas, melón, granos, caña de azúcar, alfalfa y pastos, sandía, mango, limón, lima y aguacate, entre otros. Funciona también como control de avenidas evitando posibles inundaciones en zonas aledañas.

El tipo de cortina de CCR se escogió por significar un ahorro comparativo contra presas de concreto hidráulico de aproximadamente el 30% y en tiempo del orden del 30% al 40%, presentando calidades similares.

#### **1. LOCALIZACION:**

En el occidente del Estado de Jalisco, a unos 6 Km. del poblado de Unión de Tula por la carretera que conecta con Autlán y El Grullo se encuentra el acceso de entrada a la Presa Trigomil.

Situada sobre el Río Ayuquila cerca de donde converge el Río San Antonio y a 15 Km. aproximadamente abajo de la existente Presa de Tacotán (ver fig.No.3).

Geográficamente, se localiza entre los paralelos 19 grados 41 minutos y 19 grados 51 minutos de latitud norte y los meridianos 104 grados 05 minutos y 104 grados 24 minutos de longitud oeste del meridiano de Greenwich.



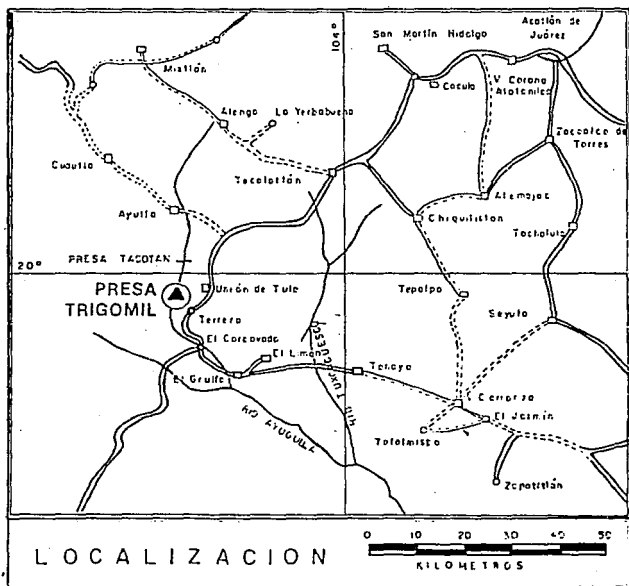


Fig. 3

## 2. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS:

### 2.1 GEOLOGIA Y TOPOGRAFÍA DE LA BOQUILLA:

La roca en la que está situada la boquilla; es de composición pórfido granítico sano con manifestaciones de alteración, de origen ígnea intrusiva y presenta las siguientes características:

Es de color gris rosado con diseminación de color ocre, su estructura es fenerítica y dentro de los materiales observables son Oxidación con fierro-magnesiano, así como alteración en feldespatos.

El relieve topográfico del área de la cortina es una boquilla estrecha del río con taludes en forma de "V" casi perfecta (fig.No.4 a y b)

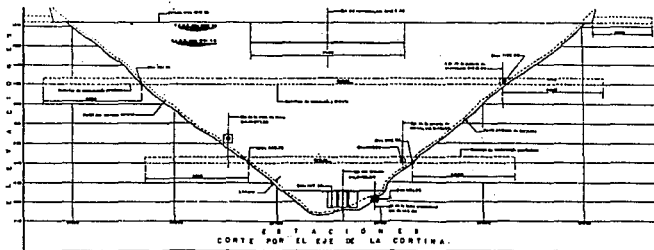


Fig. No. 4 Sección de la Boquilla.



## 2.2 CARACTERISTICAS DE LA CORTINA:

Con cortina de forma semi-trapecial recta, construida con el sistema de concreto compactado con rodillo lo que permití una configuración similar con respecto a una de concreto convencional, Trigomil se compone de las siguientes estructuras: Obra de toma definitiva, la cortina y el vertedor de excedencias (ver Fig. 5).

### DIMENSIONES PRINCIPALES DEL PROYECTO (aproximadas):

ALTURA DE CORTINA	100	M.
LONGITUD DE LA CORTINA	270	M.
ANCHO DE LA BASE	88	M.
ANCHO DE LA CORONA	5	M.
LONGITUD DE CRESTA VERTEDORA	75	M.
GASTO DE DISEÑO DEL VERTEDOR	4,600	M3/SEG.

### CANTIDADES ESTIMADAS:

#### CORTINA:

CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO	361,500	M3
CONCRETO SIMPLE	3,400	M3
CONCRETO REFORZADO	10,500	M3
ACERO DE REFUERZO	146,500	KG
EXCAVACIONES PARA LIMPIA Y DESPLANTE	34,000	M3
PIEZAS PRECOLADAS DE CONCRETO		
CONVENCIONAL	28,000	PZA.

**DATOS DEL PROYECTO:**

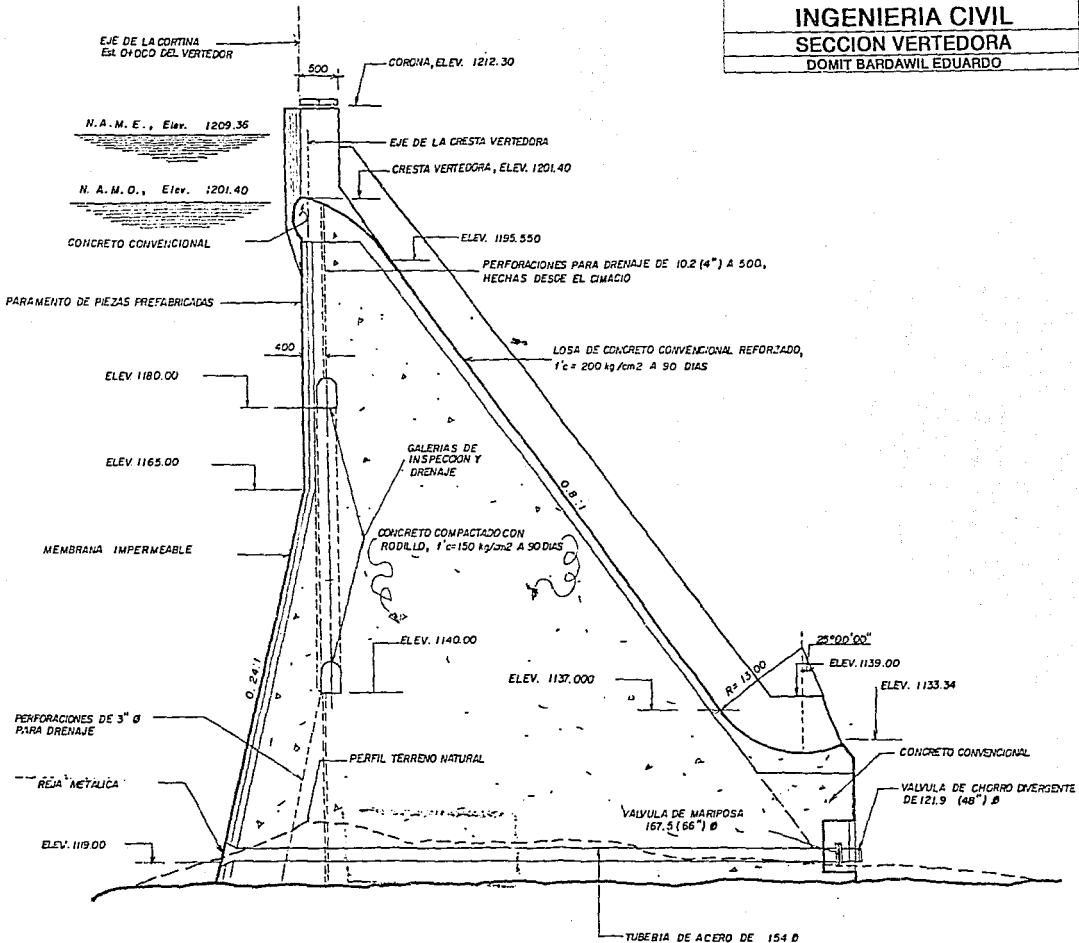
CAPACIDAD TOTAL	349'000,000	M3
" DE CONSERVACIÓN	250'000,000	M3
" DE SUPERALMACENAMIENTO	74'000,000	M3
" PARA AZOLVES	25'000,000	M3
ELEVACIÓN DE CORONA	1,212.30	M
" " NAME	1,209.36	M
" " CRESTA VERTEDORA	1,201.40	M
" " NIVEL MÍNIMO DE OPERACIÓN	1,164.20	M
" " UMBRAL DE LA TOMA	1,151.50	M
LONGITUD DE LA CRESTA VERTEDORA	75.00	M
GASTO MÁXIMO DE ENTRADA	4,600	M3/SEG
GASTO DE DISEÑO DEL VERTEDOR	3,655	M3/SEG
" " " DE LA OBRA DE TOMA	30	M3/SEG
" " " " " " " " PROVISIONAL	15	M3/SEG

UNIVERSIDAD ANAHUAC

INGENIERIA CIVIL

SECCION VERTEDORA

DOMIT BARDAWIL EDUARDO



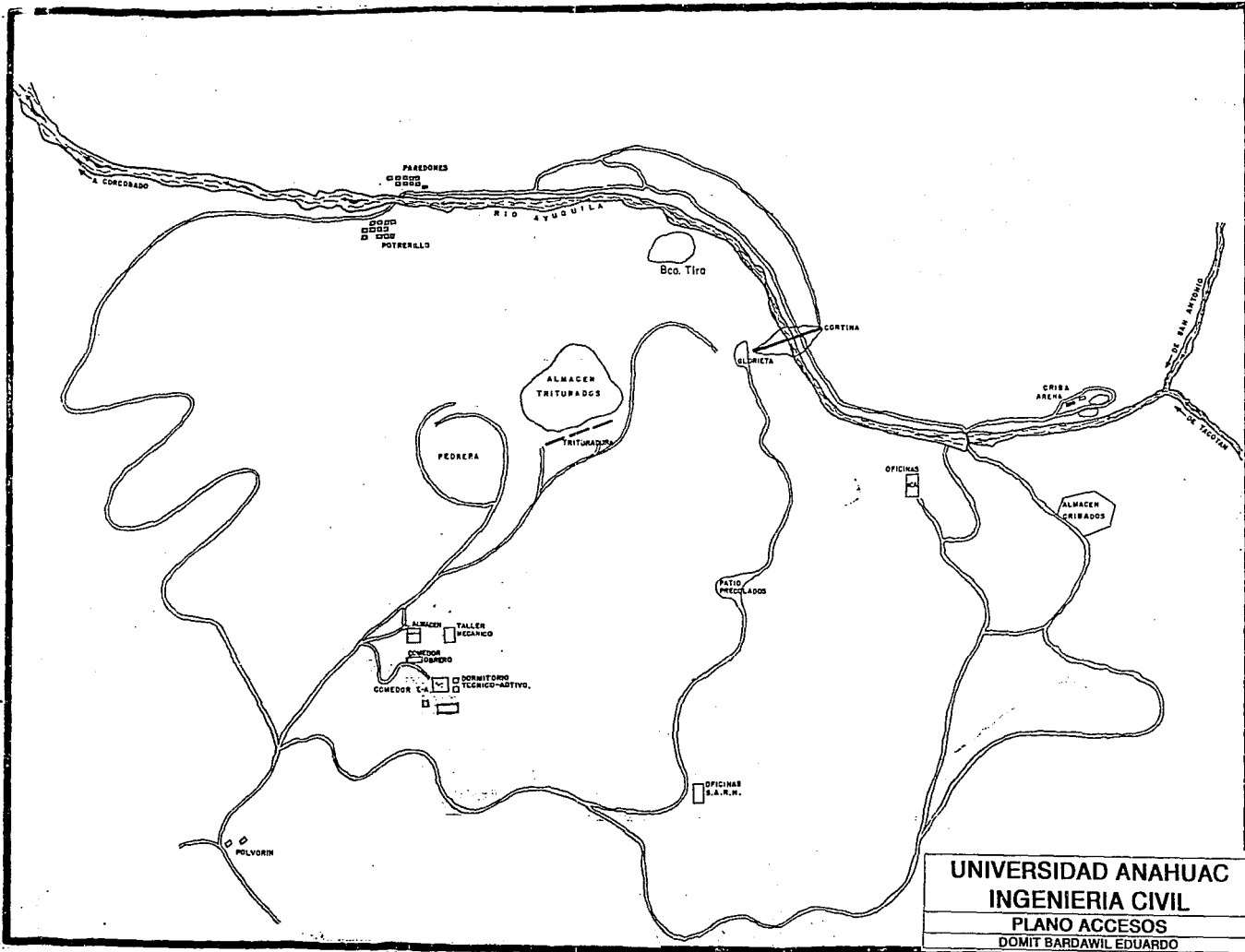
### **3.PROCESO CONSTRUCTIVO:**

#### **3.1 CONSTRUCCION Y HABILITACION DE ACCESOS:**

Originalmente existía un pequeño camino de terracería el cual fue ampliado y nivelado, para comunicar la carretera con el sitio donde se seleccionó por proyecto para la construcción de la presa. Con una longitud de aproximadamente 14 Km.

Además se construyó el sistema de caminos para conectar los diferentes frentes de ataque (margen derecha e izquierda del río), bancos de materiales, zonas de procesamiento de agregados, plantas de producción de concreto convencional y CCR, almacenes, campamento y oficinas, etc... entre sí, así como un sistema de rampas que se fueron utilizando conforme suba de nivel la cortina de la presa, con un total aproximado de 22 Km. En la margen izquierda se hizo la excavación de la Glorieta, de 25 m. de ancho, 30 m. de largo y una altura de 40 m. aproximadamente, con un volumen de 30,000 m<sup>3</sup> de corte para el monumento mirador-estacionamiento. En los caminos se construyeron donde fue necesario, unos vados para drenar en época de lluvias.

En total se construyeron aproximadamente 25 Km. de terracerías (ver fig. 6). Para lo cual se utilizó equipo de movimiento de tierras como cargadores frontales sobre orugas y sobre neumáticos y motoconformadoras, que también se utilizaron para darle mantenimiento a las terracerías.



27



### **3.2 LIMPIA Y PREPARACION DEL TERRENO:**

El inicio del proyecto se dio con los trabajos de limpia y desenraice de las laderas.

La "Limpia Gruesa" consistió en la remoción de la capa de tierra vegetal, suelos orgánicos, suelos blandos, depósitos de talud, roca alterada por interperismo y bloques de roca sueltos, para lo cual se utilizó cargadores frontales sobre orugas con ripper (Cat D-8).

Los trabajos de detalle, que se iniciaron una vez concluida la limpia gruesa y consistieron en la limpia con pico y pala, chiflones de agua y/o aire, de la superficie para desplante y laderas.

El material producto de la limpia fue cargado en camiones de volteo semipesados que depositándolo en bancos de desperdicio ubicados aguas abajo y retirados del cauce del río, parte de este material se utilizó para la construcción de las ataguías.

### **3.3 OBRAS PRELIMINARES Y ADICIONALES A LA CORTINA:**

#### **A) GALERIAS DE EXPLORACION, INSPECCION Y TRATAMIENTOS:**

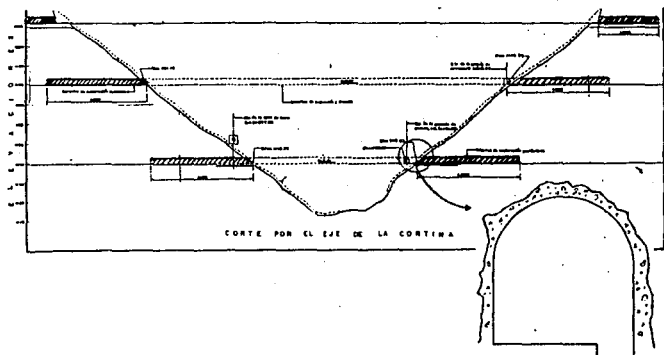
Se construyeron seis galerías en las laderas que están excavadas en roca con sección transversal de tipo "Arco de Medio Punto", con dimensiones de 3.20 m. de altura y 3.10 m. de ancho en la sección portal con una pendiente de 0.001 de fondo de la galería hacia la cortina. y longitud de 50 m. cada una, para exploración geotécnica que permitan determinar las propiedades del esfuerzo-deformación de la roca e implementar equipo de instrumentación. Para estas pruebas se requiere contar con excavaciones de detalle denominadas "Nichos" y preparación de superficies "Lisas", además se efectuaron perforaciones de sondeo geotécnico que permitan por medio de un dispositivo de ensaye determinar propiedades de esfuerzo-deformación de la roca, utilizando "Gato Goodman". También se utilizaron para inspección de filtraciones.

El procedimiento seguido fue el siguiente: con equipo de barrenación se hicieron las perforaciones que se cargaron con explosivos, después de la tronada se resagueo el material producto de la misma con un cargador CAT 145 sobre neumáticos, para posteriormente revestirlos de concreto armado, utilizando una cimbra metálica (únicamente en los primeros 10 m. a partir de la entrada al túnel!).

Las dos galerías inferiores se unirán con sus opuestas a través de la cortina. (ver fig. No. 7). Para lograr esto, se rellenaron de grava, para después de la colocación y compactación del CCR, retirarla formando el túnel, que sería utilizado para inspección y drenaje de filtraciones.

**CANTIDADES ESTIMADAS:**

EXCAVACIONES EN TAJOS	2610	M3
EXCAVACIONES EN GALERÍAS	2700	M3
CONCRETO DE REVESTIMIENTO	1300	M3



*Fig. No. 7 Galerías de Exploración.*

## B) OBRA DE TOMA PROVISIONAL:

Se construyó una obra de toma provisional, ubicada sobre la roca de la margen derecha del río, fuera de los límites del agua, y consiste en un cajón de concreto convencional que atraviesa todo el cuerpo de la cortina, de unos 300 m. de longitud, de 3.50 m. de ancho por 3.50 m. de altura. Este cajón funcionó como desvío del río provisionalmente, mientras se hizo el definitivo.

Después se instaló una tubería de 1.54 m. de diámetro con sus respectivas válvulas y rejillas dentro del cajón y se rellenó con concreto para empacar la tubería de acero.

### CANTIDADES ESTIMADAS:

CONCRETO HIDRÁULICO	940	M3
ACERO DE REFUERZO	35,000	KG
ACERO ESTRUCTURAL	4,650	KG
TUBERÍA DE ACERO DE 1.54M DE DIÁMETRO	77	M
VÁLVULA DE MARIPOSA 66" DE DIÁMETRO	1	PZA

### **C) ATAGUIAS:**

Se construyeron 2 ataguías que consisten en un pequeño bordo transversal al flujo del río, para el primer desvío del río por la obra de toma provisional. Uno aguas arriba de la zona de desplante de la cortina y el otro 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.

Posteriormente se vuelven a construir otras dos ataguías, 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 fueron aproximadamente para la de aguas arriba 40 m. de longitud, ancho de 15 m. y altura de 7 m. y para la de aguas abajo, 25 m. de longitud, ancho de 12 m. y altura de 3 m:

Los materiales que se utilizaron fueron arcillas protegidas de roca producto de la limpieza de los taludes con un volumen aproximado de 15,000 m<sup>3</sup>.

#### D) OBRA DE DESVIO:

Una vez desviado el cauce del río por la obra de toma provisional y preparada la superficie de desplante, se procedió a construir la obra de desvío que consiste en una estructura de concreto convencional en el desplante de la cortina que forma un cajón de 15 m. de ancho por 8 m. de altura atravesando todo el cuerpo de la cortina, por donde circula el agua durante el tiempo de construcción de la Presa. Contiene la losa de desplante, los muros laterales, dos muros centrales que dividen el claro en 3 partes iguales, y una losa armada en el techo.

#### LOS PRINCIPALES VOLÚMENES DE ESTA OBRA SON:

EXCAVACIÓN EN ROCA	3,200	M3
CONCRETO EN LOS INFERIOR	4,910	M3
CONCRETO EN MUROS	3,415	M3
CONCRETO EN COLUMNA	685	M3
CONCRETO EN LOSA SUPERIOR	640	M3
ACERO DE REFUERZO	155	M3

## **E) CIMENTACION:**

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

Una vez realizada la limpia y preparación de terreno, se procede a la estabilización de las laderas y cimienta rellenando las discontinuidades geológicas menores (fracturas, grietas, juntas, etc...) y el relleno de oquedades con concreto convencional ( $f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$ ), la corrección de contrapendientes en laderas y la protección de rocas susceptibles a alteración por interperismo.

Esto se logró barrenando tanto en las laderas como en la zona de desplante de la cortina y posteriormente se inyectó concreto convencional.

Una vez realizada la preparación de la superficie de desplante, se coló una capa intermedia de concreto convencional de  $f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$  de un metro de espesor mínimo, en el área limitada por las trazas de la cortina. Sobre la capa anterior se colocara en planos horizontales las subsecuentes capas de CCR.

## F) OBRA DE TOMA DEFINITIVA:

Es un conducto alojado en el cuerpo de la cortina de cota más alta y dimensiones mayores que la de la obra de toma provisional, con una longitud aproximada de 110 m. y un diámetro de 2.13 m.

En la cara de aguas arriba, lleva una estructura de rejillas y aguas abajo conecta con una tubería de 2.13 de diámetro y a continuación lleva la estructura de salida construida en concreto convencional con su caseta de control de válvulas de operación y obturación para controlar el gasto. En un futuro en que se aproveche la presa para generación de electricidad, se conectará con el cuarto de máquinas (turbinas).

### LOS VOLÚMENES PRINCIPALES DE LA OBRA DE TOMA SON:

CONCRETO SIMPLE EN ATRAQUE	417	M3
CONCRETO REFORZADO	1,210	M3
ACERO DE REFUERZO	53,000	KG
ACERO DE ESTRUCTURA	9,600	KG
TUBERÍA DE ACERO 2.13 M. DE DIÁMETRO	55	M
VÁLVULA DE MARIPOSA 90" DE DIÁMETRO	1	PZA
VÁLVULA DE MARIPOSA 54" DE DIÁMETRO	2	PZA
VÁLVULA DE CHORRO DIVERGENTE 48" DE DIÁMETRO	2	PZA
EXCAVACIONES	18,600	M3



## **G) BORDO DE PRUEBA:**

### **Aspectos Generales:**

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

Longitud: 24 m.

Ancho: 6 m.

Altura: la correspondiente a la colocación y compactación de 10 capas, de 30 cm. de espesor de material suelto.

Sección transversal: el paramento de aguas arriba vertical utilizando las mismas formas precoladas de la cortina, y el de aguas abajo con un talud de 0.80 a 1 (ver fig. 8).

Localización: el bordo se construyó a unos 70 m. de la cortina aguas abajo de la misma.

Materiales: fueron los mismos que posteriormente se utilizarían para la construcción de la cortina, respetando la granulometría y mezclas propuestas para la misma.

### Procedimiento Constructivo:

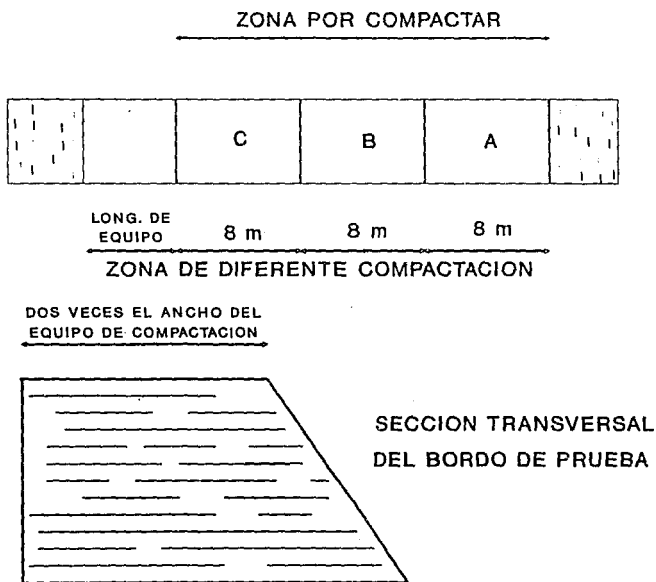
El "Bordo de Prueba" se construyó simultáneamente a los trabajos de limpia de boquilla, producción de agregados y colado de la capa de concreto convencional que serviría de apoyo al CCR.

El procedimiento fue una simulación al que se utilizaría para la construcción de la cortina, en cuanto a producción de agregados, mezclado (mismas dosificaciones de proyecto), transporte, colocación y compactación.

El bordo fue dividido longitudinalmente en tres zonas: A, B, y C, (según fig. No.8), las cuales se compactaron con 2, 4 y 6 pasadas respectivamente, utilizando el mismo equipo de compactación por utilizarse en la cortina.

Se colocó las cuatro primeras capas de CCR con un procedimiento continuo, evitando la formación de juntas frías. La superficie de la cuarta capa de CCR se curó con agua durante 24 Hr., para posteriormente colocar las siguientes 3 capas, sin dar tratamiento alguno a la junta, a excepción de la limpieza de la superficie. La superficie de la séptima capa se cubrió durante 24 hr., antes de colocar la siguiente capa. La formación de la siguiente capa se adhirió mediante una capa de liga de 8 cm. y una CCR de 22 cm. Las siguientes dos capas se colocaron de forma continua sin que se formen juntas frías.

El bordo de prueba se curó mediante la aplicación de agua durante 26 días. Entre capa y capa, y en cada sección, se obtuvieron unas "calas" para que en el laboratorio se comprobara la compactación y determinar el peso volumétrico, fijando el número de pasadas necesarias para obtener la compactación requerida.



*Fig. No. 8 Sección Bordo de Prueba.*

## **H) TAPON DE CIERRE:**

Finalmente al terminarse la construcción del Presa se colocó un tapón de concreto convencional en la estructura de desvío de aproximadamente 10,500 m<sup>3</sup>, con lo que comienza a llenarse el embalse.

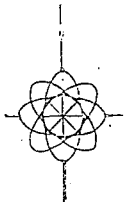
Para ejecutar el taponeo se volvió a construir otra atagüfa para desviar el río de nuevo y en definitiva por la obra de toma provisional.

### **3.4 EXTRACCION, PROCESAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS:**

Antes del inicio del procedimiento constructivo de la cortina con CCR, fue necesario almacenar aproximadamente el 30% del agregado requerido, esto exigido por el proceso continuo de colocación de CCR, evitando probables suspensiones en las labores por falta de material.

El inicio del almacenamiento de agregados se realizó a finales del invierno, previniendo así el inicio del mezclado y colocación del concreto en la época de secas (antes del verano), concluyendo la colocación antes de las lluvias. Además, el almacenar el material durante el invierno contribuye en que el material se conserva frío, lo cual disminuye el calor de hidratación durante el mezclado del concreto.

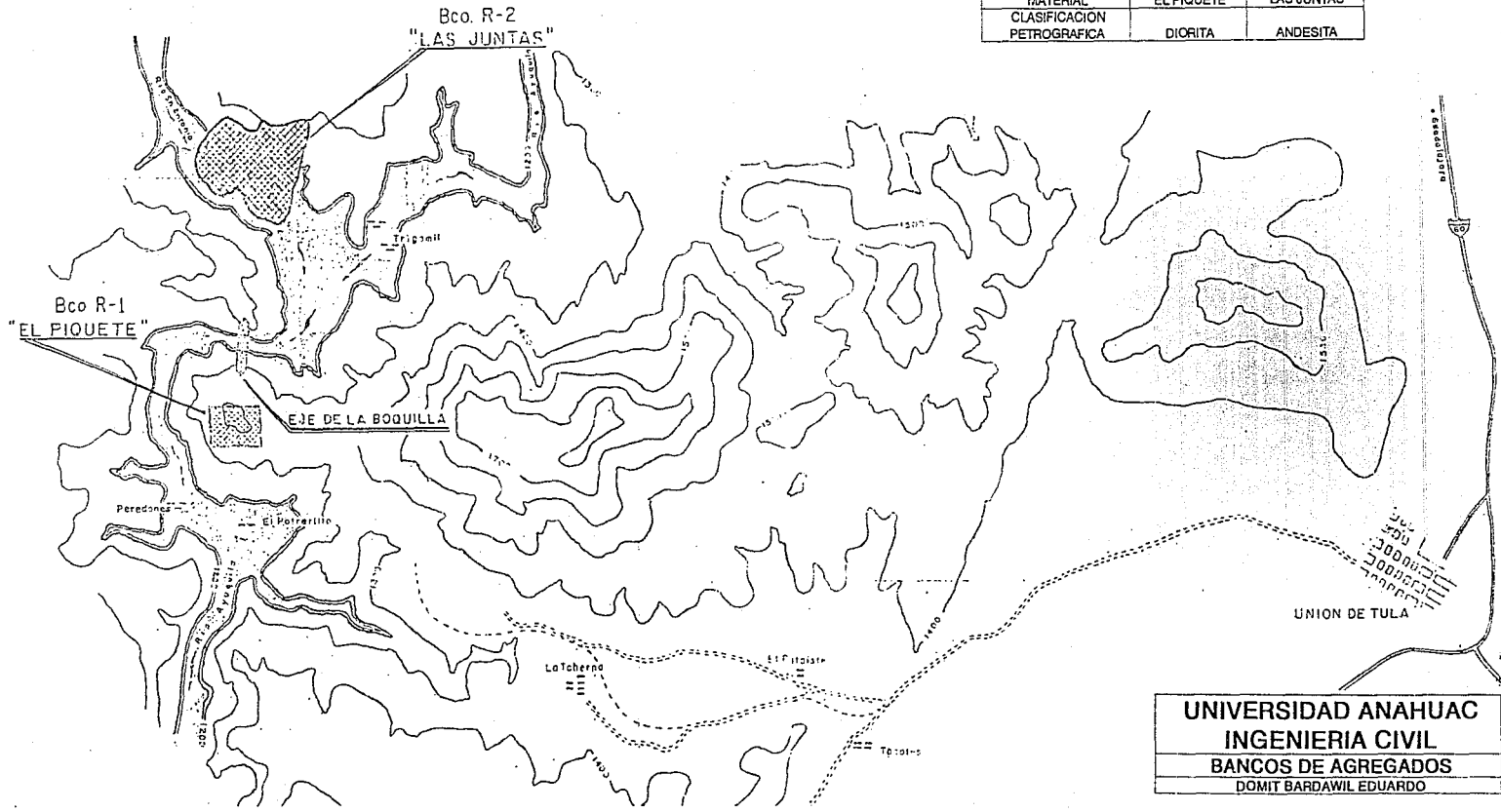
En Trigomil, se obtuvieron los agregados pétreos básicamente de 2 bancos: "El Piquete" y "Las Juntas". (ver fig. 9)



**DATOS GENERALES**

BANCO No	EMPLEO	REGALIAS	DIST. A CENTRO	ESPOSOR		VOLUMEN M3
			DE GRAVEDAD DEL PROYECTO (KM)	DESPAL	APROV	
R-1 "EL PIQUETE"	AGREGADOS	EJIDO	1	2	20	1000000
R-2 "LAS JUNTAS"	AGREGADOS	EJIDO	2	2	30	6000000

ROCA		
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	BANCO No R-1 EL PIQUETE	BANCO No R-2 LAS JUNTAS
CLASIFICACION PETROGRAFICA	DIORITA	ANDESITA



**UNIVERSIDAD ANAHUAC**  
**INGENIERIA CIVIL**  
**BANCOS DE AGREGADOS**  
 DOMIT BARDAWIL EDUARDO

### **Bancos de Agregados.**

El Banco "El Piquete" que se encuentra ubicado a un lado y arriba de la cortina, siguiendo el eje de la misma a una distancia aproximada de 1 Km. del centro de gravedad del proyecto, del cual se obtienen los agregados para el CCR con un volumen aproximado de 1'000,000 de m<sup>3</sup>, clasificándose petrográficamente del tipo granítico, y el banco "Las Juntas", localizado en el lecho del Río San Antonio a unos 2 Km. de distancia del centro de gravedad del proyecto, del cual se obtuvieron los agregados para el concreto convencional, con una clasificación del tipo andesitas.

El desnivel entre el banco "El Piquete" y la corona de la cortina es de 180 m. aproximadamente. Estas características hicieron pensar en una planeación de la obra que hiciese económicas las instalaciones y con acarreo de materiales mínimos para la fabricación del CCR y utilizar lo menos posible acarreo en camiones por lo que se consideró mover los agregados 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.

Partiendo del banco de roca que es la parte más alta, se construyeron dos plataformas de explotación, y más abajo una de carga del producto.

En los siguientes niveles se fueron instalando la maquinaria de trituración, cribado y bandas transportadoras.

Paralelamente a las instalaciones de las trituradoras se construyeron en 3 niveles, los almacenes de agregados de los diferentes tamaños necesarios para la mezcla. A estos patios de almacenamiento se les niveló la superficie proporcionando una pendiente que permita desalojar eficientemente el agua de lluvia, construyendo un sistema de drenaje con el mismo fin.

#### PROCEDIMIENTO DE PRODUCCION DE AGREGADOS PARA EL CCR:

Se barrenó el banco de roca con un equipo de perforación sobre oruga con una pluma en movimiento (Track Drill fig. No. 10), se cargaron con explosivos, el producto de la tronada se deposita con un cargador frontal "Terex K90 c" de bote grande en un alimentador vibratorio que se conecta al triturador primario de quijadas (marca "Telsmith" fig. No.11). Una vez triturado el material se transporta por un sistema de bandas transportadoras a una criba vibratoria inclinada (fig. No. 12) que separa la grava 3 (3" de tamaño) y con un sistema de banda transportadora radial se deposita en el patio de almacenaje del nivel superior. El resto del material pasa a un triturador secundario que a su vez se conecta con otra banda transportadora que acarrea el material a la siguiente criba vibratoria (fig. No. 13) la cual clasifica la grava 2 y la grava 1, y al igual que la grava 3, son almacenadas por medio de bandas





*Fig. 10, Track Drill*

transportadoras radiales, en sus respectivos patios de almacenaje, en los niveles subsecuentes. El sobretamaño es regresado por medio de otro sistema de bandas a la trituradora secundaria.

Durante el proceso de producción de agregados se tuvo la necesidad de incorporar una trituradora terciaria conectada a la segunda cribadora para mayor producción de grava 1.



*Fig.11 Trituradora Primaria.*

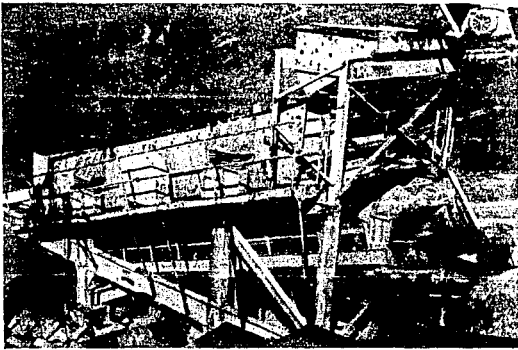
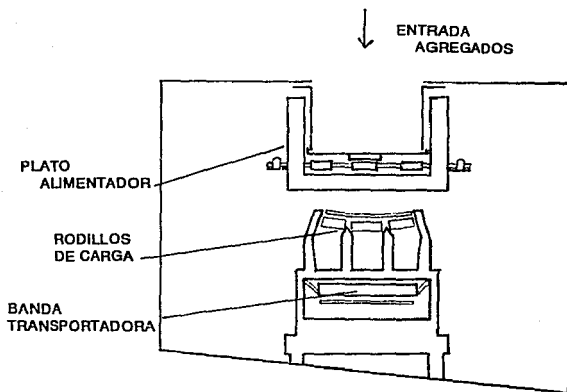


Fig.12 Cribadora Vibratoria.



Fig. No. 13

Debajo de los almacenes de agregados se excavó y se revistió con concreto armado, un túnel de recuperación de agregados que tiene una longitud de 139.90 m y un ángulo de  $-13^{\circ} 45' 58''$ , y contiene una banda transportadora en su interior de 42", para transportar los agregados hacia la planta de concreto.(fig.14).



*Fig. No. 14 Sección Túnel de Recuperación.*

Para la producción de agregados para el concreto convencional, se instaló un sistema de trituración y cribado para producción de grava 2 y 1, en las cercanías a la planta de concreto convencional localizada aguas arriba de la cortina en la margen izquierda del Río Ayuquila.

INSTALACION PLANTA TRITURACION		
A	ALIMENTADOR VIBRATORIO	48' x 16"
B	TRITURADOR PRIMARIO	36' x 46"
C	TRANSP. DE BANDA	42' x 152 Mts.
C'	TRANSP. DE BANDA	36' x 19 Mts.
D	CRIBA VIBRATORIA	8' x 24'
E	TRITURADOR SECUNDARIO	1,300-S
F	TRANSP. DE BANDA	36' x 32 Mts.
G	TRANSP. DE BANDA RADIAL	24' x 39 Mts.
H	TRANSP. DE BANDA	36' x 16 Mts.
I	CRIBA VIBRATORIA	7' x 16'
J	TRANSP. DE BANDA	24' x 15 Mts.
K	TRANSP. DE BANDA	24' x 15 Mts.
L	TRANSP. DE BANDA RADIAL	36' x 39 Mts.
M	TRANSP. DE BANDA	30' x 76 Mts.
N	TRANSP. DE BANDA RADIAL	24' x 39 Mts.

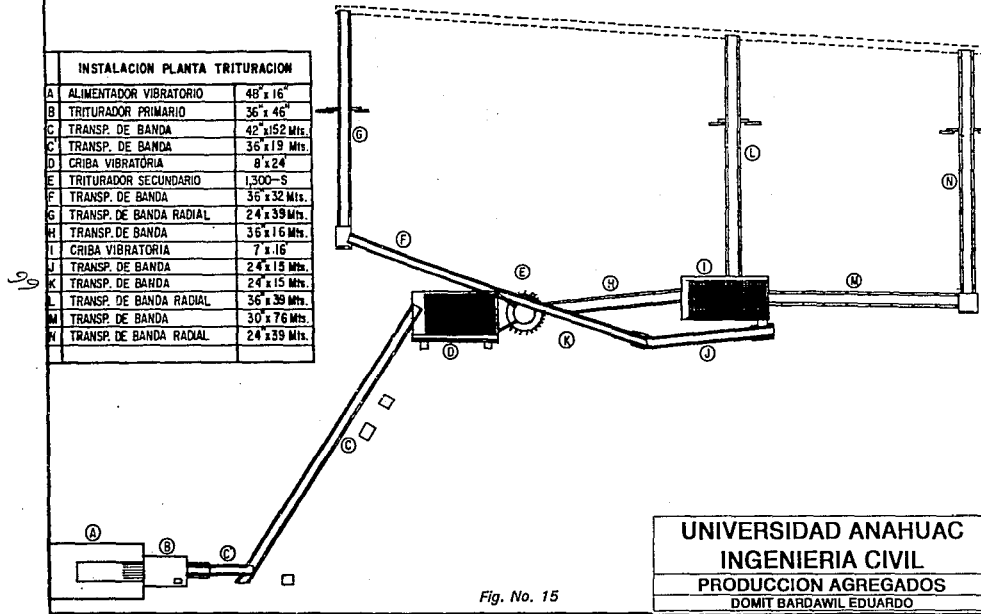


Fig. No. 15

UNIVERSIDAD ANAHUAC  
 INGENIERIA CIVIL  
 PRODUCCION AGREGADOS  
 DOMIT BARDAWIL EDUARDO

### **3.5 CONCRETO CONVENCIONAL:**

#### **A) MEZCLADO:**

Simultáneamente a la clasificación y almacenamiento de los agregados se instaló la planta de concreto convencional, que consiste en una planta pesadora marca "Odisa" alimentada por una banda transportadora. La planta consta de tolvas para cada tamaño de agregado y cemento y unos platos pesadores para dosificar por peso.

Se cuenta con dos silos para almacenar cemento y un cargador frontal sobre neumáticos CAT 988B.

El transporte del cemento se realizó con camiones pipas (conocidos como "marranas") a granel y depositando el cemento en los silos por medio de sopladores.

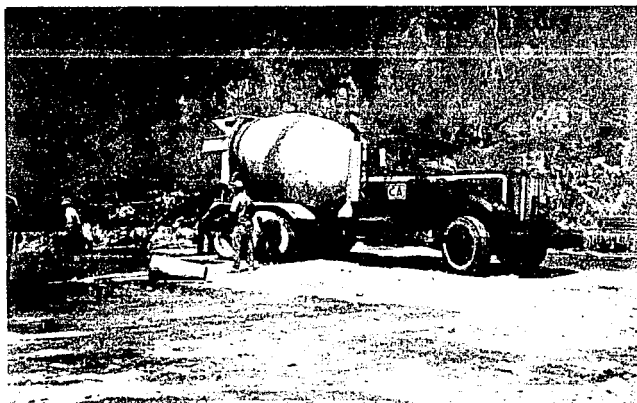
El procedimiento de mezclado fue el siguiente: se deposita con el cargador los agregados al alimentador que conecta con la banda que lleva el material a la planta dosificadora, la cual dosifica por peso junto con el cemento y agua, a continuación se deposita en los camiones mezcladoras, que mezclan y transportan el concreto.

## **B) TRANSPORTE Y COLOCACION:**

El transporte del concreto convencional se llevó a cabo con una flotilla de camiones mezcladora (fig. No. 16), depositando el concreto en el sitio deseado. Según el acceso y el desnivel, se combinó los camiones mezcladora con otros sistemas de transporte, como tuberías, canales, plantas de bombeo de concreto.

El procedimiento de transporte de concreto para la membrana impermeable entre las piezas precoladas y las capas de CCR fue el siguiente: se carga el camión mezclador en la planta de concreto, el cual transporta y deposita el concreto en un sistema de canalones metálicos por los cuales el concreto se desliza hasta el nivel de colado donde es recibido por otro camión mezclador el cual ejecuta el colado de la membrana en sentido longitudinal. El procedimiento de transporte del concreto para el vertedor es similar, pero se complementa con bombeo por tuberías.

Todo colado de concreto convencional se vibró y curó



*Fig. No. 16 Camión Mezcladora.*



### C) FABRICACION, TRANSPORTE Y COLOCACION DE PIEZAS PRECOLADAS:

Siguiendo el mismo procedimiento de mezclado, pero con una dosificación para una resistencia de  $f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$  y colando en unos moldes de  $0.90 \times 0.90 \times 0.125 \text{ m}$ , se fabricaron las piezas precoladas que serían colocadas en la cara húmeda de la cortina. Se colaron a un lado de la planta de concreto convencional y se fabricaron 3 tipos diferentes de moldes, de aproximadamente las mismas dimensiones pero variando su forma.

Las piezas precoladas se reforzaron con acero, tienen un par de drenes y unos ganchos de varilla utilizados para maniobrarlos.

El procedimiento de transporte y colocación fue el siguiente Se transportan las piezas en unos camiones provistos de una grúa tipo "Hiab" la cual se utilizó para la maniobra de carga, descarga y colocación de la pieza. Esta piezas tienen una forma tal que les permite embonar una con otra, y se fijan junto con la membrana impermeable. (fig No.17).



### **3.6 CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS:**

#### **A) MEZCLADO**

##### **Aspectos Generales:**

La capacidad de mezclado del material de la planta de concreto, está regida por la capacidad de compactación del equipo por utilizar. una compactadora vibratoria de rodillo de 4.5 m de ancho puede compactar más de 260 m<sup>3</sup> de concreto sin revenimiento por hora, en capas de 25 cm., en cuatro pasadas y desplazándose a una velocidad de 3.25 Km/Hr.

Por lo que la selección del equipo de mezclado debe considerar una producción que se equipare con la capacidad de transporte, colocación, distribución y compactación del CCR, logrando una continuidad y minimizando las costosas suspensiones. Por ejemplo una planta mezcladora común requiere aproximadamente de cuatro mezcladoras de 9 m<sup>3</sup> para igualar la capacidad de compactación de un rodillo vibratorio grande en una operación de colado continuo. Se puede equiparar la producción mediante el empleo de mezcladoras grandes o almacenando o añadiendo mezcladoras y plantas de mezclado, sugiriendo la conveniencia del mezclado continuo para compensar el tiempo perdido en las operaciones de mezclado.

## **LOCALIZACION DE LA PLANTA DE MEZCLADO DE CCR:**

La distribución y localización de la planta de concreto se seleccionó de tal forma que se minimicen las distancias generales de acarreo, la elevación y exposición de la mezcla fresca a la intemperie.

En Trigomil, la planta se instaló en una gran excavación en la ladera izquierda, en la Glorieta, que coincide con el nivel de la corona de la cortina y el nivel más bajo del sistema de bandas de transporte y túnel de recuperación.

## **EQUIPO:**

Originalmente se seleccionó una planta de concreto intermitente "Ross 250", que es una especie de mezcladora de trompo grande, con capacidad teórica de 191 m<sup>3</sup>/hr, pero se tuvo problemas ya que el material se adhería a las paredes del trompo, bajando considerablemente su rendimiento, por lo que se decidió cambiar la planta por una de mezclado continuo "Aztec KS70"(fig. No. 18).

## DATOS BASICOS DE LA MEZCLADORA "Aztec KS70"

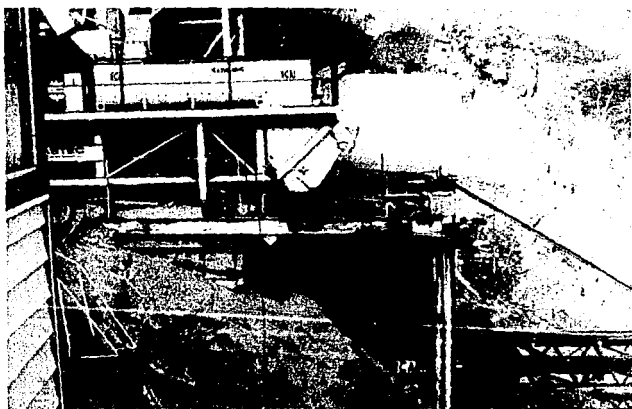
MÁXIMA CAPACIDAD DE MEZCLADO	725	MTPH
LONGITUD DEL "PUGMILL"	3.05	M
CAPACIDAD DEL "PUGMILL"	2.2	M3
CAPACIDAD DEL SISTEMA DE AGUA	750	L/M
CAPACIDAD DE EMULSIÓN DEL SISTEMA	560	L/M
CLARO DE SALIDA	3.0	M

### PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO:

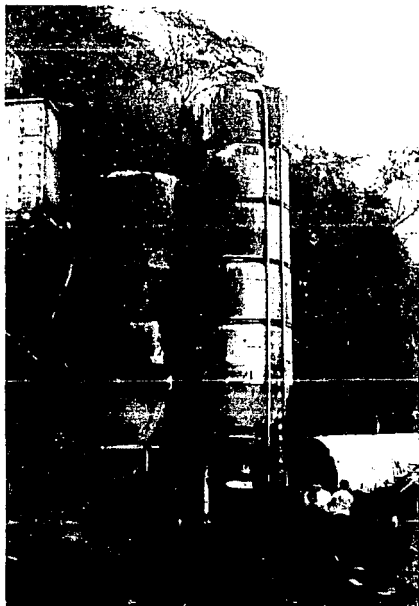
Los camiones pipa (llamados "marranas") transportan y depositan el cemento y las cenizas volantes utilizando unos sopladores en sus respectivos silos (uno de cenizas volantes y 7 de cemento, ver fig. No. 19), que se encuentran a un lado de la planta mezcladora KS70 que cuenta con dos tolvas de báscula para dosificar por peso.

Desde la cabina de control (o Consola) también ubicada en la Glorieta se controlan los platos que permiten la caída de agregados almacenados al túnel de recuperación, que por un sistema de bandas y tuberías de transportación se conecta con la tolva de la planta de mezclado, donde junto con el cemento, cenizas y agua (suministrada de 2 tanques de almacenamiento ubicados a unos 15 m. de la planta en el lado contrario de los silos) se mezclan hasta que tengan una distribución suficientemente uniforme y se depositan a una tolva de retención, la cual tiene una capacidad del doble de la capacidad del transporte utilizado para la colocación

del CCR, procurando que el material no se retenga en la tolva durante tiempos prolongados.



*Fig. No. 18 Planta de Concreto (CCR).*



*Fig. No. 19, Silos.*

## **B) TRANSPORTE DEL CCR:**

### **Aspectos Generales:**

La mayor parte del equipo para transporte y colocación de mezclas de concreto común son también aplicables al CCR. La extremadamente limitada capacidad para fluir del CCR hace posible el empleo de un rango más amplio de equipo para el transporte y colocación de este material que el que se puede utilizar con concreto común. Aunque esta característica de poca capacidad de flujo también hace necesario establecer procedimientos especiales de manejo para impedir la ocurrencia de segregación importante.

### **PRINCIPALES CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPO:**

El volumen de material que se va a colar y el acceso al área de colado, serán por lo general los factores que controlen la selección del equipo que se va a utilizar para transportar el CCR, desde el lugar de mezclado hasta la zona de colado. Frecuentemente el mismo equipo de transporte llevará a cabo el colado.

Existen principalmente dos métodos para el transporte del CCR intermitente y continuo. Hasta cierto punto, la selección del equipo de transporte puede estar influenciado por el equipo de mezclado que se utilice. Sin embargo, aplicando el control y accesorios



apropiados, tales como tolvas de retención, las mezcladoras continuas se pueden utilizar junto con transporte intermitente, y viceversa.

En la selección del equipo de transporte se debe considerar el costo del tratamiento contra la segregación en caso de existir.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se seleccionó un sistema de transporte mixto que combina bandas y tuberías con camiones de volteo semipesados ("Dumpcret", Dina 860, fig.21).

#### **PROCEDIMIENTO:**

Originalmente se planeó el transporte del CCR por una tubería de 24" pulgadas con una tolva receptora al inicio y un amortiguador anti-segregación al extremo y se distribuía con un sistema de bandas transportadoras; sin embargo, este sistema presentó varios problemas: el CCR por su consistencia seca no fluía por la tubería, por lo que se ayudó con unos vibradores de pared sin lograr los resultados deseados, por lo tanto se sustituyó el sistema de tuberías por un sistema de bandas transportadoras horizontales que desembocan a una tubería vertical que llega al inicio de la siguiente banda transportadora y así sucesivamente hasta el nivel de colado. (fig. No. 20).



*Fig. No. 20, Sistemas de Bandas Transportadoras.*

El sistema de distribución con bandas fue sustituido por camiones de volteo, puesto que conforme se subía de nivel y al aumentar la longitud de la cortina las bandas no cubrían toda la extensión y su estructura de soporte impedía la operación de compactación del concreto.

En el nivel de colado existe una tolva de retención (fig. 21) que alimenta a los camiones que a su vez transportan y depositan el CCR en pilas en el lugar deseado.



*Fig. No. 21 Camión de Volteo.*

Conforme se fue subiendo de nivel de colado se fueron eliminando las bandas y tuberías hasta el punto en el que el nivel de la corona los camiones recibían la mezcla directo de la tolva de recepción de la planta de concreto.

### **C) COLADO.**

#### **Aspectos Generales:**

El CCR debe colarse en capas lo suficientemente delgadas para permitir una compactación completa por medio del rodillo vibratorio o del compactador de placa. Hasta la fecha las pruebas de campo han demostrado que el rango de espesor óptimo para las capas de colado de CCR es de 20 a 30 cm. Contrastando con las capas normales de concreto masivo común que varían de 46 a 60 cm.

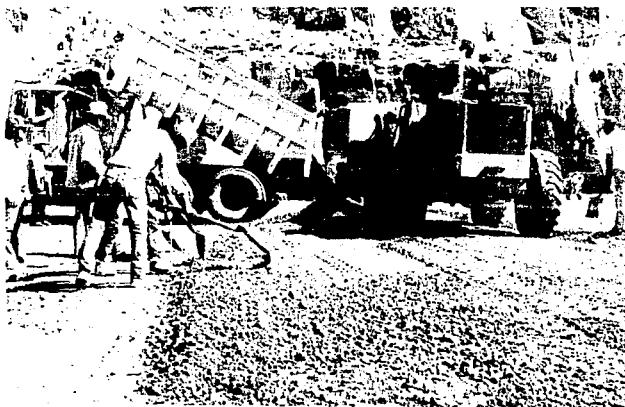
Si se toma en cuenta que las velocidades de colado que se alcanzan con CCR son mucho mayores con espesor igual a un tercio a la mitad de las de concreto común, resulta evidente que la distribución del concreto antes de la compactación es una operación importante en el proceso de producción, y debe ser eficaz para que avance al mismo paso que la capacidad de compactación. Puede ser necesario varias unidades de distribución para seguir el ritmo de trabajo de un solo rodillo vibrador grande.

El colado puede ser intermitente y/o continuo.

## **PROCESO DE COLOCACION:**

Originalmente se planteó que la distribución ó colado del CCR se realizara utilizando un sistema de colado continuo en base a una banda transportadora móvil, lo cual para el colado de la base de la cortina y de las primeras capas de CCR fue factible, pero debido a la dimensión de la cortina en los niveles superiores, su extensa longitud y su reducida sección transversal, dificultaban la distribución del CCR a la vez que los soportes de la banda reducían el espacio de maniobra tanto del rodillo vibratorio como del resto de equipo involucrado en el proceso de construcción de la cortina, como los camiones con grúa "Hiab" para colocaciones de piezas precoladas, cargadores, etc...

Se reemplazó este sistema por uno de colado intermitente: Los camiones de volteo semipesado "Dumpcret" depositan la mezcla en pilas de concreto y se complementa la distribución con cargador frontal sobre neumáticos marca "Michigan 45B" (fig. No. 22) que derriba y esparce las pilas en capas de 20 a 30 cm. de espesor. Para igualar la velocidad de transportado y compactado se utilizó 4 cargadores y 2 camiones.



*Fig. 22 Cargador Frontal.*

Se utilizó equipo enlantado puesto que estos no provocan efecto negativo en el concreto de la capa anterior de CCR. Se deben tomar precauciones para que el equipo de transporte y distribución no ruede sobre lodo o suciedad, ya que esto provocará efectos negativos en la calidad del concreto y podría causar problemas en la integridad de la junta.

No se utilizó niveladoras o motoconformadoras aún y cuando realizan un mejor trabajo, pero su alcance en las zonas aledañas a la cimbra o piezas precoladas es menor que la de los cargadores frontales. Se prefirió equipo a base de llantas por que los materiales del 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 tipo oruga, además de que este último tiende a dañar la superficie anterior de CCR.

## **D) COMPACTACION.**

### **Aspectos Generales:**

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 más adecuados para el CCR que los rodillos que sólo 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.

### **SELECCION DEL EQUIPO DE COMPACTACION:**

La maniobrabilidad, la fuerza compactiva, el tamaño del tambor, la frecuencia, la amplitud y la rapidez de operación se consideran los parámetros principales en la selección de un rodillo. La capacidad compactiva en volumen de concreto por hora aumenta, 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 de los obstáculos, por lo que se suelen requerir rodillos de menos de 1 ó 2 toneladas para compactar el concreto en dichas zonas.

La compactadora de rodillo vibratorio, con las siguientes especificaciones, ha demostrado ser eficiente para compactar las mezclas de CCR:

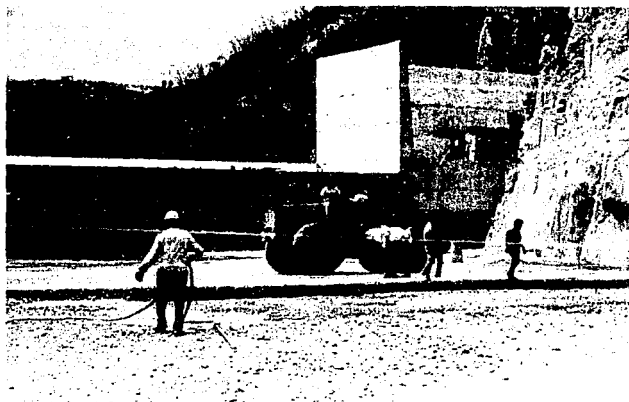
ANCHO DE RODILLO	1.67 A 2.44	M.
DIAMETRO DEL RODILLO	1.22 A 1.67	M.
PESO ESTATICO	9,526	KG.
FUERZA DINAMICA	6.3	KG/MM
VELOCIDAD	2.5	KM/HR
POTENCIA DE LA MASA EXCENTRICA	125	HP MIN.
FRECUENCIA	1,800	VPM

En Trigomil se utilizaron 3 compactadores mixtos autopropulsados de 10 ton. marca "I Rand SP 56 D"(fig. No.23).

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.

Para controlar el espesor de la capa sirve más la habilidad para distribuir la mezcla que los requisitos de compactación, puesto que

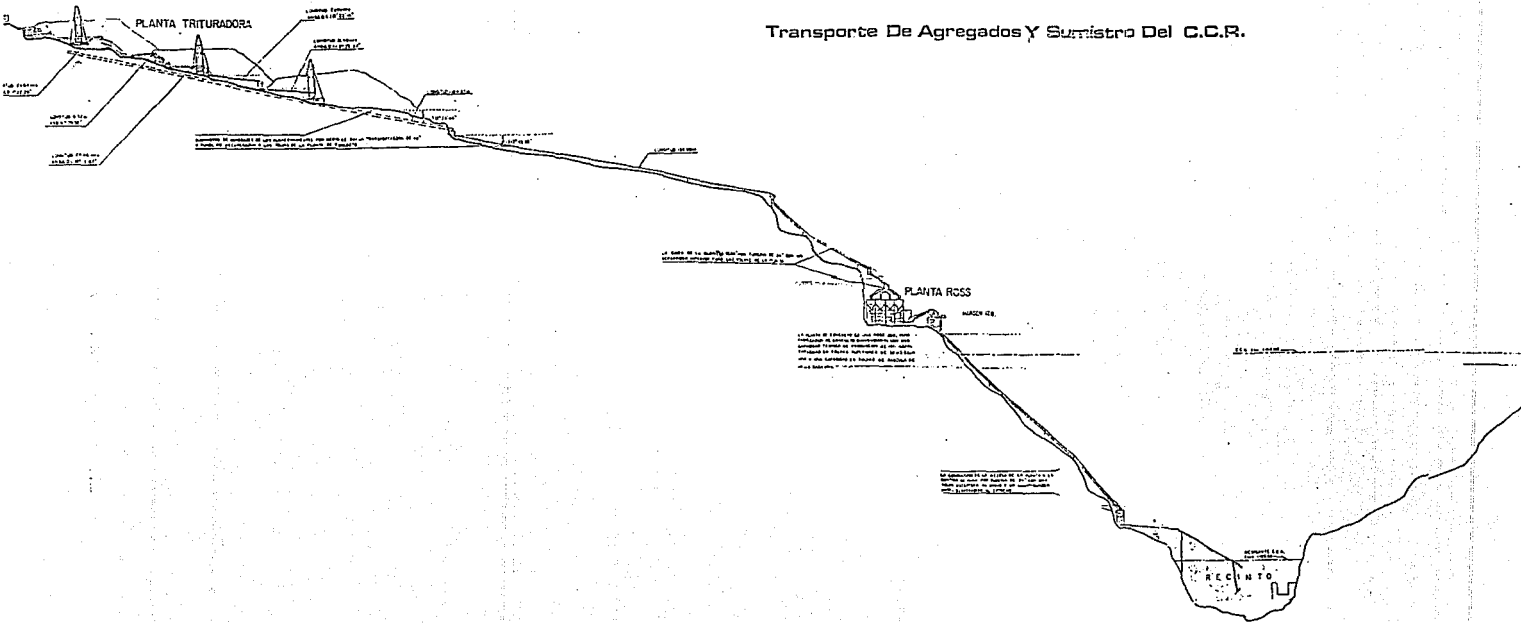
los rodillos grandes son totalmente capaces de compactar capas de rocas en bruto de hasta 60 cm. e incluso más. A la fecha en la mayoría de los colados de CCR se han empleado capas de 20 a 30 cm, este es el caso de Trigornil. Para determinar el número mínimo de pasadas necesarias para lograr una compactación completa, usando la mezcla correcta y el espesor de capa planeado, se deben aplicar pruebas en "rellenos o bordos de prueba", ya sea antes y/o durante las primeras etapas.



*Fig. No. 23*

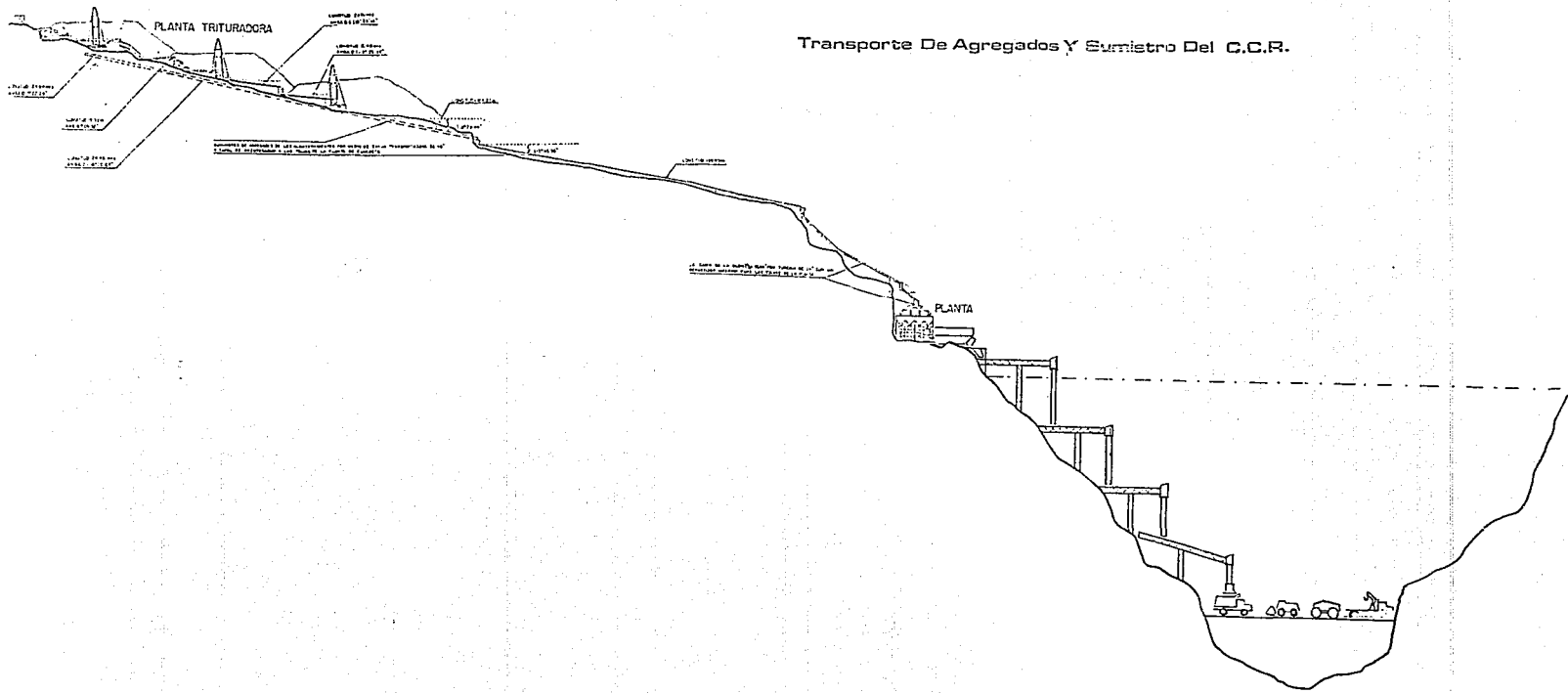
En los planos mostrados a continuación se presenta en forma gráfica el procedimiento constructivo de la cortina, observándose la diferencia entre el sistema original y las modificaciones al sistema definitivo.

# Transporte De Agregados Y Sumistro Del C.C.R.



<b>UNIVERSIDAD ANAHUAC</b>
<b>INGENIERIA CIVIL</b>
<b>PRODUCCION CCR</b>
<b>DOMIT BARDAWIL EDUARDO</b>

ES



## **E) CONTROL DE TALUDES DE SECCION TRANSVERSAL DE LA CORTINA:**

### **CIMBRA:**

Los taludes de sección transversal se les puede dar la forma deseada mediante la aplicación de cimbra común; no obstante, se debe tomar muy en cuenta el diseño y anclaje de la cimbra convencional. La altura de la cimbra en talud suspendida restringe las áreas de operación de los rodillos vibratorios. Por lo tanto, se debe limitar la elevación de la cimbra o articularla a media altura para reducir el volumen de concreto que debe colarse abajo del volado por métodos convencionales.

Los rodillos pequeños se pueden hacer funcionar a 2.5 cm. de la cimbra vertical; los rodillos grandes no pueden acercarse más de 15 a 23 cm. Se puede utilizar concreto común cerca de la cimbra, pero su colado debe efectuarse inmediatamente después del colado del CCR, de modo que el concreto común se pueda fusionar con los bordes del CCR no compactados.

El manejo y colocación de la cimbra puede convertirse en el principal factor de retraso en la operación. Sin embargo, el costo de la cimbra común debe ser menor con CCR, gracias a la omisión de juntas transversales.

## **CONCRETO PREFABRICADO:**

Los taludes también se pueden controlar con tableros o bloques de concreto prefabricado. Los tableros de concreto prefabricado consistirán en losas relativamente delgadas de concreto de alta calidad, con apoyos integrales para su colocación. Este sistema fue el utilizado para la cara húmeda de la cortina de Trigomil. Estos tableros podrían posiblemente incluir el aislamiento para proteger el concreto interior en regiones de clima muy frío.

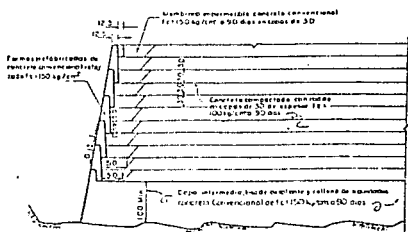
Los rodillos grandes no pueden acercarse más de 15 a 23 cm, de la cimbra o de las piezas precoladas, lo cual se soluciona utilizando equipo de compactación menor como "bailarinas", en Trigomil, por diseño se planeó el colado de una membrana impermeable entre los tableros precolados y la capa de CCR, por lo que el rodillo no se acercó a estas piezas. El colado de esta membrana se debe efectuar inmediatamente después del CCR, de modo que el concreto común se pueda fusionar con los bordes del CCR no compactado. (ver fig.24).

## **TALUD NO COMPACTADO:**

Si no se intenta compactar los bordes de un colado de CCR, los lados adoptarán un ángulo natural de reposo que se calcula entre 40 y 45 grados. Cualquier medio para contener el concreto suelto en los bordes que tengan la longitud suficiente para una

compactación aunque sea parcial, dará como resultado taludes de sección transversal con pendientes tan pronunciadas como de 60 grados. Cabe señalar, que las secciones exteriores no compactadas de la presa de CCR no deben incluirse como una porción de la sección transversal de la presa para propósitos estructurales.

La cara seca de la cortina de Trigomil, consistió en un talud no compactado con pendiente de proyecto de 0.80 a 1.00, para lo cual en ciertos sectores se necesitó de ayuda de cimbra.



El paramento de sustento con f'c=150 kg/cm² no se pueden tener perforaciones en la sección de sustento, en la sección exterior se usó un tipo de concreto compactado, en caso de CCR con un tipo de f'c=150 kg/cm² a 300 a 30 días de cura.

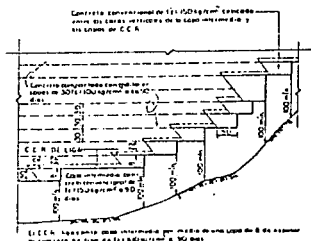


Fig. No. 24

## **F) JUNTAS PARA CONSTRUCCION HORIZONTAL:**

Las juntas para construcción horizontal pueden ser del tipo planeado o no planeado. Siempre que una capa de colado no se cubre cuando comienza a fraguar, deja de ser trabajable y se convierte en una junta fría, o junta de construcción no planeada. El elemento tiempo (en que deja de ser trabajable la mezcla) depende en gran medida de la temperatura, la cantidad de cemento en la mezcla y el tipo de agregado, así como sus características de retardación del fraguado.

Con base en el elemento tiempo, utilizando agregados retardantes, se alarga el tiempo de trabajo y fraguado, lo cual compensa retardos no programados, y permite el alargamiento de la superficie de trabajo del colado.

El tratamiento para los colados horizontales o las juntas de construcción difiere del concreto masivo colado del modo convencional, en que no hay aumento del agua en la superficie durante el fraguado del concreto. De este modo, no hay una película delgada de lechada en la superficie. El aumento del agua en la superficie es el resultado del asentamiento durante el fraguado cuando el agua sobrante (sangrado) se separa del gel del cemento y, por efecto de los materiales más pesados, sube a la superficie. La cantidad de agua de sangrado está 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 húmeda durante toda su exposición, no será necesario ningún tratamiento, si por lo contrario se ha contaminado con lodo o algún otro elemento extraño, se aplicará el procedimiento que sea necesario para retirar la sustancia extraña. Si la superficie se ha secado completamente, entonces se debe limpiar mediante chorro de arena húmeda o de agua con aire, este último puede emplearse junto con un retardador de aplicación superficial.

En las juntas de construcción horizontales, se asegura una adherencia satisfactoria utilizando una mezcla de estratificación con agregado cuyo tamaño máximo sea de 38 mm. o menos, siempre que la mezcla tenga un volumen de pasta de, por lo menos, 20% mayor que el volumen mínimo de pasta que produce densidad máxima. Un poco de segregación ocurre durante el manejo y distribución del concreto sobre una junta endurecida, sin importar el tamaño máximo del agregado. Por lo tanto, la estratificación de la mezcla debe tener suficiente exceso de pasta para que fluya durante la compactación con vibrador, y llenar los huecos que hay entre las partículas segregadas de la junta de construcción endurecida. La consistencia de la mezcla de estratificación debe ser idealmente húmeda para usarse en todo el espesor de la capa; debe extenderse en una capa de aproximadamente 8 cm. de espesor.

En estas condiciones, se debe asegurar la resistencia al cortante de la masa de concreto en la junta de construcción. Los requerimientos más esenciales de la mezcla de estratificación son el exceso de pasta, el exceso de humedad y el exceso de resistencia en vez de los que se requieren para la mezcla masiva. No proporciona ninguna ventaja el usar agregados cuyo tamaño máximo sea menor que 19 mm., para la mezcla de estratificación.

No obstante, las siguientes capas requieren de un contenido reducido de agua para evitar problemas en el apoyo para los rodillos vibratorios.

En Trigomil, en determinadas ocasiones, las juntas consistieron en capas de CCR pero con tamaño máximo de agregado de 38 mm. (grava 2) y mayor contenido de cemento, con procedimiento constructivo similar al del CCR.

Adicionalmente a las juntas de construcción se ejecutaron juntas de dilatación especificadas por proyecto.

## **G) CURADO Y PROTECCION:**

### **Aspectos Generales:**

El curado y la protección requeridos para el CCR coinciden generalmente con el tratamiento necesario para el concreto común, por lo que el concreto debe mantenerse en condiciones húmedas y a una temperatura favorable para la hidratación del cemento.

### **CURADO:**

Después de compactado el CCR, se debe obtener el curado y protección correctos para que el concreto pueda obtener su resistencia máxima sin sufrir las consecuencias de la contracción nociva debida a un secado precoz o cualquier otra reacción adversa.

El CCR se debe mantener continuamente 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, y 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 permanente expuestas y las que no se van a adherir a otra, pueden curarse mediante la aplicación de agua, compuestos líquidos para curado con membrana, 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. Este es el caso de las operaciones de colado continuo aplicadas en Trígonil.

#### **PROTECCION:**

#### **CLIMA CALUROSO:**

Durante el clima cálido o en condiciones climáticas en que el secado de la superficie se acelera puede resultar necesaria la protección de las superficies de CRR. Cuando se observan estas condiciones se debe añadir agua a la superficie para reemplazar y complementar la humedad evaporada. Cabe señalar que la mayoría de los problemas que generalmente se asocian con las obras de concreto en clima caluroso, tales como aumento en la demanda de agua, pérdida de revenimiento y agrietamiento por contracción plástica no suelen ser graves en la construcción con CCR, gracias 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.

## **CLIMA FRIO:**

Se debe proporcionar suficiente protección a las superficies expuestas de CCR durante 7 días después del colado, cuando se suponga que la temperatura del aire puede descender hasta o por debajo del punto de congelación. Dicha protección puede lograrse cubriendo la superficie con esteras, capas de paja, 15 cm. de tierra o con alguna otra forma de material aislante.

En Trigomil, y por especificación de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, no se permitió la colocación de CCR y concreto de liga cuando la temperatura ambiente sea mayor de cuarenta grados o menor de cuatro grados centígrados.

## **H) CONTROL DE CALIDAD:**

### **CONTROL EN EL CAMPO:**

#### **Control de Consistencia del CCR:**

El control del laboratorio de campo sobre los contenidos de agua de la mezcla es necesario para asegurar que hay suficiente pasta en la mezcla. El exceso de agua en la mezcla está controlado en forma automática durante el colado y compactación en el campo por la incapacidad de la mezcla demasiado húmeda para soportar el peso de los rodillos vibratorios.

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. Con vibración continua, se puede suponer que la mezcla tiene un volumen adecuado de pasta cuando ésta sube a la superficie y es claramente perceptible en toda el área.

Con equipo de vibrado apropiado esto se debe lograr en menos de un minuto cuando se trata de mezclas masivas, y en menos de 30 segundos cuando son mezclas de estratificación. Si la pasta no

llena la superficie dentro del período asignado, el contenido de agua de la mezcla debe ser incrementado hasta que esto suceda.

La única forma segura de determinar la compactación total en la obra consiste en medir la densidad compactada y compararla con la misma mezcla totalmente compactada en el laboratorio mediante vibración prolongada.

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 realizan actualmente para evaluar la calidad del concreto común.

#### **Control de Compactación:**

Después de la compactación es necesario verificar si el peso volumétrico especificado por proyecto coincida con el ejecutado.

#### **Control de Permeabilidad:**

Mediante la Prueba Lugeon se obtuvieron los índices de permeabilidad, primero de la roca de donde se desplantará la cortina, y posteriormente se aplicó en las capas de CCR.

La Prueba Lugeon consiste en inyectar agua a presión en el material por probar, previa barrenación del mismo, midiendo la cantidad de agua que penetra en un determinado tiempo.

La unidad Lugeon es la cantidad de litros de agua que penetran por minuto en un metro de perforación.

Según los resultados obtenidos de esta prueba, y en caso de ser necesario se hará el tratamiento correctivo.



### **3.7 OBRAS COMPLEMENTARIAS:**

#### **VERTEDOR:**

##### **Aspectos Generales:**

Es la estructura que libera los volúmenes de excedencias, en la Presa Trigomil, se encuentra alojado al centro de la cortina, el tipo es de cresta libre, con una longitud de cresta vertedora de 75 m., formado por un cimacio, canal de descarga sobre el talud de aguas abajo, muros de encauce y cubeta deflectora disipadora de energía. La cresta vertedora y la cubeta deflectora, serán de concreto masivo convencional, en tanto la losa del canal de salida y los muros de encauce serán de concreto reforzado, debidamente anclados en el CCR de la cortina.

Para el diseño del mismo se consideró un gasto de 3,540 m<sup>3</sup>/s y resultando una carga sobre la cresta vertedora de 7.96 m., obteniendo un gasto de descarga de 3,655 m<sup>3</sup>/s.

### Cantidades Estimadas del Vertedor:

CONCEPTO	CANTIDAD	
EXCAVACIÓN	16,170	M3
CONCRETO SIMPLE	31,400	M3
CONCRETO REFORZADO	9,300	M3
ANCLAS 3/4" DIÁMETRO X 300	600	PZA.

**Procedimiento Constructivo:** El transporte del Concreto fue el mismo que el descrito para la membrana impermeable, añadiendo una serie de "canales" metálicos para depositarlo en los sitios deseados, previo al armado del acero de refuerzo, el cual se amarró al CCR por medio de unas anclas a cada 2 m, y al cimbrado.

### 3.11 RELACION DE MAQUINARIA:

A continuación se describe la maquinaria utilizada para la construcción de la Presa Trigomil, especificando cantidad, modelo, tipo de motor, y una breve referencia de su principal función:

RELACION DE EQUIPO Y MAQUINARIA UTILIZADOS EN LA PRESA TRIGOMIL

CARACTERÍSTICAS DE LA MAQUINA			CARACTERÍSTICAS DE MOTOR		CANT.	FUNCIONES PRINCIPALES
DESCRIPCION	MARCA	MODELO	TIPO	MARCA		
1. CARGADOR SOBRE NEUMATICOS	MICHIGAN	45B	DIESEL	PERKINS	4	Extendido y distribución del CCR
2. CARGADOR SOBRE NEUMATICOS	CATERPILLAR	988B	DIESEL	CATERPILLAR	1	Carga de agregados en planta de concreto convencional.
3. CARGADOR SOBRE NEUMATICOS	TEREX	K-90C	DIESEL	GENERAL MOTORS	1	Carga en producción de agregados para CCR.
4. MOTOCOMPACTADORA	COMPACTO	CM17	DIESEL	CUMMINS	1	Extensión material, nivelación y mantenimiento accesos.
5. COMPACTADOR MIXTO	I. RAND	SP56D	DIESEL	GENERAL MOTORS	3	Colocación y compactación del CCR.
6. TRITURADORA PRIMARIA	TELSMITH	36X46	ELECTRICO 200HP	SIEMENS	1	Producción Grava 3 para CCR.
7. TRITURADORA SECUNDARIA	TELSMITH	1300S	ELECTRICO	SIEMENS	1	Producción Grava 2 para CCR y concreto convencional.
8. TRITURADORA TERCIARIA	TELSMITH	44FCGCC	ELECTRICO	SIEMENS	1	Producción Grava 1 para CCR y concreto convencional.
9. PLANTA DE CRIBADO	TELSMITH	SDT18	ELECTRICO 150HP	TOSHIBA	1	Clasificación de Grava 3.
10. PLANTA DE CRIBADO	TELSMITH	SB424	ELECTRICO 50HP	TOSHIBA	1	Clasificación de Grava 2 y 1.
11. PLANTA DE CONCRETO.	ASTEC	K570	ELECTRICO 125HP	LINCOLN	1	Planta de mezclado de CCR.
12. PLANTA DE CONCRETO.	OBSA	6.000	ELECTRICO 7.5HP	DEM	1	Planta de mezclado de concreto convencional.
13. PLANTA DE LUZ	CATERPILLAR	VARIOS	DIESEL	CATERPILLAR	7	Suministro de energía eléctrica.
14. COMPRESORA PORTATIL	Q. DENVER	SPK325	DIESEL	PERKINS	4	Suministro aire para máquinas neumáticas.
15. TRACTOR SOBRE ORUGAS	CATERPILLAR	D5B	DIESEL	CATERPILLAR	1	Mantenimiento de accesos, trabajos varios excepto en cort.
16. GRUA HIDRAULICA	LINK-BELT	H5P5	DIESEL	GENERAL MOTORS	1	Maniobra colocación bandas transportadoras.
17. VOLQUETE	AUSA	150DH	DIESEL	DEUZ	1	Varón
18. BANDAS TRANSPORTADORAS	TELSMITH	VARIOS	ELECTRICO	VARIOS	24	Transporte de agregados y CCR.
19. ALIMENTADOR VIBRATORIO	TELSMITH	48X18	ELECTRICO	REULAND	1	Alimentación planta de concreto.
20. PERFORADORA SOBRE ORUGAS.	Q. DENVER	RMEA12	NEUMATICO	Q. DENVER	1	Perforación de bancos de agregados.
21. PERFORADORA NEUMATICA PISO	Q. DENVER	55B	NEUMATICO	S/M	3	Barreras chicas, demoliciones.
22. PERF. NEUMATICA PIERNA	ATLAS COPCO	8BC35	NEUMATICO	S/M	2	Barreras chicas, demoliciones.
23. ROMPEDORA PAVIMENTOS	ATLAS COPCO	TEX41	NEUMATICO	S/M	11	Demoliciones.
24. OLLA REVOLVEDORA	DINA	861K	DIESEL	CUMMINS	8	Mezclado y transporte de concreto convencional.
25. SILO PARA CEMENTO	VARIAS	VARIOS	VARIOS	VARIOS	15	Contenedores y almacenamiento de cemento y cenizas volas.
26. BOMBA PARA CONCRETO	SCHWING	BP2000	DIESEL	DEUZ	2	Transporte de concreto convencional.
27. SOPLADOR PARA CEMENTO	SYCSA	4509VT	ELECTRICO	DEM	6	Carga de cemento de camión a silos.
28. VIBRADORES DE CONCRETO	DYNAPAC	MVK8	GASOLINA	KOHLER	2	Vibrado de concreto convencional.
29. VIBRADORES DE PARED	BOSCH	18134	ELECTRICO	S/M	2	Vibrado de tubería para ayudar a fluir el CCR.
30. VIBRADORES DE CONCRETO	BOSCH	61860	ELECTRICO	S/M	4	Vibrado de concreto convencional.
31. PLANTA DE LUZ	PLANELEC	30KWS	DIESEL	CUMMINS	1	Suministro de energía eléctrica.
32. COMPRESOR PARA TALLER	Q. DENVER	132PCM	ELECTRICO	S/M	2	Suministro aire máquinas neumáticas.
33. TRANSFORMADOR POTENCIA	ESMSA	100KVA	ELECTRICO	S/M	1	Transformador de potencia.
34. CONVERTIDOR ELECTRICO	BOSCH	2KVA	ELECTRICO	S/M	6	Convertidores eléctricos.
35. GRUA HIAB SOBRE CAMION	FORD	1980	GASOLINA	FORD	2	Carga, descarga, transporte y maniobra piezas precoladas.
36. TALADRO DE COLUMNA	ARBOGA	E830	ELECTRICO	S/M	1	Mantenimiento.
37. SOLDADORA DIESEL	LINCOLN	SAE300	DIESEL	PERKINS	5	Mantenimiento.
38. SOLDADORA RECT.	MILLER	SRH383	ELECTRICO	S/M	3	Mantenimiento.
39. EQUIPO DE LUBRICACION	DINA	1991	DIESEL	PERKINS	1	Mantenimiento.
40. LAVADORA PRESION	GIBILI	DT190F	GASOLINA	S/M	2	Mantenimiento.
41. BOMBA AGUA PRESION	BARNES	4X4	ELECTRICO	SIEMENS	2	Mantenimiento.
42. BOMBA POZO PROFUNDO	DE ALBA	10B	ELECTRICO	U.S.	2	Mantenimiento.
43. AUTOBUS PASAJEROS	FORD	B600	GASOLINA	FORD	5	Transporte de personal.
44. PLATAFORMA CAMA	HOLDEN	6070N	S/T	S/M	2	Transporte maquinaria.
45. CAMION REDLAS	FAMSA	F151760	DIESEL	MERCEDEZ B.	4	Transporte varios.
46. REMOLQUE P/CIMENTO	FRUEHAUF	20M3	S/T	S/M	9	Transporte cemento a granel.
47. CAMION PIPA AGUA	FAMSA	1990	DIESEL	MERCEDEZ B.	2	Transporte agua.
48. CAMIONETA PICK-UP	CHEVROLET	2500	GASOLINA	CHEVROLET	7	Transporte varios.
49. CAMIONETA ESTACAS	FORD	1987	GASOLINA	FORD	5	Transporte varios.
50. CAMION VOLTEO	DINA	861K	DIESEL	CUMMINS	5	Transporte CCR.
51. TRACTOCAMION	DINA	9400	DIESEL	CUMMINS	2	Transporte CCR.

101

## **V. PLANEACION, PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRA:**

### **Generalidades:**

La Planeación es de gran importancia para la ejecución de cualquier proyecto, ya que gracias a ella podemos encontrar la solución óptima dentro de los parámetros tiempo, costo y calidad, aprovechando al máximo los recursos con los que cuenta.

Programación es la determinación de los tiempos de realización de las distintas actividades que comprende un proyecto y la interrelación de éstas a fin de poder calcular la duración total del proyecto.

Control se refiere a la evaluación de lo que está ejecutado, comparándolo con lo programado, de tal manera que se puedan tomar las medidas para corregir las desviaciones que se presenten en relación con lo planeado.

Una vez seleccionada la alternativa de tipo de Cortina para la Presa Trigomil, fue necesario visualizar todas las operaciones del proyecto, determinando sus tiempos de ejecución según los rendimientos estimados y se acomodaron en una secuencia lógica para llevarlos a cabo de la forma más eficiente.

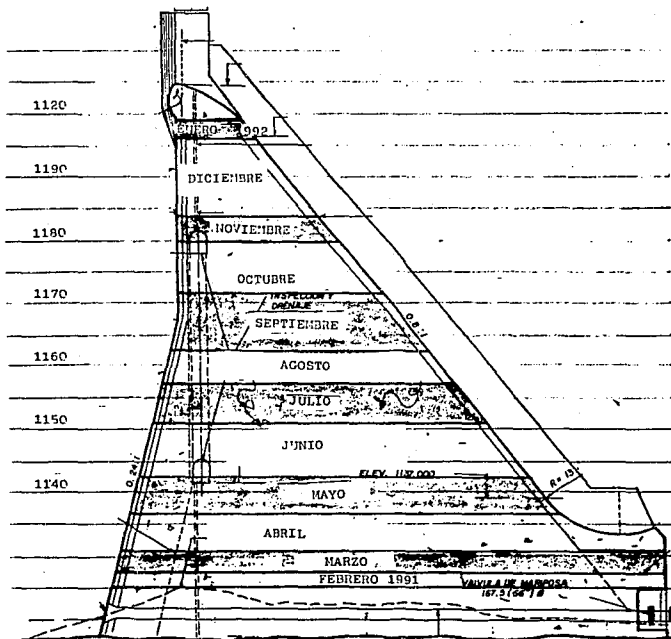
Se realizaron dos programas para determinar la duración del proceso constructivo, uno optimista y el otro pesimista.

A continuación se presentan los programas de los conceptos más importantes del proceso constructivo de la cortina, como son fabricación y colocación del concreto convencional, CCR, trituración, acarreo de cemento y varios; dichos conceptos incluyen la mayoría de las actividades involucradas en el proceso constructivo. Presentándose sólo la última fase de construcción a partir de Abril de 1991 (considerando los volúmenes acumulados a esta fecha).





Simultáneamente al avance del proceso constructivo, se llevaron varios controles para evaluar el mismo y corregir los posibles atrasos. A continuación se presenta el avance gráfico:

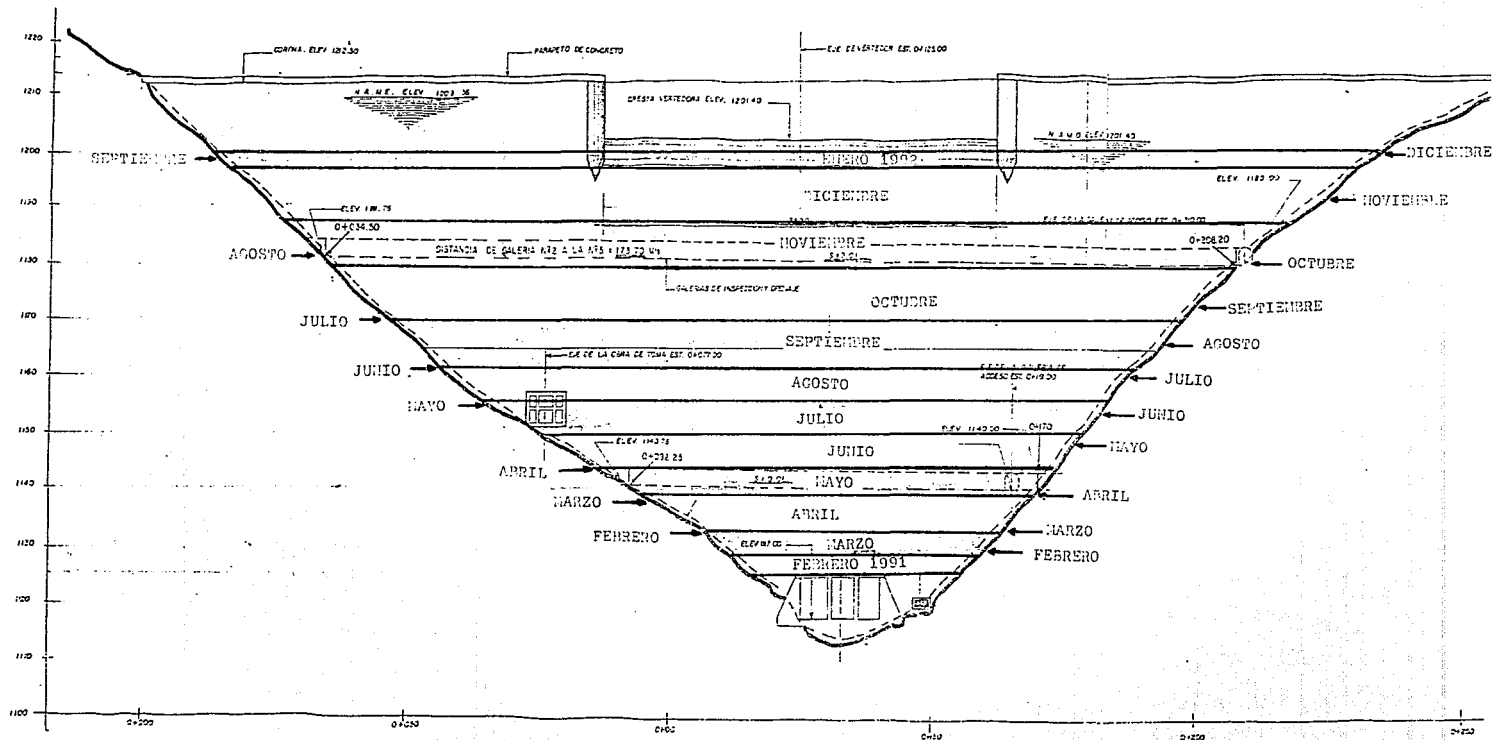




# PROGRAMA OPTIMISTA

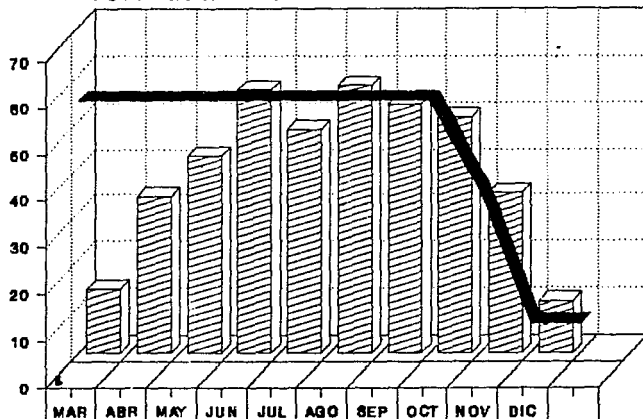
# AVANCE REAL

# PROGRAMA PESIMISTA



01

## PRESA DE ALMACENAMIENTO TRIGOMIL COMPARATIVA DE AVANCE EN MILES DE M3



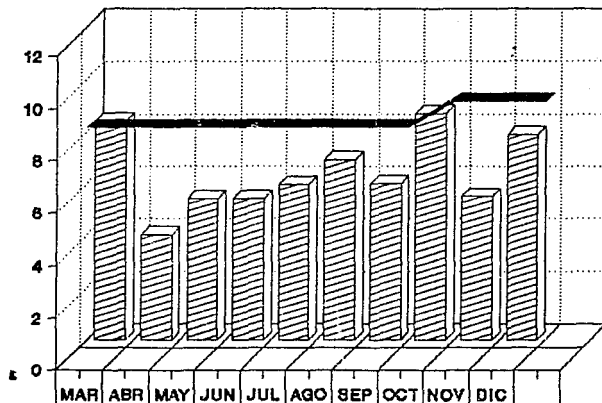
TRIT. REAL	13.6	33.4	42.3	56.6	47.8	57.6	53.3	50.5	34.1	11.1
TRIT. PROFORMADO	60	60	60	60	60	60	60	60	40	12

**VOLUMEN TRITURADO.**

TRIT.PROFORMADO
  TRIT.REAL

# PRESA DE ALMACENAMIENTO TRIGOMIL.

COMPARATIVA EN MILES DE TONELADAS



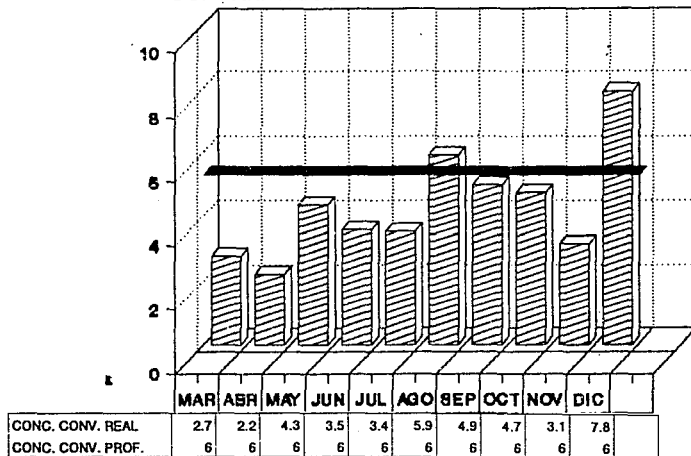
ACARR. CEMENTO REAL	8.3	8.9	5.4	5.4	5.9	9.8	5.9	6.6	5.4	7.8
ACARR. CEMENTO PROF	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10

VOLUMEN ACARREADO

■ ACARR.CEMENTO PROF.    ▨ ACARR.CEMENTO REAL.

# PRESA DE ALMACENAMIENTO TRIGOMIL

COMPARATIVA DE AVANCE EN MILES DE M3

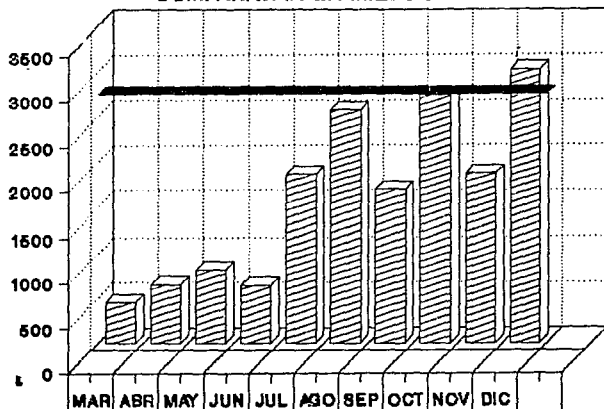


VOLUMEN COLOCADO

■ CONC. CONV. PROFORMADO    ▨ CONC. CONV. REAL

# PRESA DE ALMACENAMIENTO TRIGOMIL

COMPARATIVA EN MILES DE PIEZAS



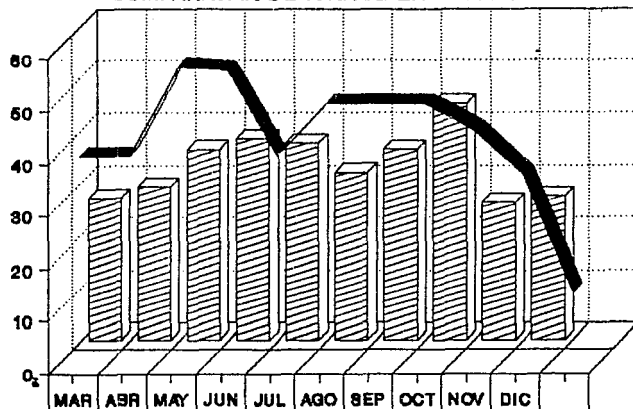
	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
FABR. PREC. REAL	450	650	813	638	1858	2568	1882	2733	1869	3018
COLOC. PREC. PROF.	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000

VOLUMEN DE PIEZAS COLOCADAS

■ COLOC.PREC.PROFORMA    ▨ FABR.PREC.REAL

# PRESA DE ALMACENAMIENTO "TRIGOMIL"

COMPARATIVA DE AVANCE EN MILES DE M3



	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CCR REAL	27	29.3	36.4	38.5	37.6	32	36.4	45	36.2	37.3
CCR PROFORMADO	40	40	57	58.2	40	50	50	50	45	36.5

VOLUMEN COLOCADO

■ CCR PROFORMADO    ▨ CCR REAL

El avance real del proceso constructivo se apegó a la programación pesimista, pero dentro de un rango aceptable e inclusive con un rendimiento superior al de la alternativa de concreto convencional.

La planeación, programación y control de obra, para el caso de la Presa Trigomil son de gran importancia, por la continuidad de los procesos constructivos, ya que cualquier error provoca un retraso general en el programa de obra.

Los programas y controles de avance de obra de la Presa Trigomil, toman en cuenta solo el tiempo efectivo, puesto que durante el procedimiento constructivo se presentaron varias y prolongadas suspensiones por cuestiones ajenas al proyecto. Tomando en cuenta lo anterior, el tiempo de ejecución del colado y compactado del CCR en la cortina fue de 11 meses (de Marzo de 1991 a Enero de 1992).

## VI. CONCLUSIONES:

Las experiencias recopiladas de la construcción de la Presa Trigomil sirven para la evaluación de las características del CCR, sistema que por primera vez fue utilizado en la cortina de una Presa de las dimensiones de la de Trigomil, comprobando así, las ventajas de este sistema, y mostrando los medios para minimizar y sobreponer sus desventajas.

Dentro de los parámetros de Costo, Tiempo y Calidad, el CCR nos brinda una solución óptima para los colados masivos de presas y pavimentos, puesto que es una alternativa con grandes ahorros por el bajo consumo de cemento, menor tiempo de ejecución debido a su procedimiento constructivo de mayor rendimiento, y una calidad equiparable a la del concreto convencional.

Debido a la novedad del sistema del CCR, y a la falta de experiencia en este sistema constructivo, el avance de obra no fue el óptimo, sin embargo, el aprendizaje adquirido ayudará a maximizar las ventajas del CCR para futuros proyectos.

En resumen, gracias a los resultados positivos obtenidos en Trigomil, el CCR será considerado como una alternativa atractiva, para la solución a proyectos que involucren colados masivos y que se cuente con los requisitos como disponibilidad de materiales, y el equipo necesario.



**BIBLIOGRAFIA:**

**"PRESAS DE CONCRETO RODILLADO"**

Ing. Antonio Mosqueda Tinoco.

Ingeniería Hidráulica en México

Septiembre-Diciembre 1985.

**"THE FIRST CONCRETE GRAVITY DAM DESIGNED AND BUILT  
FOR ROLLER COMPACTED CONSTRUCTION METHODS"**

Ernest K. Schrader

Concrete International

Octubre 1982

**"WHAT IS ROLLER COMPACTED CONCRETE?"**

Ernest K. Schrader

Concrete Construction

Septiembre 1982.

**"CONCRETO COMPACTADO CON APLANADORA"**

Ernest K. Schrader

The Military Engineer

Reimpreso en Revista IMCYC

Septiembre Octubre 1977.

**"CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS"**

Informe del Comité 207 del ACI.

**"RCC DOES MORE"**

Fred A. Anderson

Concrete International

Mayo 1984.

**"DEVELOPMENT OF THE ROLLED CONCRETE DAM FOR MILTON  
BROOK"**

Malcom R. H. Dunstan

Concrete International

Marzo 1983.

**"EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS Y EL ROLACRETO  
EN LAS PRESAS"**

Robert W. Cannon

Concrete International

Diciembre 1985.

**"ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONSTRUCCION PARA LA  
PRESA TRIGOMIL, JALISCO"**

SARH, Dirección General de Irrigación y Drenaje.

**"ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONSTRUCCION PARA LA  
PRESA LA MANZANILLA, GUANAJAUATO"**

SARH, Dirección General de Irrigación y Drenaje.

**"COMPACTATION OF MASS CONCRETE WITH VIBRATORY  
ROLLER"**

Robert W. Cannon

ACI Journal, Proceedings.

Octubre 1984.

**"PAVIMENTO DE CCR"**

IMCYC No.189

Febrero 1987.

**"APUNTES DEL SEMINARIO DE CONCRETO COMPACTADO CON  
RODILLOS"**

Ernest K. Schrader

Hotel Sheraton, México D.F.

Octubre 1987.

**DEPARTAMENTO TECNICO "ICA" EN PRESA TRIGOMIL**

Enero 1992.