



# **UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**"CONSTRUCCIÓN DE REPRESAS CON HORMIGÓN  
COMPACTADO CON RODILLO (HCR) "**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**JUAN PABLO TELLO VALLADARES**

**Director: MSc. Ing. Juan Medardo Solá Quintuña**

**2016**

## DECLARACIÓN

Yo, Juan Pablo Tello Valladares, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

Juan Pablo Tello Valladares

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Pablo Tello Valladares, bajo mi supervisión.

---

Ing. MSc. Juan Medardo Solá Quintuña

**DIRECTOR**

## DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente trabajo de investigación a mis dos angelitos quienes fueron mi inspiración para que la realización de este trabajo sea posible, mis hijos, Emilia Valentina y Pablito Enmanuel.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios por haberme dado la salud y la sabiduría para poder culminar mis estudios y permitirme alcanzar esta meta tan anhelada de llegar a convertirme en profesional.

Agradecer a mis padres por su apoyo incondicional quienes se han sacrificado para que yo pueda alcanzar este peldaño, siendo guías y buenos consejeros en este duro camino de estudios.

A mí querida esposa por haber sido padre y madre en ciertos momentos en los que no me encontraba, cuidando siempre a mi familia con su paciencia y amor.

Agradecer a mis hermanos quienes siempre estuvieron apoyándome e incentivándome para que siga adelante en mi vida estudiantil.

A mi tío que siempre estuvo ahí en los momentos más duros de este camino, gracias por su apoyo incondicional.

A mi Director de Tesis el Ing. Juan Solá por haberme siempre guiado en el transcurso de realización de este trabajo brindándome siempre sus conocimientos y experiencias.

# INDICE DE CONTENIDOS

DECLARACION.....	I
CERTIFICACION.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
INDICE DE CONTENIDOS.....	V
LISTA DE TABLAS.....	VII
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	VII
LISTA DE CUADROS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE ANEXOS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X

CAPÍTULO I .....	11
1.1 INTRODUCCIÓN .....	11
1.2 ANTECEDENTES.....	11
1.3 OBJETIVOS.....	12
1.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....	12
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
1.4 HIPÓTESIS.....	13
1.5 VENTAJAS DEL USO DEL HCR .....	13
1.6 DESVENTAJAS QUE TIENE EL USO DEL HCR .....	14
1.7 MATERIALES QUE COMPONEN EL HCR.....	14
1.7.1 CONGLOMERANTE (cementante).....	15
1.7.2 AGREGADOS .....	15
1.8 CLASIFICACIÓN DEL HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO.....	17
1.9 NORMAS .....	17
1.10 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....	17
1.11 CONDICIONES GENERALES .....	18
1.12 CONDICIONES ESPECÍFICAS .....	19
1.12.1 MATERIALES.....	19
CAPÍTULO II DOSIFICACIÓN DEL HCR .....	22
2.1 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGON .....	22
2.1.1 GENERALIDADES .....	22
2.1.2 CONSISTENCIA DEL HCR (VEBE).....	22

2.1.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	24
2.1.4 RESISTENCIA A LA TENSIÓN .....	25
2.2 MEZCLA DEL HORMIGON HCR.....	26
2.3 TEMPERATURA DEL HORMIGÓN HCR .....	26
2.4 TRANSPORTE DEL HORMIGÓN HCR.....	26
2.5 PREPARACIÓN DEL SITIO PARA LA COLOCACIÓN DEL HCR .....	27
2.5.1 GENERALIDADES .....	27
2.5.2 EQUIPOS, MATERIALES Y HERRAMIENTAS .....	27
2.5.3 PERSONAL A SER UTILIZADO.....	28
2.5.4 EQUIPO DE PROTECCIÓN A SER UTILIZADO (EPI'S).....	28
2.6 ENCOFRADOS.....	28
CAPITULO III REPRESAS .....	29
3.1 GENERALIDADES.....	29
3.1.1 FUNCIONAMIENTO.....	30
3.1.2 ESTRUCTURA DE UNA REPRESA.....	30
3.1.3 EMBALSE .....	33
3.2 PREPARACIÓN PARA LA CIMENTACIÓN .....	34
3.3 COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN HCR .....	34
3.4 MEZCLA DE PEGA.....	35
3.5 EXTENDIDO DEL HCR .....	35
3.6 CAPA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO .....	36
3.7 HORMIGON CONVENCIONAL .....	37
3.8 COMPACTACIÓN DEL HCR .....	37
3.9 TIPOS DE JUNTAS .....	38
3.9.1 JUNTAS DE CONTRACCIÓN .....	39
3.9.2 JUNTAS HORIZONTALES.....	40
3.10 PROTECCIÓN Y CURADO DEL HCR.....	40
3.11 ACABADOS .....	41
3.12 TOLERANCIAS.....	41
CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
4.1 CONCLUSIONES.....	43
4.2 RECOMENDACIONES .....	43
BIBLIOGRAFÍA.....	44
ANEXOS .....	46

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1.2 PRESAS CONSTRUIDAS CON HCR EN ALGUNOS PAISES.....	12
TABLA 1.2.1 SIGLAS CON LAS QUE SE LE CONOCE AL HORMIGON COMPACTADO CON RODILLO.....	12
TABLA 1.7.1 TIPOS DE CEMENTO UTILIZADOS EN EL HCR.....	15
TABLA 1.7.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN LOS LÍMITES GRANULOMÉTRICOS.....	16
TABLA 1.11 ENSAYOS DE AGREGADOS QUE SE REALIZAN PARA PRESAS DE HCR....	19
TABLA 1.12 GRADACIONES REQUERIDAS.....	21

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTO 2.1.2. APARATO VEBE.....	23
FOTO 2.1.2 MEDICIÓN DEL TIEMPO Y MEDICIÓN DE CONSISTENCIA DEL HCR.....	23
FOTO 2.1.3. ROTURA DE CILINDRO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	25
FOTO 2.2 MEZCLA DE HORMIGÓN HCR.....	26
FOTO 3.1 REPRESA MANDURIACU.....	29
FOTO 3.1.2.1. ESTRIBOS DE LA REPRESA MANDURIACU.....	31
FOTO 3.1.2.2 DESAGUE DE FONDO PRINCIPAL DE LA PRESA MANDURIACU.....	32
FOTO 3.1.2.3 VERTEDEROS DE LA PRESA MANDURIACU.....	32
FOTO 3.1.3 EMBALSE DE LA PRESA MANDURIACU.....	33

## LISTA DE CUADROS

CUADRO 1.5 DIFERENCIAS DE COSTOS ENTRE PRESAS CONSTRUIDAS CON HCR Y HCV.....	14
CUADRO 1.7.2. CURVA GRANULOMÉTRICA.....	15
CUADRO 1.12 c) CALIDAD DE ACEPTACIÓN DEL AGUA.....	20
CUADRO 2.1.1 DOSIFICACIÓN TIPO DE UN HORMIGÓN HCR.....	22
CUADRO 2.1.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A DISTINTAS EDADES.....	25

## **LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 3.1.2.1 UBICACIÓN DE LA REPRESA MANDURIACU PICHINCHA E IMBABURA, CANTONES QUITO Y COTACACHI.....	31
FIGURA 3.8.1. COLOCACIÓN DE JUNTA DE CONTRACCIÓN.....	39

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO POR LA EMPRESA ODEBRECHT DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN EL HCR.....	47
ANEXO B FOTOGRAFÍAS.....	48



## UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA CENTRO DE IDIOMAS

### RESUMEN

El Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) aplicado en represas es una técnica de construcción no muy conocida, en el Ecuador ya se lo ha aplicado en uno de sus Megaproyectos como lo fue la construcción de la Hidroeléctrica Manduriacu, que fue inaugurada en el año 2015 y está por ser utilizado en la Hidroeléctrica Minas - San Francisco, este hormigón se caracteriza por que en sus diseños se aplica una baja cantidad de cemento.

Uno de los beneficios que se tiene al usar el HCR es que al momento de ser utilizado en la construcción ocupa equipos que son utilizados en el movimiento de tierras, aumentando su productividad y reduciendo los tiempos de construcción.

Otra de las ventajas que tenemos al momento de usar el HCR es que al momento de usar cantidades bajas de material cementante estamos bajando los costos de construcción debido a que representa del 30 al 50% menos de cemento que en los hormigones convencionales.

El presente trabajo nos enseña cómo debe ser utilizado el HCR al momento de ser colocado en una represa, teniendo en cuenta las normas y especificaciones técnicas al momento de su colocación en obra.

**Palabras Clave:** HORMIGÓN COMPACTADO, MATERIAL CEMENTANTE, HORMIGONES CONVENCIONALES, ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA  
CENTRO DE IDIOMAS

ABSTRACT

The roller compacted concrete (HCR) applied in companies is a construction technique not widely known in Ecuador as it has been applied in one of its megaprojects as it was construction of the Manduriacu hydroelectric, which was opened in 2015 and is being used in the Minas - San Francisco hydroelectric, this concrete is characterized by its designs a low amount of cement is applied.

One of the benefits when using the HCR is that the time of being used in the construction holds equipment that are used in earthworks, increasing productivity and reducing construction time.

Another advantage that we have when using the HCR is at the time of using low quantities of cementitious material we are lowering construction costs because it represents 30 to 50% less cement than conventional concretes.

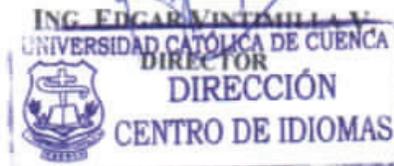
The present study shows us how the HCR must be used when being placed on a dam, considering the technical standards and specifications at the time of the site installation.

**Keywords:** COMPACTED CONCRETE, CEMENTITIOUS MATERIAL, CONVENTIONAL CONCRETE, TECHNICAL SPECIFICATIONS.

Cuenca, 01 de abril de 2016.

EL CENTRO DE IDIOMAS DE LA UCACUE, CERTIFICA QUE EL DOCUMENTO QUE ANTECEDE FUE  
TRADUCIDO POR PERSONAL DEL CENTRO PARA LO CUAL DOY FE Y

SUSCRIBO,



# CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) es una nueva técnica dentro de la ingeniería civil, que se la viene ocupando en la construcción de represas a nivel mundial, siendo uno de los más grandes avances tecnológicos para la construcción, que cumple ciertos parámetros de diseño y colocación en obra.

Al HCR lo podemos definir como un concreto seco, con asentamiento "cero", con bajos contenidos de cemento que pueden ir entre 60 y 240 kg/m<sup>3</sup> y que debe ser compactado con un rodillo vibratorio. Esta mezcla debe cumplir con una humedad mínima, que evite que los equipos de colocación se hundan, pero a la vez suficiente para garantizar la uniformidad de la pasta de cemento dentro de la mezcla.

Por su naturaleza, este material puede ser diseñado considerando la tecnología de suelos y también la tecnología de concretos.

Usando la tecnología de suelos, se considera el material como un suelo estabilizado con un material cementante. Se desarrollan curvas densidad-humedad con diferentes grados de compactación y se determina el grado de humedad óptima y la densidad seca máxima.

Esta tecnología de compactación del suelo debe estar ligada a los desarrollos de los diseños de concreto, que se basa en la relación A/C.

## 1.2 ANTECEDENTES

"La primera vez que se colocó el Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) fue en la presa de escollera de Shihmen en Taiwán entre los años de 1960 y 1961. Aproximadamente en el año de 1975 se incrementó de manera significativa el uso de la técnica del Hormigón Compactado con Rodillo (HCR). Por las normas técnicas y económicas que aporta el Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) es actualmente el material más utilizado en el mundo para la construcción de presas de gravedad". (Tesis, Valarezo & Lojano, 2012)

En algunos países ya se han construido represas de HCR debido a sus grandes ventajas, a continuación se detalla los más importantes en la siguiente tabla.

TABLA 1.2 PRESAS CONSTRUIDAS CON HCR EN ALGUNOS PAISES

PAIS	CANTIDAD
Estados Unidos	28
España	25
Japón	20
China	17
Total	85

Fuente: Cascon & Hernández, Ingeniería de Presas, Universidad de Cantabria

Al Hormigón Compactado con Rodillo se lo conoce de las siguientes maneras:

TABLA 1.2.1 SIGLAS CON LAS QUE SE LE CONOCE AL HORMIGON COMPACTADO CON RODILLO

PAIS	SIGLAS	SIGNIFICADO
Estados Unidos	RCC	Roller Compacted Concrete
Inglaterra	RDLC	Roller Dry Lean Concrete
Japón	RCD	Roller Compacted Dam
Francia	BCR	Beton Compacté au Rouleau
España	HCR	Hormigón Compactado con Rodillo

Fuente: Manual de coordinación de seguridad y salud en las obras de construcción por: Rubio Romero & Rubio Gámez; Tesis, Olimpia, Flores & Santos, 2012

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

El Objetivo principal de este proyecto es identificar la correcta aplicación de la técnica constructiva del HCR en represas, elaborando un procedimiento viable.

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener la mayor cantidad de información para el proceso que nos lleva a aplicar este tipo de hormigón en las represas para contribuir a mejorar las técnicas constructivas de la aplicación del HCR en nuestro país.
- Describir las principales características del diseño de las presas construidas con este HCR, mediante la especificación de parámetros como la

impermeabilidad y el uso de un espesor de mortero ideal para adherir sus capas en caso de que se lo requiera.

- Proponer una metodología para la aplicación del Hormigón HCR para la construcción de nuevas presas y la rehabilitación de las represas existentes.
- Determinar los pasos a seguir para garantizar una correcta colocación del HCR en la construcción de una Hidroeléctrica.

## **1.4 HIPÓTESIS**

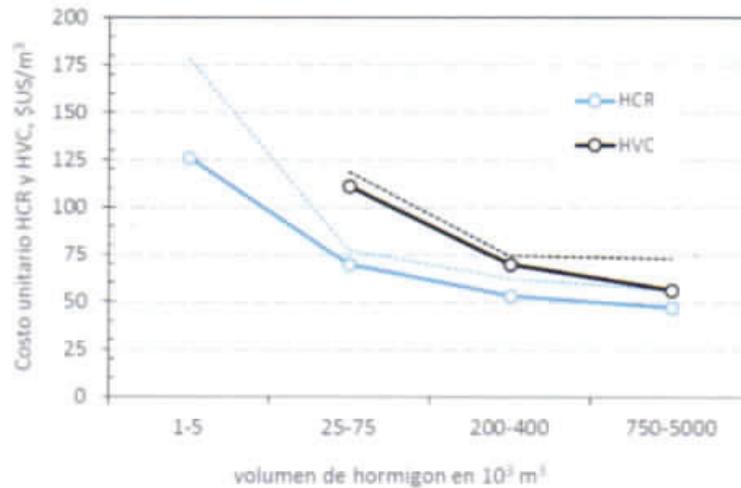
- Proponer y favorecer la difusión sobre el uso del Hormigón HCR para la construcción de nuevas presas y la rehabilitación de las represas existentes, ya que muchos ingenieros se han especializado en resolver sus diseños con terraplenes de rocas o concreto armado, creo que existen grandes oportunidades y ventajas para cambiar esta tendencia.

## **1.5 VENTAJAS DEL USO DEL HCR**

Al momento de utilizar el HCR se tiene algunas ventajas según la USACE, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (en inglés United States Army Corps of Engineers):

- Costo, esto dependerá de la complejidad del proyecto, el costo de la construcción de una Represa de HCR, con la de HCV, puede variar en un 30 a 50% menos.
- La velocidad en el tiempo de construcción de una Presa de HCR, puede ser un 25% menor a la construcción de una presa de HCV
- Cementante, el HCR permite alcanzar similares niveles de resistencia del HVC con menores contenidos de cemento, presentando una mayor eficiencia en el consumo de cemento.
- Costo de encofrados, debido a que el hormigón se coloca en capas de espesor delgado, el costo de encofrados se reduce significativamente respecto de presas construidas con HVC.
- Control de temperatura: debido al menor consumo de cemento se reduce significativamente el costo para el control de la temperatura.
- Utilización de equipos de movimiento de tierras.
- Es reciclable en su totalidad al final de su vida útil.
- Menor volumen de material de presa que en una elaborada con enrocado

CUADRO 1.5 DIFERENCIAS DE COSTOS ENTRE PRESAS CONSTRUIDAS CON HCR Y HCV



Fuente: USACE

## 1.6 DESVENTAJAS QUE TIENE EL USO DEL HCR

A pesar de las grandes ventajas que se tiene al usar el HCR en represas, también tiene sus desventajas:

- "Infiltraciones entre las capas debido al carácter permeable y a un nivel de agrietamiento controlado.
- La Adherencia entre capas debido a las características del material las hacen en cierta manera vulnerable ante los eventos sísmicos.
- Para adquirir resistencia es necesario aplicarle energía de compactación al hormigón fresco
- Bajo contenido de pasta en el hormigón origina que se vuelva permeable, a menos que se le coloque un filler." (Presas de Concreto Compactado con Rodillo, Armando José Elao Otero.)

## 1.7 MATERIALES QUE COMPONEN EL HCR

Los materiales que componen el Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) son los mismos que los del concreto convencional; cemento, agregados, agua, adiciones (escoria de horno alto, sílice, puzolana natural, esquistos, ceniza volcánica), y aditivos de los cuales se hablará a continuación:

## 1.7.1 CONGLOMERANTE (cementante)

Los cementos más apropiados para la fabricación del Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) son los tipo II y IV según la norma ASTM, o un cemento mixto, este último es el más utilizado en la mayoría de las presas y se compone de una mezcla de cemento con adiciones entre un 30 a un 80% en peso de puzolanas naturales.

TABLA 1.7.1 TIPOS DE CEMENTO UTILIZADOS EN EL HCR

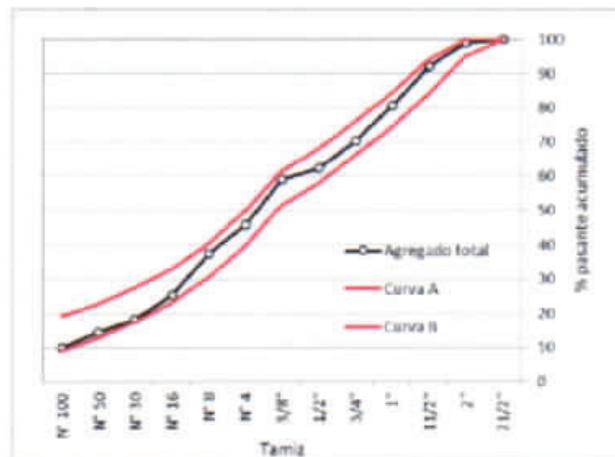
Tipos de cemento	Denominaciones	Designaciones
I	Cemento Portland	CEM I
II	Cemento Portland con adiciones	CEM II
III	Cemento Portland con escorias de horno alto	CEM III
IV	Cemento puzolánico	CEM IV
V	Cemento compuesto	CEM V

Fuente: <http://www6.uniovi.es/~usr/fblanco/Leccion4.TiposCEMENTOS.pdf>

## 1.7.2 AGREGADOS

Constituyen aproximadamente el 80% del volumen del Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) cuya finalidad es conformar el esqueleto de éste, pueden ser naturales o de machaqueo que cumplan con las normas vigentes de cada país. El tamaño máximo del agregado los proyectistas lo limitan a la cuarta parte del espesor de la capa a ser colocada. Para determinar la granulometría más adecuada para el hormigón HCR, puede utilizarse como punto de partida alguna curva de referencia similar a las del hormigón convencional.

CUADRO 1.7.2. CURVA GRANULOMETRICA



Fuente: ICPA, [www.icpa.org.ar](http://www.icpa.org.ar)

### 1.7.2.1 AGREGADOS GRUESOS

El USACE recomienda que el TMA no sea mayor de 75 mm (control de la segregación y compactación). El rango de TMA utilizado en las presas de HCR se encuentra entre 38,5 y 75 mm. En los últimos años la tendencia ha sido utilizar TMA que no superen los 50 mm.

- Se realiza a cada tamaño
- La Granulometría tiene que ser realizada dos veces por día, en caso de que existan turnos de trabajo, esta se lo realizara cada turno.
- Las muestras tienen un tamaño máximo de 100kg.
- Cada muestra debe representar el espesor máximo de la última camada extendida.
- Se toma una muestra de verificación cuando los materiales están fuera de los límites.

### 1.7.2.2 AGREGADOS FINOS

- En el almacenamiento donde se encuentran los agregados finos se realizan pruebas frecuentes, en donde se verifica el tamaño (<75 micrones).
- Se realiza índice de plasticidad y limite líquido a todo material menor a 325 o 400 micrones una vez por semana.

La mayoría de los agregados usados en la elaboración del HCR, deben cumplir con los requerimientos de la norma ASTM 33M-11.

TABLA 1.7.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN LOS LÍMITES GRANULOMÉTRICOS

Clasificación	Intervalo nominal (mm)	Mallas ASTM correspondientes
Agregado Fino	0.075 - 4.75	Nº 200 a Nº 4
Agregado Grueso	4.75 - variable	Nº 4

Fuente: ASTM C33, Especificación Estándar de Agregados para Concreto

Es conveniente disponer de un cierto contenido de finos menores de 75 micrones (pasante tamiz N°200). La práctica sugiere un contenido de finos entre 4 y 10% debido a que se puede obtener lo siguiente:

1. Mejora la durabilidad de los concretos.
2. Mejora la impermeabilidad.
3. Mejora la resistencia.

4. Disminuye la cantidad de agua para igual docilidad.

## 1.8 CLASIFICACIÓN DEL HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO

Al HCR se lo puede clasificar de acuerdo a la cantidad de cemento que contengan.

- Alto contenido de material cementante (150kg/m<sup>3</sup>)
- Mediano contenido de material cementante (100 a 149kg/m<sup>3</sup>)
- Bajo contenido de material cementante (99kg/m<sup>3</sup>) (Valarezo & Lojano, 2012)

## 1.9 NORMAS

Para realizar este procedimiento del Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) se basa en las normas ASTM, ACI en vigencia:

ASTM C-172 Sampling Fresh Concrete

ASTM C-31 Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

ASTM C-192 Making and Curing Concrete in the Laboratory

ASTM C-39 Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

ASTM C-143 Test Method for Slump of Portland cement Concrete

ASTM 1170 Test Methods for determining Consistency and Density of Roller Compacted Concrete Using a Vibrating Table.

ASTM C 1435 Standard Practice for Molding Roller Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer.

ACI 207.5R Roller Compacted Mass Concrete

ASTM C 469 – 2 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression

NTE INEN 1108

Especificaciones Técnicas CIV-10 Hormigón Compactado con Rodillo. ASTM C566, ASTM C70, ASTM C33

Especificaciones Técnicas CIV-10 Hormigón Compactado con Rodillo, Numeral 10.9.5. Extendido; 10.10 Compactación.

## 1.10 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

- Características: Son detalles específicos del funcionamiento de algo o de la descripción de alguien.

- Materiales: Todas aquellas materias primas, equipos, insumos, productos y elementos, que se utilizan en determinadas actividades del proyecto.
- Equipo: Componentes mecánicos y eléctricos primordiales para la ejecución y puesta en marcha del proyecto.
- HCR: Hormigón Compactado con Rodillo.
- HCV: Hormigón Concretos Convencionales.
- $f'c$ : Resistencia a la compresión.
- ASTM: Sociedad Americana de Ensayos y Materiales.
- ACI: Instituto Americano del Concreto.
- EC: Modulo de Elasticidad.
- INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

## 1.11 CONDICIONES GENERALES

Los diseños de HCR y hormigón convencional atienden a los previstos en el proyecto en el que vaya a ser utilizado. La resistencia a la compresión ( $f'c$ ) del hormigón compactado con rodillo debe alcanzar los valores mínimos definidos por el diseño del proyecto.

El hormigón es fabricado en la Central de Hormigón para HCR, de acuerdo con las Especificaciones Técnicas de Obras Civiles y las normas ASTM.

En los casos de presentarse depresiones y surcos en el área de fundación, se limpia cuidadosamente, sin que exista presencia de agua y son rellenadas con hormigón convencional y compactado con vibradores de inmersión.

El sistema de transporte a ser utilizado es de volquetes, de modo que se garantiza la continuidad y uniformidad del suministro del hormigón.

Ningún hormigón o HCR puede ser colado mientras no esté listo el sitio de colocación y extendido el mortero de sello, además de la preparación de las superficies de las cimentaciones y de las juntas. El hormigón compactado con rodillo no puede ser colocado en presencia de agua y sobre ningún tipo de basura y de materiales segregados.

Las Superficies de fundación en roca y de las capas de HCR, previa compactación, se mantienen completamente secas y limpias.

TABLA 1.11 ENSAYOS DE AGREGADOS QUE SE REALIZAN PARA PRESAS DE HCR

Características	Importancia	Denominación de ensayo (U.S.)	Nombre del ensayo
Granulometría	Consistencia, economía en la compactación	ASTM C 136	Análisis por tamizado de agregado grueso y fino.
		ASTM C 117	Materiales más finos que la malla N° 200 en agregados minerales por lavado.
Resistencia a la abrasión	Calidad del agregado, resistencia de la cobertura de superficie	ASTM C 131	Resistencia a la degradación de agregado grueso pequeño por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles.
		ASTM C 535	Resistencia a la degradación de agregado grueso grande por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles.
		ASTM C 295	Examinación petrográfica de agregado para concreto.
Gravedad específica - absorción	Cálculo del diseño de mezclas	ASTM C 127	Gravedad específica y absorción del agregado grueso.
		ASTM C 128	Gravedad específica y absorción del agregado fino.
Peso unitario Bulk o densidad	Cálculo del diseño de mezclas	ASTM C 29	Peso unitario y vacíos en el agregado.
Resistencia a los sulfatos	Inalterabilidad en contra del desgaste y ataque químico	ASTM C 88	Inalterabilidad del agregado por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.
Impurezas orgánicas	Ganar resistencia	ASTM C 40	Impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto.

Fuente: Tesis, Brito, 2012

## 1.12 CONDICIONES ESPECÍFICAS

### 1.12.1 MATERIALES

- a) El cemento a utilizarse debe ser de preferencia el cemento IP, estos cementos consisten en mezclas, que se muelen juntas, de Clinker y ceniza muy fina, puzolana natural o calcinada, o bien, escoria, dentro de los límites en porcentaje especificados de los componentes. También pueden consistir en mezclas de cal de escoria y cal de puzolana. En general, pero no necesariamente, estos cementos dan lugar a una resistencia mayor a la reacción álcali-agregado, al ataque por sulfato y al ataque del agua de mar, pero requieren un curado de mayor duración y tienden a ser menos resistentes a los daños por la sal para deshelar y descongelar. Dan lugar a una menor liberación de calor y es posible que ganen resistencia con mayor lentitud, en especial a bajas temperaturas, que atienda a las exigencias de la norma ASTM C 595.
- b) Son empleados los aditivos definidos en los estudios de dosificaciones, como: Aditivo retardante de fraguado tipo B. ASTM C-494 y aditivos reductores de agua de alto rango.

- c) El agua que se use para mezclar y curar el HCR debe ser fresca, limpia y libre de contenidos dañinos como aguas negras, aceite, ácidos, álcalis, mica, sales, materia orgánica, u otras sustancias nocivas. Se rechazara toda agua que tenga un PH acido o su valor sea menor de 5, otra manera de aceptación del agua sería mediante el análisis químico, de acuerdo a la norma que se encuentre vigente.

CUADRO 1.12 c) CALIDAD DE ACEPTACIÓN DEL AGUA

Concentración en Agua de Mezcla	Límites (Máximos)
<b>Cloruros como Cl</b>	
<b>Para Hormigón Pretensado</b>	500 mg/l
<b>Para Hormigón Armado o con elementos metálicos embebidos</b>	1000 mg/l
<b>Sulfatos como SO<sub>4</sub></b>	3000 mg/l
<b>Álcalis , como (Na<sub>2</sub>O + 0,658K<sub>2</sub>O)</b>	600 mg/l
<b>Total de solidos (por masa)</b>	50000 mg/l

Fuente: Norma NTE INEN 1 855-1

- d) Los agregados para el HCR se obtienen de las excavaciones realizadas en el lugar donde va a ser implantada la represa. Tienen que cumplir con las características de dureza, tenacidad, densidad, porosidad, textura y resistencia al interperismo. Los agregados tienen que estar compuestos de diferentes minerales como pueden ser: oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio, magnesio, los mismos que formaran los minerales más comunes en las rocas como son el cuarzo, micas, piroxenos, olivinos.
- e) La mezcla de agregados provenientes de diferentes pilas de acopio con diferentes grupos de tamaños, debe tener una gradación consistente de tal manera que siempre cumpla con la granulometría requerida en las Especificaciones Técnicas.
- f) Las gradaciones requeridas para las diferentes pilas permitidas de acopio son las siguientes.
- g) Las gradaciones requeridas para las diferentes pilas permitidas de acopio son las siguientes:

Gradación total combinada para el HCR: 100 % pasante el tamiz de 50 mm.

TABLA 1.12 GRADACIONES REQUERIDAS

Tamiz		TMA en mm (pulg)		
mm	pulg	50 (2")		
50	2"	100	-	100
38,1	1 1/2"	86	-	96
25	1"	75	-	85
19	3/4"	67	-	77
12,5	1/2"	58	-	68
9,5	3/8"	53	-	63
4,75	No. 4	41	-	51
2,36	No. 8	31	-	41
1,18	No. 16	24	-	34
0,6	No. 30	18	-	28
0,3	No. 50	13	-	23
0,15	No. 100	9	-	19
0,075	No. 200	6	-	16

Fuente: Empresa Odebrecht

## CAPÍTULO II DOSIFICACIÓN DEL HCR

### 2.1 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGON

#### 2.1.1 GENERALIDADES

El hormigón debe ser dosificado de forma que atienda las exigencias de calidad establecidas en las Especificaciones y Normas Técnicas, a más de lo establecido en este procedimiento, procurándose alcanzar el mínimo consumo de aglomerante. Debe también presentar la trabajabilidad adecuada para lograr una máxima compactación para después de acabado, se tenga un material homogéneo y compacto. Las dosificaciones deben ser estudiadas para cada combinación de los diferentes tipos de materiales componentes que serán usados en la obra, y deben siempre ser ajustadas en el caso de modificaciones en los materiales o en las condiciones de producción y ejecución.

Para la dosificación de las mezclas de HCR, fueron adoptados criterios en base a los requisitos de densidad mínima, permeabilidad, consistencia, entre otros y los requisitos de cargas estáticas, térmicas y sísmicas, siendo determinado lo siguiente:

CUADRO 2.1.1 DOSIFICACIÓN TIPO DE UN HORMIGÓN HCR

Água (kg/m <sup>3</sup> )	Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	Material Puzolánico (kg/m <sup>3</sup> )	Agregados (Kg/m <sup>3</sup> )
130	140	90	2140

Fuente: Ing. Prof. Dr. Joaquín Díez-Cascón Sagrado & Ing. Francisco Rodrigues Andriolo

#### 2.1.2 CONSISTENCIA DEL HCR (VEBE)

La consistencia del hormigón debe ser adecuada para permitir su endurecimiento a través de rodillos vibratorios para obtener la compactación máxima en función de los equipos utilizados para esa finalidad. La fijación del agua unitaria (volumen de agua por m<sup>3</sup> de hormigón) debe seguir las orientaciones consecuentes del estudio de dosificaciones ajustadas a través de la observación del desempeño del hormigón en las condiciones de compactación, debiendo ser evitado su exceso.

FOTO 2.1.2. APARATO VEBE



Fuente: Autor

La consistencia del HCR es controlada a través del índice VEBE que será definido en los estudios de mezclas. La consistencia VeBe se ajusta en definitivo en el campo (relleno experimental y práctica de ejecución de las capas de HCR en la presa).

Según a ASTM C 1170 – 91 "estos métodos de ensayo son usados para determinar la consistencia del concreto mediante el aparato consistómetro Vebe y la densidad de especímenes de concreto consolidado. Estos métodos de ensayo son aplicables a mezclas de concreto fresco preparado tanto en el laboratorio como en el campo, teniendo un agregado con tamaño máximo nominal de 50 mm (2 pulg.) o menos. Si el tamaño máximo nominal del agregado es más grande que 50 mm (2 pulg.) los métodos serán aplicables únicamente cuando son desarrollados con la fracción que pasa la malla de 50 mm (2 pulg.) con el agregado mayor siendo removido."

Utilizando el equipo VeBe se determina la consistencia de la mezcla, el ensayo en el aparato VeBe se realiza cuando al hormigón fresco se compacta dentro de un molde a este se lo levanta verticalmente, se coloca un disco transparente con cuidado en contacto con el hormigón. Se activa la mesa vibratoria y se mide el tiempo que tarda la cara inferior del disco transparente en cubrirse con la pasta y ese es el tiempo VeBe, el tiempo VeBe de referencia se encuentra en un rango entre 15 y 21 segundos. Ver figura 2.

FOTO 2.1.2 MEDICIÓN DEL TIEMPO Y MEDICIÓN DE CONSISTENCIA DEL HCR



Fuente: Autor

### 2.1.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

La resistencia característica a la compresión simple ( $f'c$ ) del hormigón compactado con rodillo debe alcanzar un valor mínimo de 10 MPa a los 90 días.

Los límites para el control de calidad de la producción del HCR deben atender a los siguientes criterios:

- coeficiente de variación admisible será de 18% (inicial)
- el número de valores menores que la resistencia característica será a no más del 20%.

El hormigón convencional y mortero de liga a ser utilizados deben atender a los requisitos de las especificaciones técnicas y diseños.

Para el control de la mezcla de HCR mediante interpretación de los resultados de rotura de cilindros se propone lo siguiente:

Siendo

$n$  = número de muestras

$x$  = resultado medio de rotura de dos cilindros (01 muestra)

(a)  $n < 30$

$$\frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8}{8} \geq f'c$$

Fuente: Tesis, Carolifilis & Hidalgo, 2013

$x_{(1)}$  = menor resultado de ensayo  $\geq f'c - 3,5$  MPa

(b)  $n \geq 30$

$$\bar{x}_n = \frac{\sum x_i}{n} \quad \text{Resistencia promedio}$$

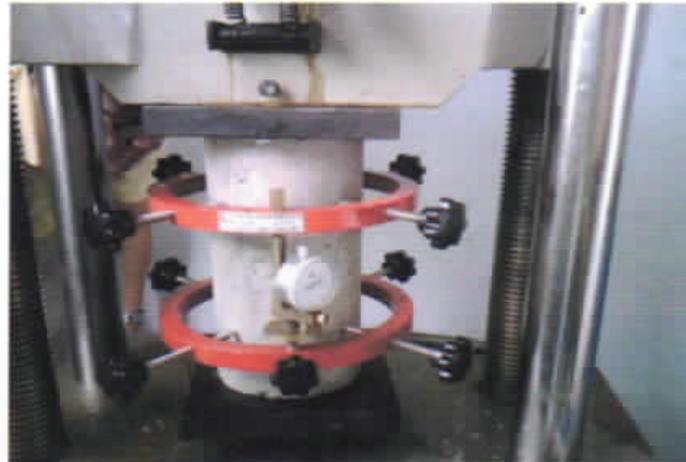
$$S_n = \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x}_n)}{n-1}} \quad \text{Desviación estándar}$$

$$V_n = \frac{S_n}{\bar{x}_n} \times 100 \quad \text{Coeficiente de variación}$$

$$f'c \text{ est.} = \bar{x}_n \times (1 - 0,854 V_n) \quad \text{Valor estimado}$$

Fuente: Tesis, Carolifilis & Hidalgo, 2013

FOTO 2.1.3. ROTURA DE CILINDRO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE



Fuente: Autor

El diseño de mezclas comprende como mínimo la realización de pruebas de laboratorio para determinar resistencias a la compresión simple a las edades de 7, 28, 90 días.

CUADRO 2.1.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A DISTINTAS EDADES

Fecha	Ubicación	Volumen de Hormigón Colocado m <sup>3</sup>	ID Muestra	Hormigón Fresco			Hormigón Endurecido		
				Hora de Toma de Muestra hh:mm	Temperatura °C	VeBe seg.	Edad de Ensayo / Resistencia a la Compresión MPa		
							7 Día	28 Días	90 Días
Jue, 15-ago-13	Pista Experimental HCR, HCR, Capa 1, Holcim GU/HS (G)	40	262	15:30	26,0	15 seg VB	7,84	12,80	
	Pista Experimental HCR, HCR, Capa 2, Holcim GU/HS (G)		264	20:40	24,9	21 seg VB	6,15	9,95	
vie, 16-ago-13	Pista Experimental HCR, HCR, Capa 3, Holcim GU/HS (G)	50	270	16:15	24,7	18 seg VB	7,01	11,39	
sáb, 17-ago-13	Pista Experimental HCR, HCR, Capa 4, Holcim GU/HS (G)	65	273	14:25	26,6	20 seg VB	8,74	13,69	
lun, 19-ago-13	Pista Experimental HCR, HCR, Capa 5, Holcim GU/HS (G)	70	276	15:10	27,1	18 seg VB	5,88	9,76	

Fuente: Empresa Odebrecht

## 2.1.4 RESISTENCIA A LA TENSIÓN

“La relación de la resistencia a la tensión y la resistencia a la compresión en el HCR varía de acuerdo a la cantidad de cemento, agregados, está en el orden de un 10 al 15% de la resistencia a la compresión. La resistencia a la tensión es requerida para propósitos de diseño analizando su temperatura y cargas dinámicas.” (Ing. Ricardo Burgos, laboratorio ISCYC, 2011)

## 2.2 MEZCLA DEL HORMIGÓN HCR

El hormigón debe ser mezclado mecánicamente en las centrales, que atiendan requisitos, en cuanto a la precisión de los equipos, tiempo y homogeneidad de la mezcla. Todos los agregados del hormigón deben ser medidos por peso.

FOTO 2.2 MEZCLA DE HORMIGÓN HCR



Fuente: Autor

Debe controlarse la humedad natural de los áridos. Debe presentarse un informe diario de operación de la planta indicando el tipo y la fábrica del cemento, las pilas de agregados utilizados por  $m^3$  de la mezcla de HCR, Cantidad de agua libre (SSS) para cada grupo de agregados y la cantidad total de la mezcla utilizada por cada tramo.

## 2.3 TEMPERATURA DEL HORMIGÓN HCR

Para el control de la temperatura del hormigón, se instalan termopares que permiten llevar un control estadístico de evolución de la temperatura y posterior determinación de control.

Se debe verificar la humedad una vez al día para cada grupo de agregados en la Planta de HCR, según la norma ASTM C566 o C70 para agregados finos.

No hay un parámetro establecido para la temperatura del HCR; sin embargo, las especificaciones de la Norma ASTM C 94 para concreto convencional recomiendan que cuando se coloque el concreto, este tenga una temperatura no mayor a  $32^{\circ}C$ .

## 2.4 TRANSPORTE DEL HORMIGÓN HCR

El hormigón compactado con rodillo debe ser transportado para los sitios de colocación, por métodos que eviten la segregación, la pérdida de componentes, así como el aumento excesivo de su temperatura o la pérdida de agua por evaporación.

El sistema de transporte a ser utilizado debe ser por volquetes, de modo que se garantice la continuidad y uniformidad del suministro del hormigón.

Antes de que los volquetes entren en el lugar de lanzamiento, se debe efectuar una limpieza de las ruedas en un sitio adecuado para lavado, debidamente cubierto de gravas y con drenaje eficiente con aire comprimido más agua.

Además, el balde de los volquetes debe estar limpio y, una vez cargado el material, procurando evitar la evaporación del agua de la mezcla o cuidarse el ingreso de agua lluvia.

## **2.5 PREPARACIÓN DEL SITIO PARA LA COLOCACIÓN DEL HCR**

### **2.5.1 GENERALIDADES**

Ninguno concreto u hormigón compactado con rodillo pueden ser lanzados mientras no esté listo el sitio de colocación, la preparación de las superficies de la cimentación y de las juntas. El hormigón rodillado no puede ser lanzado dentro de agua.

### **2.5.2 EQUIPOS, MATERIALES Y HERRAMIENTAS**

Para la ejecución de los trabajos de HCR, debemos contar con los siguientes equipos:

- a) Camiones de volteo
- b) Camión mezclador
- c) Tractor CAT D4 o similar
- d) Rodillo Liso de 10 Ton.
- e) Rodillo liso de pequeño porte
- f) Placas Vibratorias
- g) Densímetro nuclear
- h) Retroexcavadora

**Los Materiales a utilizar serán:**

- a) Manguera de aire comprimido
- b) Manguera de agua
- c) Acoples rápidos
- d) Plástico

**Herramientas menores:**

- a) Palas

- b) Rastrillo de caucho
- c) Cubos

### **2.5.3 PERSONAL A SER UTILIZADO**

Para la colocación del hormigón compactado con rodillo, se utiliza el siguiente personal:

- a) Encargados
- b) Albañiles, ayudantes
- c) Señaleros
- d) Carpinteros
- e) Ferreros
- f) Electricistas
- g) Mecánicos
- h) Topógrafo
- i) Laboratoristas

### **2.5.4 EQUIPO DE PROTECCIÓN A SER UTILIZADO (EPI'S)**

Los equipos de protección individual a utilizarse son:

- a) Casco de seguridad
- b) Guantes de caucho
- c) Botas de caucho
- d) Protector auricular
- e) Chaleco reflectivo
- f) Impermeable
- g) Botas de seguridad
- h) Gafas de seguridad

## **2.6 ENCOFRADOS**

Los encofrados deben ser dimensionados y adecuadamente fijados para las condiciones de las mezclas previstas. El plazo para el desencofrado de las mismas, debe ser de por lo menos 8 horas cuando este en contacto con HCV.

El espesor de la capa final compactada del HCR es de 30 cm y la capa suelta de aproximadamente 34 cm. Internamente en el encofrado deben ser identificadas las marcaciones topográficas para estos espesores en cada capa, es decir tendrán marcaciones cada 30cm que deberán estar marcadas y así evitar que las capas al momento de su colocación tengan errores.

## CAPITULO III REPRESAS

### 3.1 GENERALIDADES

Siendo la energía hidráulica una de las más importantes para el fundamental cuidado del medio ambiente, hablar de las represas siempre es relevante. La energía hidroeléctrica generada en represas es defendida por ser "no contaminante" y "barata". Esto es cierto porque no produce humo ni contamina químicamente el agua.

FOTO 3.1 REPRESA MANDURIACU



Fuente: Autor

Las represas hidroeléctricas se encuentran entre las construcciones más grandes y espectaculares del hombre. Son una fuente de energía alternativa muy útil que aprovecha los movimientos del agua para producir energía eléctrica.

Alrededor del mundo entero, estas centrales hidroeléctricas producen el 24% de toda la energía eléctrica del planeta, lo cual se traduce en el sustento eléctrico de más de mil millones de personas y por supuesto, un gran aporte al cuidado del medio ambiente.

En otros términos, 675.000 megavatios de energía se producen cada año gracias a las represas, el equivalente energético a nada menos que 3600 millones de barriles de petróleo. Por todas estas razones, la energía hidroeléctrica de las represas es tremendamente útil.

### **3.1.1 FUNCIONAMIENTO**

“Para entender cómo funciona una represa pensemos en un dique o en un río en el que el agua se mueve en una corriente siempre hacia una dirección determinada, en una suerte de flujo. Este movimiento en el agua es el que necesita una represa para funcionar y producir energía, con la diferencia que el agua se almacena en grandes extensiones para ir soltándola de a poco y así obtener un flujo constante de agua con el cual poder generar energía eléctrica.”( <http://www.endesaeduca.com>)

Una represa se hace generalmente en un valle o entre cerros, buscando la forma de inundar el valle mediante la construcción de la represa en uno o varios lugares estratégicos de modo que impidan la salida del agua. Es entonces cuando podemos hablar de una central hidroeléctrica, que vendría a ser la evolución de los antiguos molinos de agua, donde ya se aplicaba un mecanismo básico similar que aprovechaba la corriente de los ríos y hacía mover una rueda.

Una central hidroeléctrica está compuesta de turbinas hidráulicas, las aspas de estas turbinas se mueven por la fuerza del agua, esa fuerza transmite su energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica.

Todo el conjunto de obras hechas por el Hombre, desde el desvío de los caudales de agua, la construcción de represas con centrales hidroeléctricas y todo otro tipo de construcción relativa, es llamada represa o central hidroeléctrica y es una de las fuentes de energía más amigables con el medio ambiente. Aunque el agua es un recurso que abunda y es totalmente renovable, el costo de la construcción de una represa hace que no sea una energía tan barata como quisiéramos.

### **3.1.2 ESTRUCTURA DE UNA REPRESA**

Existen diferentes tipos de represas, a continuación se hará una breve descripción de cuáles son los elementos de una represa, como ejemplo tomaremos la represa de la Hidroeléctrica Manduriacu en donde se aplicó hormigón HCR en algunos de sus elementos;

#### **3.1.2.1 UBICACION**

FIGURA 3.1.2.1 UBICACIÓN DE LA REPRESA MANDURIACU PICHINCHA E IMBABURA, CANTONES QUITO Y COTACACHI



Fuente: <http://www.energia.gob.ec/manduriacu/>

1. **Estribos:** Derecho e Izquierdo, visto desde aguas abajo, estos estribos fueron construidos con hormigón HCR, previamente en su cimentación se colocaron unos pernos de anclaje en la roca y se colocó HCV.

FOTO 3.1.2.1. ESTRIBOS DE LA REPRESA MANDURIACU

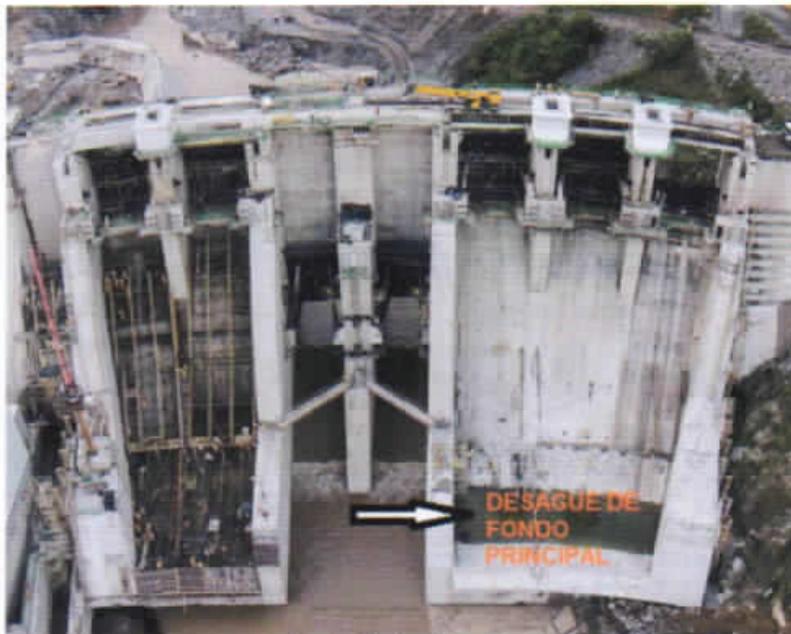


Fuente: Autor

2. **Desagüe de Fondo Principal:** Este sirve para descargar las aguas en caso de vaciado del embalse para efectuar cualquier mantenimiento. En este se realizó una cimentación de HCV con la colocación de pernos de anclaje, luego se colocó el

hormigón HCR, cubriendo su galería de drenaje para luego empezar con la colocación de su hormigón armado de losas y pilas.

FOTO 3.1.2.2 DESAGUE DE FONDO PRINCIPAL DE LA PRESA MANDURIACU



Fuente: Diario el Comercio

3. **Vertederos 3, 4, 5:** los vertederos sirven para disipar la energía para que la devolución al cauce natural no produzca daños. Esto se hace mediante saltos, en este caso se realizó salto de sky. La cimentación de estos vertederos fue realizada con hormigón convencional y luego se colocó el hormigón HCR para posteriormente ejecutar sus losas y pilas con hormigón armado.

FOTO 3.1.2.3 VERTEDEROS DE LA PRESA MANDURIACU



Fuente: Autor

### 3.1.3 EMBALSE

FOTO 3.1.3 EMBALSE DE LA PRESA MANDURIACU



Fuente: Autor

Un embalse es un lago artificial utilizado para almacenar agua, que será utilizada por la central hidroeléctrica para generar energía. La construcción y el funcionamiento de un embalse tienen diversos efectos sobre el ambiente y sobre la comunidad.

Algunos efectos son beneficiosos para ciertas actividades económicas. Por ejemplo, los embalses contienen el agua de las crecidas y así evitan el anegamiento de tierras más bajas que la represa; también proporcionan un abastecimiento controlable de agua para riego de tierras áridas y semiáridas cercanas. Además, se utilizan para la recreación deportiva, ya que en ellos pueden practicarse natación, pesca y actividades náuticas.

Sin embargo, existen otros efectos que son conflictivos para la sociedad y el ambiente. Por ejemplo, para la construcción de los embalses se inundan grandes extensiones. Esto, en muchos casos, ocasiona el desplazamiento de pobladores y la destrucción de gran parte de la vida silvestre del área afectada. Además, la acumulación de agua de un embalse hace subir el nivel de la capa freática (capa de agua subterránea), lo que puede producir el anegamiento y la salinización del suelo en los terrenos cercanos, y reducir la productividad agrícola.

En ambientes tropicales o subtropicales, los embalses constituyen un sitio propicio para el desarrollo de algunas enfermedades, como la esquistosomiasis (transmitida por unos parásitos que viven en los caracoles que se desarrollan en estos ambientes y que pueden infectar a los humanos). La evaporación del agua del embalse produce, también, diversos cambios climáticos, generalmente relacionados con el aumento de las precipitaciones locales.

Por otra parte, en estos cuerpos de agua suelen manifestarse cambios físicos, químicos y biológicos ocasionados por la acumulación de nutrientes (nitratos y fosfatos) que favorecen la multiplicación de algas. Este tipo de nutrientes proviene de actividades humanas tales como agricultura (fertilizantes), urbanización (aguas servidas) y descargas de plantas industriales. El proceso de modificación de las características del ecosistema acuático es conocido como **eutrofización** y, además de afectar negativamente la calidad del agua (malos olores, disminución del oxígeno disuelto, acumulación de toxinas, etc.), contribuye a disminuir la vida útil de la represa." (<http://www.endesaeduca.com>)

### **3.2 PREPARACIÓN PARA LA CIMENTACIÓN**

En los sitios donde se va a colocar el hormigón compactado con rodillo se deben realizar los tratamientos indicados, Especificaciones Técnicas de Obras Civiles, así como las orientaciones de Limpieza y preparación de las cimentaciones de las estructuras de hormigón.

Se debe tomar cuidados especiales para la limpieza de los surcos y hondonadas, dejando la fundación exenta de impurezas y agua.

Cuando estas hondonadas son de pequeña extensión y profundidad, a criterio en campo, se puede lanzar preliminarmente sobre el suelo un mortero o mezcla diseñada en el Laboratorio de la obra, para rellenar estas hondonadas. Este mortero debe presentar resistencia mecánica no inferior a la exigida para el hormigón rodillado y una plasticidad adecuada al fin a que se destina.

### **3.3 COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN HCR**

Las condiciones de colocación resultan de la estrategia constructiva adoptada, y el espesor de las capas es fijado en 30 cm después de la compactación. El espesor de la capa extendida es inicialmente de 34 cm para lograr 30 cm final compactado, se fija el espesor de esta capa para evitar la segregación del HCR. Otra forma que se puede evitar la segregación es, utilizando agregados de menor dimensión.

Para evitar la permeabilidad o que se generen juntas frías al momento de colocar las capas de 30cm después de su compactación, se recomienda mantener húmeda la capa usando un método de aspersión. El inicio de fraguado varía entre 40 y 55 minutos.

La descarga debe ser hecha lo más próximo posible del lugar del extendido. Solamente es permitida en el área de operación del hormigón rodillado la entrada de volquetas para descarga, que presenten el sistema rodante en perfectas condiciones de limpieza. La descarga del volquete debe ser hecha de una sola vez.

### **3.4 MEZCLA DE PEGA**

Después de haber realizado la respectiva limpieza, la superficie de suelo debe ser cubierta con capas de hormigón convencional o mortero, que además de permitir el acceso de los equipos, sirve para recibir la primera sub camada de hormigón rodillado.

La mezcla de pega debe ser extendida con rastrillos metálicos, de tal manera que la superficie quede completamente cubierta por dicha mezcla. El espesor de la capa de mezcla de liga sobre la cimentación no podrá exceder los 2,0 cm. (valor promedio 1,5 cm).

La mezcla de liga o pega se ajusta para un tiempo de inicio de fraguado inicialmente en el rango de 6 - 8 horas.

El HCR debe ser extendido sobre el mortero de liga y compactado de tal manera que penetre. La compactación del HCR debe hacerse antes de que ocurra el fraguado inicial del mortero de liga y dentro de un periodo de 45 minutos contados a partir de la colocación de la mezcla. Sin embargo este tiempo puede ser mayor, en el caso de usar aditivo retardante en el HCR.

El HCR se ajusta para un tiempo de inicio de fraguado en el rango de 7 – 12 horas con uso de aditivo retardante.

### **3.5 EXTENDIDO DEL HCR**

El hormigón rodillado debe ser descargado, lo más directamente posible, en su posición definitiva. Generalmente, la mezcla de HCR debe ser extendida dentro de un período máximo de 45 minutos contados a partir del momento en que la mezcla haya sido colocada sobre la superficie.

Cuando el HCR se extiende sobre el mortero de liga, debe extenderse y compactarse durante un período máximo de 2 horas contadas a partir del momento en que el mortero de liga fue fabricado. Sin embargo este tiempo puede ser mayor, en el caso de usar aditivo retardante.

La altura de caída del hormigón rodillado, desde la volqueta en el sitio de aplicación, no debe provocar la segregación del hormigón. No puede ser usado hormigón rodillado redosificado.

Después de la descarga, el hormigón debe ser extendido en capas por medio de tractor de orugas, de los tipos D4, D6 o similar.

Eventuales piedras, consecuentes de segregación observadas en la superficie de la camada extendida, deben ser integradas nuevamente sobre la mezcla de HCR, con el empleo de palas u otra herramienta, antes de iniciarse la compactación de esta camada.

La operación de curado para evitar pérdida de humedad o sequía de la mezcla debe ser permanente (agua en forma de niebla).

La descarga de las volquetas con HCR debe ser efectuada sobre una camada recién extendida y húmeda no compactada. Tal procedimiento minimiza la segregación de los materiales y permite mayor homogenización, (incluso de la humedad) en el sitio de lanzamiento por el tractor de oruga.

Se requiere por lo menos un tractor principal con el cual se hace la mayor parte del trabajo, y una topadora adicional del tipo Caterpillar D-4 o similar, para trabajos en áreas pequeñas adyacentes a estribos o encofrados y como equipo de emergencia.

Los tractores realizan la nivelación y compactación inicial al pasar las orugas sobre la superficie extendida. Esto se hace en la medida que la práctica lo permita. Antes de la compactación con el rodillo vibratorio, la superficie extendida debe estar completamente cubierta por las huellas de las orugas del equipo de extendido.

En general, el equipo de extendido debe operarse solo sobre material sin compactar, y no se permite su desplazamiento o giro sobre una superficie recién compactada de HCR. El extendido del HCR se hace sin causar segregación.

### **3.6 CAPA DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO**

El espesor de la camada de hormigón es el especificado y debe coordinarse su transporte, lanzamiento, compactación y sellado.

El espesor de las capas extendidas debe exceder en cerca de 4 cm del espesor final de la camada, de acuerdo a los resultados del relleno experimental.

El espesor de la camada lanzada es controlado a través de referencias topográficas en las formas laterales o en los contactos con el suelo. La verificación de la uniformidad del espesor es ejecutada a través de líneas tensadas a partir de los puntos de referencia y plantillas posicionadas en el centro del sitio, cuando sea aplicable.

La camada de HCR es compuesta por fajas adyacentes, cuya ancho no deberá ser inferior a 1,8 veces el ancho del cilindro del rodillo vibratorio.

El intervalo de tiempo entre la colocación de dos fajas adyacentes no debe sobrepasar 60 minutos. En el caso que este límite sea sobrepasado por cualquier contingencia en la producción o transporte del hormigón, la última faja debe ser preparada con dos pasadas de rodillo sin vibración para cerrar la superficie, ejecutando normalmente la costura entre las fajas en la continuación del hormigonado.

Las superficies de concreto rodillado en que la colocación sea interrumpida, debido a lluvias inesperadas (>11 mm/h), deben ser protegidas con lonas plásticas hasta la colocación de otra sub camada de hormigón rodillado. Previamente a la protección, el HCR debe ser compactado por completo.

Las capas de HCR pueden ser ejecutadas de manera inclinadas con pendientes de hasta 10%.

### **3.7 HORMIGON CONVENCIONAL**

Los Hormigones convencionales HCV son colocados conforme el diseño, junto a la cara vertical aguas arriba, parte visible de la cara vertical de aguas abajo de la presa, sitios de armados, juntas y donde se prevé la utilización de hormigón convencional, compactado con vibradores de inmersión y con las características indicadas en los diseños ejecutivos.

- Hormigón de paramento Aguas abajo  $f'c$  18 MPa
- Hormigón de paramento Aguas arriba  $f'c$  25 MPa

### **3.8 COMPACTACIÓN DEL HCR**

El hormigón rodillado debe ser compactado hasta que sea obtenida una masa específica húmeda mínima de 96% de la masa específica húmeda teórica del HCR compactado sin aire, según Especificaciones Técnicas de Obras Civiles.

La densidad promedio requerida de la mezcla húmeda es de 2350 Kg/m<sup>3</sup> es la densidad que se utilice en el análisis de estabilidad de la presa, cumpliendo con los factores de seguridad requeridos medido en 5 puntos cada 100m<sup>2</sup>.

En ningún caso se permiten capas donde se obtengan lecturas individuales de densidad inferiores a 2200 kg/m<sup>3</sup>, densidad correspondiente al 92 % de la densidad teórica del HCR compactado sin aire.

La compactación debe ser efectuada por medio de rodillos vibratorios liso, placas vibratorias y rodillos vibratorios de pequeño porte, se utilizan en la interfaz del HCR con el hormigón convencional.

El rodillo debe tener una frecuencia de vibración de por lo menos 1500 ciclos por minuto. El tambor del rodillo debe tener entre 1,2 y 2,0 metros de diámetro, y de 1,5 a 2,5 metros de ancho. El rodillo debe operarse a una velocidad adecuada que consiga la óptima compactación.

El número de pasadas debe ser establecido previamente con cada rodillo vibratorio y de acuerdo a sus características técnicas. Se determina previamente en el relleno experimental o durante la ejecución de las capas de HCR siempre que cambiase el rodillo. Se realizan 6 pasadas con el rodillo liso de 10 toneladas y 10 pasadas con el rodillo de pequeño porte.

La condición ideal de compactación del HCR aparece visualmente, cuando la superficie presente una película de agua y el rodillo compactador se muestre semi-mojado, consistiendo en una forma indirecta de control de humedad.

El intervalo de tiempo entre el inicio de la mezcla del hormigón y el fin de la compactación no debe ser superior a 90 minutos, sin embargo, si el HCR utiliza aditivo retardante, este tiempo es variable, además este intervalo puede ser ajustado a la medida que se verifique condiciones adecuadas de compactación de forma a alcanzar el grado de compactación requerido.

La superficie de las capas debe ser mantenida permanentemente húmeda, mediante aspersión de agua en forma de niebla.

En las regiones de difícil maniobra para el rodillo compactador, caso sea posible, puede ser ejecutado el hormigón rodillado compactado por medio de placas vibratorias, compactadores auto-propulsantes o rodillos de pequeño porte.

Estos tipos de equipos pueden operarse a pocos centímetros de las caras verticales y por lo tanto deben utilizarse en áreas adyacentes a encofrados, estribos, la cara lateral de la presa, interfaz con el hormigón convencional y todas otras áreas donde el rodillo auto-propulsado no pueda ser maniobrado.

En el caso de no ser posible el empleo de hormigón rodillado, tales como en la cercanía del suelo o rocas con prominencias u hondonadas, debe ser empleado el hormigón convencional con características análogas al del hormigón de cara aguas arriba, ese concreto debe ser compactado por medio de vibradores de inmersión. Otra alternativa es aplicar la misma mezcla de HCR con lechada rica en cemento, la cual es compactada por medio de vibradores de inmersión, dando las características de resistencia de un hormigón de mejor calidad.

En el caso de que nos encontremos con las galerías se deben observar los límites para la utilización de hormigón convencional y hormigón rodillado. Estos límites son indicados en los diseños de dichos hormigones.

En el caso de ocurrir una junta de construcción en el empalme de los hormigones rodillado y convencional, debe la misma recibir el tratamiento con las respectivas especificaciones técnicas.

La conformación geométrica de esta junta debe permitir una ligazón adecuada entre los dos tipos de hormigón.

### **3.9 TIPOS DE JUNTAS**

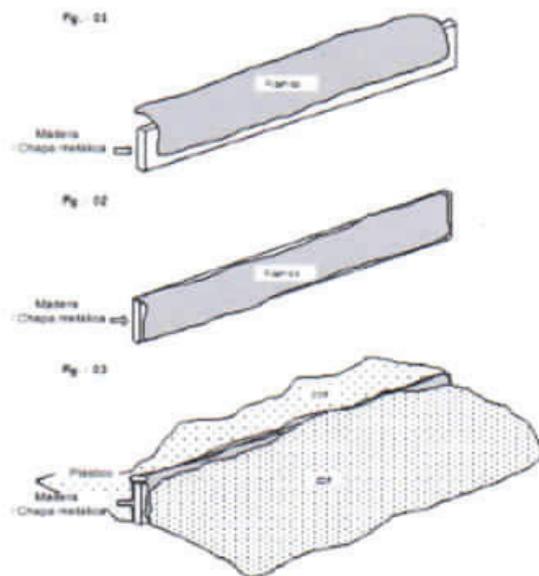
### 3.9.1 JUNTAS DE CONTRACCIÓN

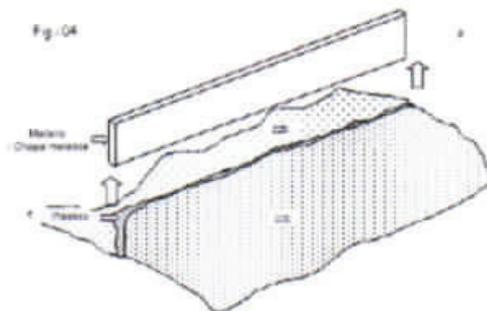
La localización de las juntas de contracción debe establecerse teniendo en cuenta los planos del diseño, estas juntas varían de acuerdo al diseño se recomienda separar por bloques el área donde va a ser colocado el HCR.

Las juntas de contracción entre bloques pueden ser ejecutadas de modo convencional (con utilización de encofrado o forma) o a través de "corte" del hormigón ya compactado, después de la ejecución de cada subcamada. La ejecución de la junta puede realizarse de esta manera a través de los siguientes pasos:

1. La chapa metálica funcionando como mampara, para colocación del plástico, es posicionada en el lugar adonde es ejecutada la junta;
2. Se coloca el plástico tensado de modo que cubra la chapa metálica;
3. Después de la colocación del plástico a lo largo de la chapa, es hecha la colocación del HCR, de modo que el plástico permanezca entre el HCR y la chapa.
4. Enseguida la chapa es retirada, dejando el plástico en el mismo lugar en el que éste fue posicionado, terminando así la ejecución de las juntas.

FIGURA 3.8.1. COLOCACIÓN DE JUNTA DE CONTRACCIÓN





Fuente: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip6es.pdf>

### 3.9.2 JUNTAS HORIZONTALES

Todas las juntas horizontales de HCR con bajo contenido de cemento deben recibir una cantidad mínima de mortero de liga sobre el área adyacente a la cara aguas arriba y lateral de la presa en los límites indicados en los diseños. Las superficies de HCR en estas áreas deben limpiarse por medio de aire a presión, aspiración u otro método adecuado.

### 3.10 PROTECCIÓN Y CURADO DEL HCR

La superficie de todas las capas en las cuales se coloca HCR debe mantenerse húmeda continuamente hasta que toda la superficie es cubierta por la capa siguiente. Se aplica una excepción a las superficies que estén a 20 metros del frente de trabajo donde se permite una condición seca, un poco menor a la condición saturada superficialmente seca.

Se mantiene disponible en todo momento un sistema de riego provisto con una cantidad adecuada de mangueras o boquillas operables desde el sistema de distribución de agua.

Se utilizan sistemas de rociado suplementarios con mangueras de mano cuando se necesite en áreas que de otro modo sean inaccesibles.

La lluvia suave o rocío no debe aplicarse a presión o por chorro para no erosionar la superficie fresca, ni tampoco de una manera que produzca charcos de agua sobre la superficie.

La superficie final de coronación de la presa debe permanecer continuamente húmeda, por lo menos durante 14 días.

No es permitido el uso de compuestos o aditivos para el curado sobre el HCR.

### 3.11 ACABADOS

Cuando se realizan los acabados pueden ser previstos de la siguiente manera: (aguas arriba y abajo de la presa)

- a) con encofrados: en las superficies expuestas, y en las juntas de contracción entre bloques.
- b) sin encofrado: en las superficies en contacto con suelo natural o roca.
- c) pre-moldeados: En donde existan las galerías.

Estos son unos de los tipos de acabados que se le puede dar luego de colocado el HCR.

### 3.12 TOLERANCIAS

Requerimientos Específicos:

- El espesor de las capas compactadas de HCR debe estar dentro de un rango de más o menos 5 cm del espesor especificado en los diseños de detalle.
- La elevación de la superficie de las capas de HCR sobre las cuales se vaciará el concreto convencional no debe variar en más de 7,5 cm de la elevación de diseño. Las tres capas superiores a esta superficie deben tener una variación no mayor a 4 cm de la elevación de diseño mostrada en los diseños de detalle.
- La variación del alineamiento de cualquier superficie expuesta de HCR con respecto a las líneas de diseño de detalle no debe exceder  $\pm 15$  cm en 20 metros,  $\pm 30$  cm en 60 metros y  $\pm 45$  cm a lo largo de toda la presa.
- Se permite una extensión gradual máxima en los extremos de las capas en la cara aguas abajo de solo 30 cm. No se permite el acortamiento de los extremos de las capas en la cara aguas abajo de la presa.
- Las irregularidades abruptas en las caras expuestas del concreto convencional exterior no deben exceder de 1 cm.
- La variación gradual del alineamiento del concreto convencional exterior con respecto al alineamiento mostrado en los Planos, no debe exceder 2 cm en 3 metros, 5 cm en 10 metros y 7,5 cm en 40 metros.

- En caso de utilización de capas inclinadas se permiten diferencias de niveles en el cuerpo de la presa de manera que se optimice la necesidad de accesos constructivos.

## **CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 CONCLUSIONES**

Se puede decir que el grado de compactación es el adecuado cuando su humedad no sea inferior al 96% o sus densidades se encuentren dentro del rango de 2200-2500kg/m<sup>3</sup>

La temperatura del hormigón siempre va a ser baja al momento de su colocación y fraguado debido a la baja cantidad de cementante que contiene el HCR, sin embargo se tiene que tener mucha atención y controlar su temperatura a través de los termopares o termocuplas que son colocadas en el HCR, esta temperatura puede variar entre 15 y 30°C.

Las granulometrías siempre van a ser diferentes de un proyecto a otro debido a que los agregados van a ser de distintas canteras y el cementante va a variar de acuerdo a las especificaciones que se soliciten en cada proyecto.

Cuando exista una mayor cantidad de material fino, habrá una mayor demanda de agua, debido a que habrá una mayor superficie a mojar

### **4.2 RECOMENDACIONES**

El HCR puede ser colocado luego de que se haya realizado las respectivas pruebas en un terraplén o espacio donde se pueda utilizar los mismos equipos que van a ser ocupados antes de su colocación en obra, cumpliendo las normas y especificaciones técnicas.

Al utilizar el HCR en una represa ayuda a acelerar la producción al momento de su construcción debido a su técnica de rápida colocación y fraguado de hormigón, además de reducir los costos de encofrados y compactación.

El agua a usarse para la preparación de la mezcla y curado del HCR será fresca, libre de toda substancia que interfiera su proceso normal de preparación e hidratación. Se prohíbe el uso de agua de termales o contaminadas con descargas sanitarias o industriales.

El HCR nunca puede ser colocado cuando haya lluvias fuertes o exista agua empozada.

El HCR se colocara en forma continua al momento de ser descargado de la volqueta para evitar su segregación.

## BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Inecyc, INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO (2015). CURSO: "TECNICO EN ENSAYOS DE CAMPO DEL CONCRETO – GRADO I". Quito Ecuador: 2015.
- [2] HORMIGON RODILLADO. UNIVERSIDAD DE CHILE. ING. LUIS PINILLA BAÑADOS
- [3] INEN, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION, NORMAS TECNICAS  
ECUATORIANAS NTE INEN hormigón, áridos y morteros (2011)
- [4] ASTM C-172, "Sampling Fresh Concrete".
- [5] ASTM C-31, "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field".
- [6] ASTM C-192, "Making and Curing Concrete in the Laboratory"
- [7] ASTM C-39, "Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens".
- [8] ASTM C-143, "Test Method for Slump of Portland Cement Concrete".
- [9] ASTM C-1170, Test Methods for determining Consistency and Density of Roller Compacted Concrete Using a Vibrating Table.
- [10] ASTM C 1435, Standard Practice for Molding Roller Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer.
- [11] ACI 207.5R, Roller Compacted Mass Concrete.
- [12] ASTM C 469 – 2 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.

[13] ACI 213R, American Concrete Institute, (2003). GUIDE FOR STRUCTURAL LIGHT WEIGHT AGGREGATE CONCRETE. Farmington Hills, MI. <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/36p.pdf>

[14] Moreno F, ANALISIS SISMICO DE LA PRESA MINAS – SAN FRANCISCO MEDIANTE ELEMNTOS FINITOS CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN DEL SUELO – ESCTRUCTURA. TESIS, ESPE (2012)

[15] Valarezo & Lojano, ESTUDIO DE MATERIALES PARA LA DETERMINACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGON COMPACTADAS CON RODILLO PARA LA PRESA ELCHONTAL. TESIS, ESPOL (2012)

## ANEXOS.

**ANEXO A. ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO POR LA  
EMPRESA ODEBRECHT DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN EL  
HCR.**

## ANALISIS GRANULOMETRICO

Proyecto : **PROYECTO HIDROELECTRICO MANDURIACU**

No. de Muestra :

M-1335

Fecha de Muestreo : **jue, 15-agosto-13**

Lugar de Muestreo : **Stock Planta de HCR**

Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie	
	Gruesa	Fina ó Única
Recipiente N°		Q F
Recipiente + Muestra Húmeda (P1)		334,57 320,28
Recipiente + Muestra Seca (P2)		322,18 308,53
Agua (P3 = P1 - P2)		12,39 11,75
Recipiente (P4)		51,52 50,04
Muestra Seca (P5 = P2 - P4)		270,66 258,49
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)		4,58 4,55
% de Humedad Promedio		<b>4,56</b>

Notas :

Arena Triturada sin Lavar 0,0 a 4,75 mm  
Exc. Túnel de Desvío

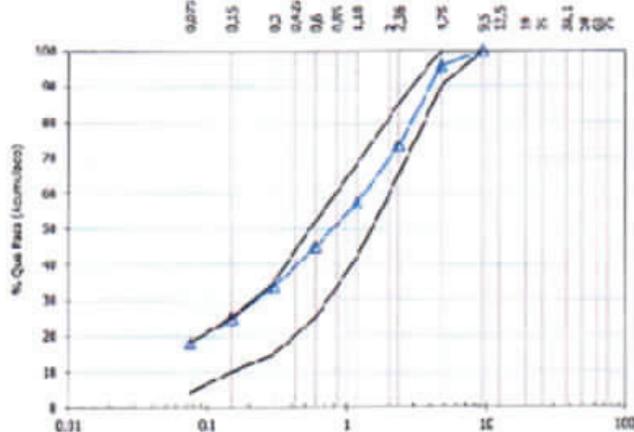
ENSAYO REALIZADO POR LAVADO  
Hora de Toma: 08:35

**Material Calificado como - PH-Manduriacu - Agregado Fino (CCR), NO CUMPLE**

SERIE GRUESA			
Tamiz ASTM Abertura mm / ID	Masa Retenido		% Que Pasa Acumulado
	Parcial	Normalizado	
600 24"			
300 12"			
150 6"			
75 3"			
63 2 1/2"			
50 2"			
38,1 1 1/2"			
25 1"			
19 3/4"			
12,5 1/2"			
9,5 3/8"	0	0,0	100,00
4,75 No. 4	33	32,6	95,74
Pasa No. 4			---

SERIE FINA				
Tamiz ASTM Abertura mm / ID	Masa retenida		% Que Pasa Acumulado	% Que Pasa Corregido
	Parcial	Acumulada		
2,36 No. 8	171,21	203,83	73,36	
2 No. 10				
1,18 No. 16	123,77	327,60	57,18	
0,85 No. 20				
0,6 No. 30	94,39	421,99	44,35	
0,425 No. 40				
0,3 No. 50	83,27	505,26	33,96	
0,15 No. 100	70,61	575,87	24,73	
0,075 No. 200	50,46	626,33	18,14	
Pasa No. 200				
Masa (gr) Inicial (seco ó húmedo) =	300			
Masa (gr) Final (seco ó corregido por % H.N.) =	765,10			
Tota del Material utilizado para el Ensayo =	765,10			
Modulo de Finura =	2,702			

**DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA**  
TAMICES ASTM (Abertura en mm)



Distribución del Tamaño de las Partículas (mm)		Valores expresados en Porcentajes	
Fragmentos (> 300 mm)		0,0	
Guljarras (300 - 75 mm)		0,0	
Grava (75 - 4,75)	Grava (75 - 10)	0,00	4,3
	Fino (19 - 4,75)	4,26	
Arena (4,75 - 0,075)	Grava (4,75 - 2)	25,24	77,6
	Media (2 - 0,425)	33,07	
	Fina (0,425 - 0,075)	21,29	
Finos (> 0,075)		18,1	

**Coefficientes de Uniformidad y Curvatura**

D10 =            Cu = [ ]  
D30 = 0,223  
D50 = 1,33     Cc = [ ]

**PISTA EXPERIMENTAL**  
**Hormigón Compactado con Rodillo (HCR)**  
**Diseños de Mezclas Utilizadas**

**1.- HCR de 10 Mpa (H1-10CR-50)**

Material	Masa (kg) por m3
Cemento Holcim GU/HS	140
Arena Triturada sin Lavar Ø 0-6,3 mm	961
Grava Ø 4,75-25 mm	564
Grava Ø 25-50 mm	564
Agua de Rio Manduriacu	135
Aditivo Sikament N-100	7,0
Aditivo Sikaretarder	1,4

**2.- HCV de 25 Mpa (H1-25N-50-7)**

Material	Masa (kg) por m3
Cemento Holcim GU/HS	350
Arena Triturada sin Lavar Ø 0-6,3 mm	127
Arena Triturada Lavada Ø 0-6,3 mm	717
Grava Ø 4,75-25 mm	480
Grava Ø 25-50 mm	480
Agua de Rio Manduriacu	175
Aditivo Sikament N-100	4,55
Aditivo Sikaretarder	1,75

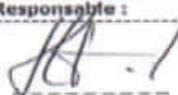
**3.- Mortero de Liga entre Camadas de 10 Mpa (M1-10 Liga HCR)**

Material	Masa (kg) por m3
Cemento Holcim GU/HS	370
Arena Triturada sin Lavar Ø 0-6,3 mm	233
Arena Triturada Lavada Ø 0-6,3 mm	1.323
Agua de Rio Manduriacu	259
Aditivo Sikament N-100	7,4
Aditivo Sikaretarder	2,2

Material	Masa (kg) por m3
Cemento Holcim GU/HS	370
Arena Triturada sin Lavar Ø 0-6,3 mm	1.465
Agua de Rio Manduriacu	295
Aditivo Sikament N-100	7,4
Aditivo Sikaretarder	2,2

**4.- Lechada Enriquecida para HCR (L1-HCR-05)**

Material	Masa (kg) por m3
Cemento Holcim GU/HS	1.109
Agua de Rio Manduriacu	609
Aditivo Sikament N-100	7,4

Responsable :	Elaborado :	Fecha Impresión :	Ubicación Electrónica del Documento :	Hoja
 Ing. A. Toro	 Hugo Contreras	mar, 08-oct-13	C:\Users\hugo\Documents\PH-Manduriacu\03 Hormigon - Grout - Mortero - Lechada\09 Pista Experimental HCR\06 (diseño de mezclas.xlsx)\sheet1	1 / 1

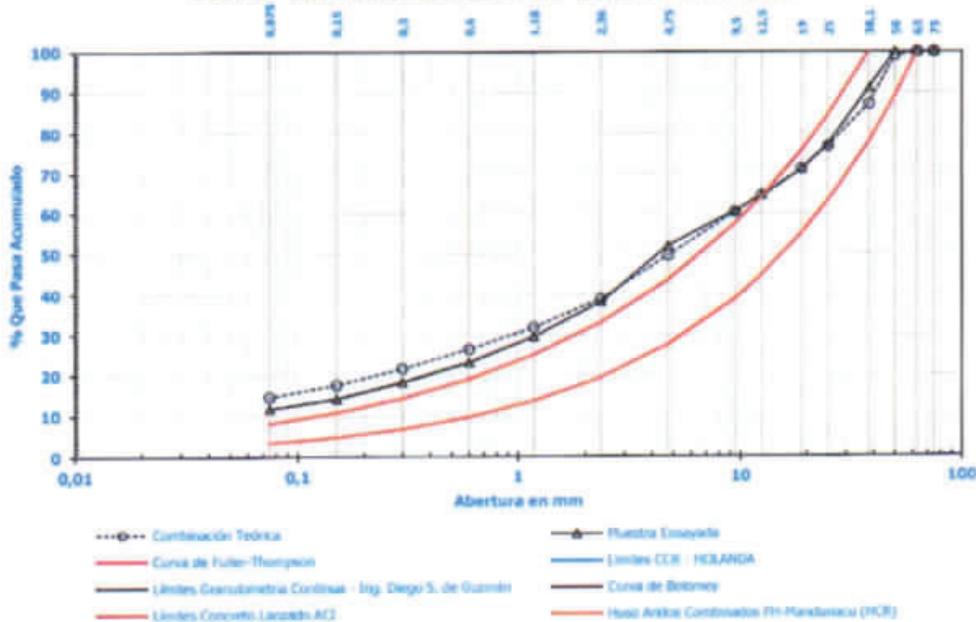
**COMBINACION GRANULOMETRICA DE MATERIALES SECOS EN MEZCLA DE HCR**

Fecha: jueves, 15 de agosto de 2013 Hora: 15:30 Tamaño Máximo del Árido: 50, mm.

Componentes de Diseño de Mezcla	kg x m <sup>3</sup>	Participación de Materiales Secos		Datos Complementarios del Diseño	
		Total	Entre Áridos		
Cemento Holcim GU/HS	140	6,28%	---	Agua	1,35 lts
Arena Triturada Sin Lavar Ø 0-6,3 mm	961	43,11%	100,00%	Aditivo Superplastificante Sikament N100 (Sika)	5,74 lts
Grava Triturada Ø 6,3-25 mm	564	25,30%	50,00%	Aditivo Retardador Sikaretarder (Sika)	1,21 lts
Grava Triturada Ø 25-50 mm	564	25,30%	50,00%		

Ensayos de Granulometrías Parciales de los Materiales																
MATERIAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES														HF	
	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 60	# 100		# 200
Cemento Holcim GU/HS	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,9	98,8	0,00
Arena Triturada Sin Lavar Ø 0-6,3 mm	100	100	100	100	100	100	100	100	95,7	73,4	57,2	44,8	34,0	24,7	18,1	2,70
Grava Triturada Ø 6,3-25 mm	100	100	100	100	99,0	84,7	59,7	42,5	7,4	3,3	2,8	2,5	2,3	2,1	1,8	6,52
Grava Triturada Ø 25-50 mm	100	100	96,1	49,3	9,3	1,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	8,44
<b>Combinación Teórica</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>99,0</b>	<b>87,2</b>	<b>76,8</b>	<b>71,2</b>	<b>64,7</b>	<b>60,3</b>	<b>49,6</b>	<b>38,9</b>	<b>31,8</b>	<b>26,4</b>	<b>21,7</b>	<b>17,6</b>	<b>14,7</b>	<b>4,95</b>
<b>Muestra Ensayada</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>91,1</b>	<b>77,3</b>	<b>71,2</b>	<b>64,4</b>	<b>60,7</b>	<b>52,0</b>	<b>38,1</b>	<b>29,5</b>	<b>23,2</b>	<b>18,3</b>	<b>14,3</b>	<b>11,7</b>	<b>5,02</b>

**CURVA GRANULOMETRICA DE LOS MATERIALES**



Notas:

**MATERIALES ENSAYADOS**

El 15 de Agosto de 2013 (Arena y Gravas Trituradas) M-1335, M-1336, M-1337

Material Producido en Planta HCR antes ingresar al Mezclador, del día 15-agosto-2013 a las 15:30 M-1340

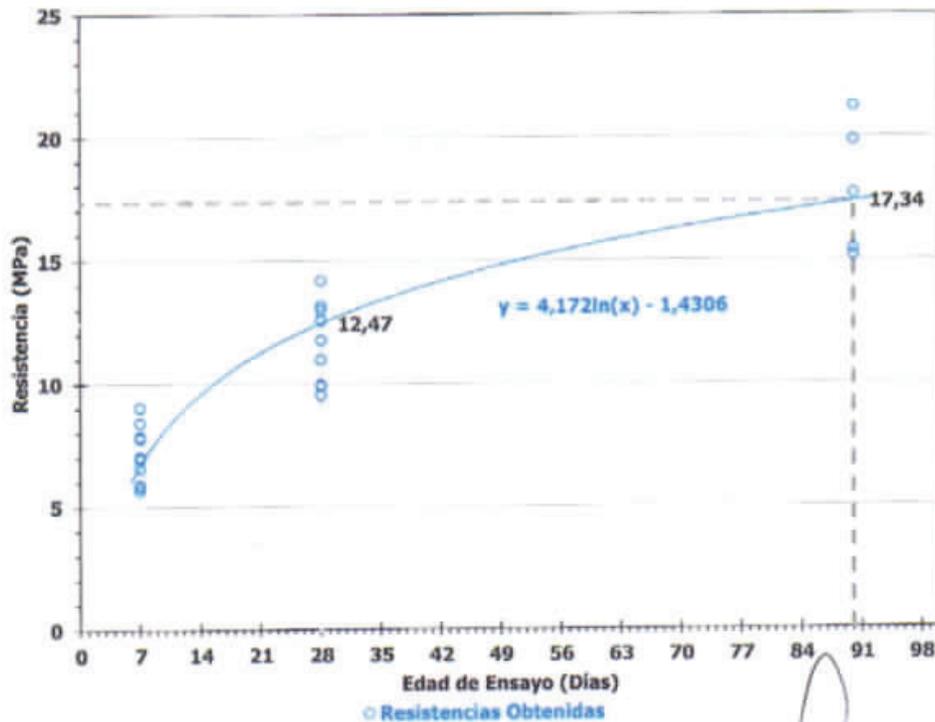
PISTA EXPERIMENTAL DE HCR - CAPA 1

Ubicación Electrónica del Documento : C:\Users\hugo\Documents\PM Manduriacu\03 Homopon - Grava - Material Enchabado\08 Pista Experimental HCR\07 ensayo granulometria combinada 15-agosto-2013 (M-1340) Capa 1.imprimir.pdf	Fecha Impresión : mar, 08-oct-13	Responsable : Ing. A. Toro	Elaborado : Hugo Contreras	FISCALIZACION	Hoja 1 / 1
--	-------------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	---------------	---------------

**PISTA EXPERIMENTAL DE HCR**  
**HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO – Mezcla H1-10CR-50 – f'c 10 MPa (a los 90 Días)**  
**Contenido de Cemento Holcim GU/HS 140 kg x m3**

Fecha	Ubicación	Volumen de Hormigón Colocado m3	ID Muestra	Hormigón Fresco			Hormigón Endurecido		
				Hora de Toma de Muestra hh:mm	Temperatura °C	VeBe seg.	Edad de Ensayo / Resistencia a la Compresión MPa		
							7 Día	28 Días	90 Días
Jue, 15-ago-13	Pista Experimental HCR, HCR, Capa 1, Holcim GU/HS (G)	40	262	15:30	26,0	15 seg VB	7,84	12,80	
	Pista Experimental HCR, HCR, Capa 2, Holcim GU/HS (G)		264	20:40	24,9	21 seg VII	6,15	9,95	
vie, 16-ago-13	Pista Experimental HCR, HCR, Capa 3, Holcim GU/HS (G)	50	270	16:15	24,7	18 seg VII	7,01	11,39	
sáb, 17-ago-13	Pista Experimental HCR, HCR, Capa 4, Holcim GU/HS (G)	65	273	14:25	26,6	20 seg VII	8,74	13,69	
lun, 19-ago-13	Pista Experimental HCR, HCR, Capa 5, Holcim GU/HS (G)	70	276	15:10	27,1	18 seg VB	5,88	9,76	

**Gráfico de Evolucion de la Resistencia**



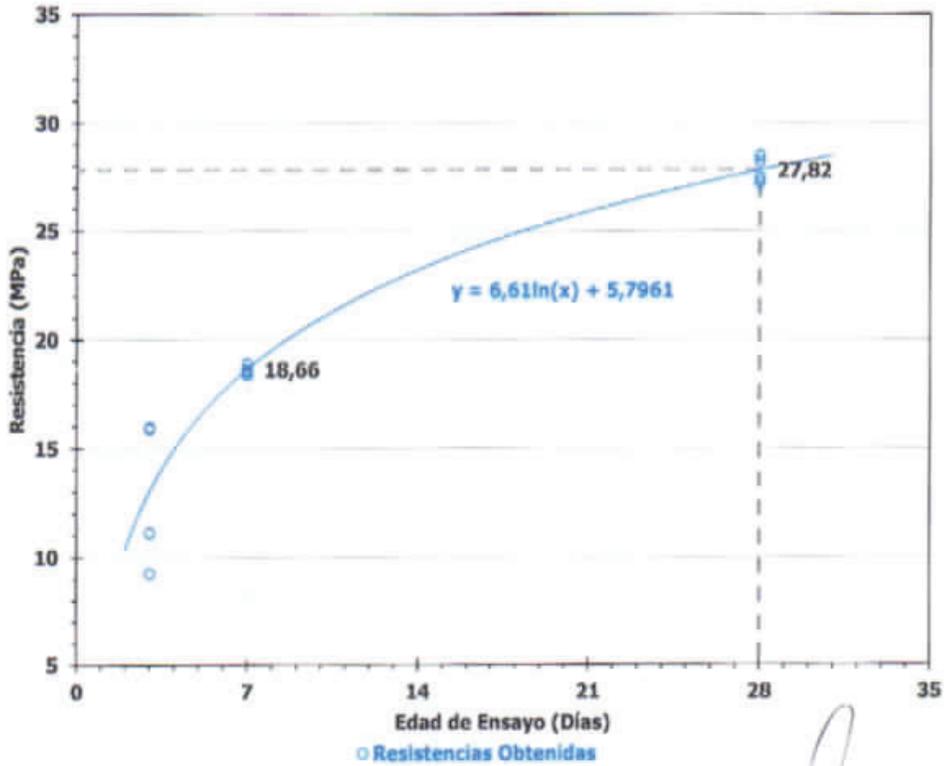
Fecha de Reporte :	Ubicación electrónica del documento :	FISCALIZACION	Responsable C.N.O.	Elaborado C.N.O.	Hoja
08-oct-13	C:\Users\hugoc\Documents\PH-Manduriacu\03 Hormigon - Grout - Mortero - Lechadas\09 Pista Experimental HRC\08 pista experimental.xlsx\datos H1-10CR-50		 Ing. A. Toro	 Hugo Contreras	1 / 1

**PISTA EXPERIMENTAL DE HCR**

**HORMIGON DE PARAMENTO – Mezcla H1-18N-25-7 – f<sub>c</sub> 18 MPa (a los 28 Días)**  
Contenido de Cemento Holcim GU/HS 320 kg x m<sup>3</sup>

Fecha	Ubicación	Volumen de Hormigón Colocado m <sup>3</sup>	ID Muestra	Hormigón Fresco			Hormigón Endurecido		
				Hora de Toma de Muestra h:mm	Temperatura °C	Asentamiento cm.	Edad de Ensayo / Resistencia a la Compresión MPa		
							3 Días	7 Días	28 Días
Jue, 15-ago-13	Pista Experimental HCR, HCV Paramento, Capa 2, Holcim GU/HS (G)	4	265	20:50	-	7,0	10,22	18,73	27,32
vie, 16-ago-13	Pista Experimental HCR, HCV Paramento, Capa 3, Holcim GU/HS (G)	2,5	269	15:30	29,7	8,0	15,94	18,52	28,35

**Gráfico de Evolucion de la Resistencia**



Fecha de Reporte :	Ubicación electrónica del documento :	FISCALIZACION	Responsable C.N.O.	Elaborado C.N.O.	Hoja
08-oct-13	C:\Users\hugoc\Documents\PH-Manduriacu\03 Hormigón - Grout - Mortero - Lechadas\09 Pista Experimental HCR\08 pista experimental.xlsx\datos H1-18CR-50	-----			1 / 1
			Ing. A. Toro	Hugo Contreras	



## **ANEXO B. FOTOGRAFIAS**



LIMPIEZA DEL AREA DE COLOCACIÓN DEL HCR



COMPACTACIÓN DEL HCR



TRATAMIENTO DE JUNTA



COMPACTACIÓN CON RODILLO DE MENOR TAMAÑO



**COLOCACION DE HORMIGON CONVENCIONAL EN LA ZONA DE LOS PARAMENTOS**



**CURADO DEL HORMIGÓN MEDIANTE ASPERSIÓN**



DESCARGADO DEL HORMIGÓN HCR



ÁREA DE PRUEBAS DEL HORMIGÓN HCR



PLANTA DE HORMIGON HCR



CARGADO DE HCR EN VOLQUETAS



BANDA TRANSPORTADORA DE HCR



CARGADO DE VOLQUETA CON HCR



LIMPIEZA DE VEHICULOS ANTES DEL INGRESO A SITIO DE COLOCACIÓN DEL HCR



COLOCACIÓN DE HORMIGÓN DE PARAMENTO



COLOCACIÓN DEL MORTERO DE LIGA



DESCARGA DEL HCR EN OBRA



TENDIDO DE HCR



COMPACTACIÓN DE LA CAPA DE HCR



MEDIDOR DE DENSIDAD A TRAVÉS DE DENSÍMETRO NUCLEAR