

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL ÓPTIMO CONTENIDO DE CEMENTO DEL
CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO PARA LA PRESA
PALLCA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA HUANZA**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JORGE ENRIQUE RODRIGUEZ HUAYANE

Lima - Perú

2014

Agradezco a mis padres y hermanos por el apoyo y confianza en cada momento de mi vida, y gracias a ello lograr un paso más en mi carrera profesional.

	Pág.
RESUMEN	5
LISTA DE CUADROS	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I: GENERALIDADES DEL CCR	13
1.1 DEFINICIÓN DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO	13
1.2 AVANCE DE LAS PRESAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO	14
1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN PRESAS	17
1.3.1 Ventajas	17
1.3.2 Desventajas	18
1.4 APLICACIÓN DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO	18
1.4.1 Presas	19
1.4.2 Pavimentos	20
CAPÍTULO II: COMPONENTES DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO	21
2.1 MATERIALES PARA LA MEZCLA DEL CCR	21
2.1.1 Descripción del Tipo de Cemento a Usarse en el CCR	21
2.1.2 Agregados	22
2.1.3 Agregado Fino	23
2.1.4 Agregado Grueso	24
2.1.5 Finos	27
2.1.6 Funciones de los Agregados en el CCR	27

2.1.7	Calidad de los Agregados	28
2.1.8	Tamaño del Agregado Grueso Utilizado en Presas	29
2.1.9	Granulometría	29
2.1.10	Agua	30
2.1.11	Aditivos	31
2.2	PROPIEDADES DEL CCR	31
2.3	ENSAYOS DE LABORATORIO	32
2.3.1	Ensayos de Consistencia	32
2.3.2	Ensayos de Vibración	33
2.4	PREPARACION DE LOS CILINDROS DE CONCRETO	35
2.4.1	Preparación de Cilindros Utilizando Martillo Vibratorio	35
2.4.2	Preparación de Cilindros Utilizando Mesa Vibratoria	37
CAPITULO III: PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CCR		39
3.1	SELECCIÓN DE LOS AGREGADOS A UTILIZAR	41
3.1.1	Selección del Agregado Grueso	42
3.1.2	Selección del Agregado Fino	47
3.1.3	Selección del Cemento	49
3.2	DETERMINACIÓN GRANULOMETRICA DE LA COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS	50
3.3	DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE LA MEZCLA	51
3.3.1	Preparación de la Mezcla del CCR	54
3.3.2	Ensayo de Consistencia Para la Determinación del Tiempo Vebe	55
3.4	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO DEL CCR	59
3.5	CURADO DE LAS PROBETAS	61
3.6	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	63

CAPÍTULO IV: PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN DEL CCR A PRESAS	68
4.1 PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DEL CCR	70
4.1.1 Descripción de la Planta	70
4.1.2 Tolvas y Silos	71
4.1.3 Dosificadores de Cemento y Agregados	71
4.1.4 Tanques de Almacenamiento de Agua y Dispensadores	72
4.1.5 Dispensador de Aditivos	72
4.2 EQUIPO DE TRANSPORTE Y COLOCACIÓN	72
4.2.1 Cintas Transportadoras	72
4.2.2 Camiones	73
4.3 COLOCACIÓN Y EXTENDIDO	74
4.3.1 Altura de Colocación de las Capas del CCR	74
4.3.2 Colocación y Extendido del CCR	74
4.4 COMPACTACIÓN	76
4.4.1 Compactación con Rodillo Vibratorio	76
4.4.2 Control de Calidad y Toma de Muestras	77
4.4.3 Compactadores de Potencia y Apisonadores Pequeños	79
4.5 PROTECCIÓN Y CURADO	79
4.6 CONCRETO DE PROTECCION DEL CONCRETO CONVENCIONAL	81
4.6.1 Procedimiento de Colocación Aguas Arriba y Lateral de la Presa	81
4.6.2 Curado del Concreto Convencional	81
4.7 MEZCLA DE PEGA	82
4.7.1 Procedimiento de Colocación	82
4.8 SECCIÓN DE PRUEBA	82
CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO DEL CCR OBTENIDOS EN LABORATORIO	84
5.1 CONSISTENCIA	84

5.2	PESO UNITARIO	84
5.3	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	88
5.3.1	Relación Entre la Resistencia a la Compresión y el Peso Unitario	90
5.3.2	Análisis de la Selección de la Proporción de la Mezcla	91
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		92
6.1	Conclusiones	92
6.2	Recomendaciones	94
BIBLIOGRAFÍA		96
ANEXOS		97

RESUMEN

El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es aquel concreto que durante años se ha utilizado en muchos lugares y existen numerosas investigaciones dedicadas al conocimiento de esta técnica; el CCR es probablemente el más importante para el desarrollo en la tecnología de presas en los últimos años, ganando aceptación alrededor del mundo en un relativo corto tiempo debido a su bajo costo, el cual es derivado en parte por su rápido modo de construcción, su bajo contenido de cemento y su condición de asentamiento nulo.

En el Perú esta tecnología del CCR no se ha desarrollado ampliamente, este informe se elaboró para proporcionar información con los resultados obtenidos para conocer sus propiedades del CCR y los procedimientos básicos para la elaboración de los diseños.

En el presente informe se desarrolló el procedimiento de la evaluación del diseño del CCR para la obtención del óptimo contenido de cemento en base a los resultados de resistencia a compresión de las probetas de cada diseño de CCR, elaborados con el martillo vibratorio, todo esto siguiendo las normas ASTM y los comités ACI relacionados; para posteriormente determinar el diseño final y obtener la resistencia a compresión del concreto que cumpla con las especificaciones de diseño.

La evaluación de los ensayos para los diferentes diseños fueron realizados en el laboratorio implementado en el proyecto de la Central Hidroeléctrica Huanza, donde se desarrollaron todos los ensayos necesarios para determinar varias de sus propiedades del concreto, para conseguir el diseño de CCR.

Para las diversas mezclas de diseño se utilizaron diferentes proporciones de cemento Portland Tipo I, se hicieron ensayos de resistencia a la compresión a diferentes edades con el fin de determinar el diseño final con el óptimo contenido de cemento, utilizando en la elaboración de las probetas el martillo vibratorio, todo esto siguiendo la norma ASTM C 1435.

El Concreto Compactado con Rodillo es una alternativa para la construcción de pequeñas presas en el Perú, y para la rehabilitación y modificación de las presas existentes. Esta tecnología de diseño de CCR provee un método económico de bajo contenido de cemento y rápido modo de construcción en comparación con las presas de concreto convencional y presas de tierra.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N° 1.1 Presas CCR culminadas a fines del año 2002, comparadas con la culminadas hasta el año 1996.	16
Cuadro N° 2.1 Límites de la granulometría del agregados fino que se usó para el diseño del CCR.	23
Cuadro N° 2.2 Especificaciones de la granulometría del agregado (Huso 57) que se usó para el diseño del CCR.	25
Cuadro N° 2.3 Especificaciones de la granulometría del agregado (Huso 3) que se usó para el diseño del CCR.	26
Cuadro N° 2.4 Ensayos estándar que se realizaron para determinar la calidad y características de los agregados.	28
Cuadro N° 2.5 Especificaciones de los límites máximos y mínimos de la granulometría global de los agregados, la cual cumplió para realizar el diseño del CCR.	30
Cuadro N° 2.6 Especificaciones técnicas para el agua, establecido en NTP 339.088.	31
Cuadro N° 2.7 Comparación de las medidas de consistencia para asentamientos y el aparato Vebe.	34
Cuadro N° 3.1 Propiedades físicas de los agregados utilizados para la evaluación del diseño del CCR.	42
Cuadro N° 3.2 Límites de la granulometría del agregado grueso (Huso 3) para el diseño de la mezcla del CCR.	43
Cuadro N° 3.3 Límites de la granulometría del agregado grueso (Huso 57), para el diseño de la mezcla del CCR.	45
Cuadro N° 3.4 Límites de la Granulometría del agregado fino para el diseño de la mezcla del CCR.	47
Cuadro N° 3.5 Cantidad de cemento que se usó para cada diseño de mezcla de CCR.	49

Cuadro N° 3.6	Combinación de los agregados gruesos y finos.	50
Cuadro N° 3.7.-	Propiedades de los materiales para el diseño del CCR.	52
Cuadro N° 3.8	Resumen de las cantidades de los materiales que se utilizó para los 5 diseños finales.	53
Cuadro N° 3.9	Resultado de resistencia a la compresión de probetas.	65
Cuadro N° 5.1	Resumen de tiempo Vebe determinado en cada una de las mezclas de CCR.	84
Cuadro N° 5.2	Resumen de los pesos unitarios diseño para diferentes proporciones de cemento por m3.	85
Cuadro N° 5.3	Resultados de peso unitario y resistencia de las probetas de CCR con diferentes cantidades de cemento.	86
Cuadro N° 5.4	Resumen de resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en diferentes edades de curado.	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1.1 Presa Longtan de CCR ubicada en la provincia de Tian China, altura de 216 m y longitud de coronación de 832 m.	14
Figura N° 2.1 Límites de las bandas granulométricas de la mezcla del agregado que se usó para el diseño del CCR.	22
Figura N° 2.2 Límites de las bandas granulométricas del agregado fino que se usó para el diseño del CCR.	24
Figura N° 2.3 Límites de las bandas granulométricas del agregado (Huso 57) que se usó para el diseño del CCR.	25
Figura N° 2.4 Límites de las bandas granulométricas del agregado (Huso 3) que se usó para el diseño del CCR.	26
Figura N° 2.5 Equipo para determinar la consistencia y el tiempo Vebe.	34
Figura N° 2.6 Martillo vibratorio para el compactado de las probetas de CCR según la norma ASTM C 1435.	36
Figura N° 2.7 Mesa vibratoria para preparación de cilindros de CCR según la norma ASTM C1176.	37
Figura N° 3.1 Diagrama que muestra los procedimientos seguidos para el diseño del CCR.	41
Figura N° 3.2 Resultado de la curva de la granulometría del agregado (Huso 3), para el diseño del CCR.	44
Figura N° 3.3 Acopio del agregado grueso (Huso 3), que se usó para determinar los diseños del CCR.	44
Figura N° 3.4 Resultado de la curva de la granulometría del agregado grueso (Huso 57), para el diseño del CCR.	46
Figura N° 3.5 Acopio de agregado grueso (huso 57), que se usó para determinar los diseño de CCR.	46
Figura N° 3.6 Resultado de la curva de granulometría del agregado fino.	48
Figura N° 3.7 Acopio aprobado del agregado fino para el diseño del CCR.	48

Figura N° 3.8	Resultado de la curva de la granulometría de la combinación de los tres agregados.	51
Figura N° 3.9	Colocación de los materiales (agregado grueso, fino, cemento y agua) en la mezcladora tipo trompo de 0.25m ³ .	54
Figura N° 3.10	El CCR luego de terminado el mezclado es vaciado de la mezcladora donde se observa consistencia seca.	55
Figura N° 3.11	Tamizado de la mezcla con el tamiz de 2 pulg. para el ensayo de consistencia y elaboración de las probetas.	56
Figura N° 3.12	Colocación y nivelación de la mezcla de concreto en el equipo consistometro para determinar el tiempo Vebe.	57
Figura N° 3.13	Colocación de sobrecarga sobre el concreto para determinar el tiempo Vebe.	58
Figura N° 3.14	Se observa la formación del anillo de mortero sobre el borde exterior y se determina el tiempo Vebe.	59
Figura N° 3.15	Preparación de las probetas de concreto en tres capas utilizando el martillo vibratorio.	60
Figura N° 3.16	Compactación de la última capa con un collarín encima del borde superior del molde y compactando con el martillo vibratorio.	61
Figura N° 3.17	Poza húmeda implementada para el curado de las probetas de CCR.	62
Figura N° 3.18	Curado de las probetas de CCR en la poza de agua controlando la temperatura.	63
Figura N° 3.19	Refrentado de las probetas en la cara superior e inferior.	64
Figura N° 3.20	Ensayo de resistencia a la compresión de las probetas de CCR a diferentes edades.	64
Figura N° 4.1	Proceso del transporte, colocación, expandido y compactación del concreto compactado con rodillo.	68
Figura N° 4.2	Esquema del proceso de colocación del concreto compactado con rodillo vibratorio en presas.	69

Figura N° 4.3	Planta de producción para la mezcla del CCR.	70
Figura N° 4.4	Colocación de CCR mediante cintas transportadoras.	73
Figura N° 4.5	Traslado y colocación del CCR mediante camiones.	74
Figura N° 4.6	Extendido de la mezcla del CCR con equipos de oruga (Bulldozer).	76
Figura N° 4.7	Compactación de la mezcla de CCR con rodillo vibratorio.	77
Figura N° 4.8	Control de la compactación en campo con el densímetro nuclear.	78
Figura N° 4.9	Sistema de rociado de agua para el curado del CCR.	80
Figura N° 5.1	Resistencia a la compresión de probetas ensayadas con diferentes proporciones de cemento a edades diferentes.	89
Figura N° 5.2	Variación de la resistencia a la compresión en diferentes edades de curado y para mezclas con diferentes cantidades de cemento.	90
Figura N° 5.3	Relación entre la resistencia a la compresión y el peso unitario con diferentes proporciones de cemento	90

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

CCR	: Concreto Compactado con Rodillo
cm	: Centímetro
f'c	: Resistencia del Concreto Compactado con Rodillo.
Kg	: Kilogramo
Kgf	: Kilogramo - Fuerza
Kg/m ³	: Kilogramo / metro cúbico
Km/h	: Velocidad
lb	: Libras
m	: Metro
m ²	: Área
mm	: Milímetro
Pulg	: Pulgada
PU	: Peso unitario del concreto fresco (Kg/m ³)
s	: Segundo
Vebe	: Tiempo Vebe o medida de consistencia (s)

INTRODUCCIÓN

El proyecto de la Central Hidroeléctrica Huanza de 90.6 MW, donde se realizó la investigación de los diseños del CCR se encuentra ubicado en la parte alta de la cuenca del río Santa Eulalia (Río Pallca), en el Departamento de Lima, Provincia de Huarochirí, Distrito de Huanza Perú, ubicado aproximadamente a 130 km al Este de la ciudad capital de Lima, y a 4000 msnm.

En el informe, se darán a conocer aspectos relevantes del CCR, como definiciones, las aplicaciones de este tipo de concreto, ventajas y desventajas sobre su utilización, características de los materiales adecuados para conformar las mezclas del CCR, propiedades del concreto, diseño y evaluación de los resultados; todo el informe se ha resumido en seis capítulos.

En el capítulo I, se encuentra contempladas las generalidades del CCR, donde se detallan las definiciones del CCR, avances en el desarrollo de las presas, ventajas y desventajas en las presas, y posteriormente hacer mención a la aplicación de los resultados a donde se pretenden llegar.

En el capítulo II, se realizó la descripción de las características de los materiales y se detalló los conceptos de los ensayos de consistencia del concreto en estado fresco y la preparación de las probetas del CCR utilizando el martillo vibratorio y la mesa vibratoria.

En el capítulo III, se encuentra el procedimiento de los pasos a seguir para el diseño de la mezcla del CCR según la norma ACI 211.3, así como la elaboración y preparación de las probetas, posteriormente el curado para finalmente realizar los ensayos a compresión y obtención de la resistencia, para determinar el óptimo contenido de cemento con la resistencia requerida de diseño.

En el capítulo IV, se realizó el procedimiento de aplicación del CCR a las presas y se detalló paso a paso el procedimiento de la producción en la planta, el transporte en fajas transportadoras o camiones, seguidamente la colocación y extendido con bulldozer y finalmente la compactación con rodillo vibratorio de 10 Ton.

En el capítulo V, se realizó el análisis de los resultados de los diferentes ensayos realizados para cada diseño del CCR, en el contenido de éste capítulo se muestran los resultados del análisis a la consistencia del concreto, peso unitario y los ensayos de resistencia a compresión del concreto endurecido.

En el capítulo VI, se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del informe.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES DEL CCR

1.1 DEFINICIÓN DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es una mezcla de cemento y agregados seleccionados, con un contenido de agua suficientemente reducido para permitir su compactación mientras es compactado con rodillo vibratorio.

Sin embargo podemos incluir en su definición las características mecánicas que este presenta, y decir que el CCR es un concreto de consistencia seca, asentamiento nulo, que se coloca de forma continua y su consolidación se realiza con un rodillo vibratorio, para esto debe ser lo suficientemente seca como para soportar el peso del rodillo vibratorio, pero a su vez con la humedad adecuada para permitir la correcta distribución de la pasta cementante en toda la masa durante las etapas de mezcla y vibración.

Las aplicaciones del CCR es una técnica que nos permite aplicar grandes cantidades de concreto, que pueden construirse en una o varias capas con una gran relación superficie / espesor, es decir, en la construcción de los pavimentos y las presas.

El Concreto Compactado con Rodillo, es un concreto que en estado fresco deberá soportar un rodillo vibratorio mientras es compactado en cada capa del proceso de construcción.

El Concreto Compactado con Rodillo para pavimentos presentan diferencias muy marcadas con respecto a los empleados en presas: a los pavimentos se les exige que una vez compactados cumplan con ciertas exigencias de regularidad superficial que son irrelevantes en las presas; mientras que en estas últimas se imponen condiciones de impermeabilidad, tanto del material en sí, como de las uniones entre las distintas capas, que carecen de importancia en los pavimentos.

Hoy en día no existe ninguna zona en el mundo donde no se haya construido una presa de CCR. Para finales de 1999 existían terminadas o en construcción más de 210 presas de CCR. En la siguiente Figura N°1.1 podemos mencionar la construcción de la presa Longtan de CCR ubicada en la provincia de Tian China, altura de 216 m y longitud de coronación de 832 m.



Figura Nº 1.1.- Presa Longtan de CCR ubicada en la provincia de Tian China, altura de 216 m y longitud de coronación de 832 m.

1.2 AVANCE DE LAS PRESAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

En la búsqueda de un nuevo tipo de presa que combinara la seguridad de las presas de concreto y la economía de aquellas con núcleo de arcilla y caras de enrocado, se llegó al Concreto Compactado con Rodillo.

En 1970 Jerome Raphael presentó un artículo en el que proponía conceptos del uso de un nuevo material del CCR para construcción de presas, quien sugirió un método de colocación y compactación de material granular enriquecido con cemento.

El uso del CCR para presas de tamaño mediano y pequeño continuó a través de los años ochenta y los inicios de los noventa, y se ha expandido a proyectos más grandes por todo el mundo. El método del CCR ha sido exitosamente aplicado en proyectos muy importantes para la construcción de presas de gravedad y ha ayudado a desarrollar el potencial hídrico alrededor del mundo para hacer frente a la necesidad creciente del agua para irrigación, protección contra inundaciones y producción de energía eléctrica.

En las construcciones de presas de CCR es importante notar que a fines de 1980 había solamente 2 presas de CCR culminadas en todo el mundo y a fines de 1996 había un total de 157 presas de CCR culminadas. Al final del año 2002,

se habían terminado de construir 251 grandes presas de CCR y además 34 estaban bajo construcción; todas estas construcciones de presas de CCR se estaban desarrollando en un total de 35 países. El promedio de altura de las presas en construcción es de aproximadamente 80 m y el volumen promedio es de 600 000 m³. La presa de CCR considerada la más grande es la de Pancheshwar (310 m) en la frontera de Nepal y la India, y en segundo lugar la presa Longtan (216 m).

En estos últimos años la construcción de presas de CCR se ha incrementado considerablemente. China, con 45 presas, es el país que tiene el liderazgo en presas de CCR en el mundo. En Sudamérica, Brasil es el país que tiene una mayor cantidad de presas de CCR. En el Cuadro N° 1.1 se muestran la distribución de presas de CCR por todo el mundo hasta finales del año 2002, comparado con el total existente en el año 1996.

La construcción de presas de CCR en el Perú no figura en la relación dada por Dunstan en el año 2003, las construcciones en nuestro país se está realizando de una manera muy limitada.

Cuadro N° 1.1.- Presas de CCR culminadas a fines del año 2002, comparadas con las culminadas hasta el año 1996.

PAÍS	1996	2002	PAÍS	1996	2002
AFRICA			OCEANÍA		
SUD AFRICA	11	13	AUSTRALIA	8	9
MARRUECOS	7	9	TOTAL	8	9
ANGOLA	1	1	SUBCONTINENTE INDIO Y MEDIO ORIENTE		
BURKINA-FASO	0	1	JORDANIA	0	3
ERITREA	0	1	UAE	0	2
ALGERIA	0	1	IRÁN	0	1
TUNEZ	0	1	TOTAL	0	6
TOTAL	19	27			
ASIA			AMÉRICA DEL NORTE		
CHINA	23	45	USA	28	36
JAPÓN	28	42	CANADA	2	2
TAILANDIA	1	2	TOTAL	30	38
KYRGYZSTAN	1	1	AMÉRICA DEL SUR Y CENTRAL		
TURQUÍA	0	1	BRASIL	9	29
INDONESIA	0	1	MÉXICO	5	6
KAZAKHSTAN	0	1	HONDURAS	2	2
RUSIA	0	1	COLOMBIA	0	2
TOTAL	53	94	CHILE	1	1
EUROPA			ARGENTINA	1	1
ESPAÑA	19	21	GUYANA FRANCESA	1	1
FRANCIA	6	6	REPÚBLICA DOMINICANA	0	1
GRECIA	1	3	BOLIVIA	0	1
RUMANIA	2	2	COSTA RICA	0	1
TOTAL	28	32	TOTAL	19	45
			GRAN TOTAL	157	251

Fuente: Tesis "Diseño de Mezclas de Concreto Compactado con Rodillo Utilizando Conceptos de Compactación de Suelos"

1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO EN PRESAS

1.3.1 Ventajas

La amplia construcción de presas con Concreto Compactado con Rodillo ha hecho que las presas de gravedad de CCR sean una alternativa económica y rápida construcción a su vez competitiva frente a las presas convencionales de concreto y a las presas de tierra.

En la construcción de presas de CCR se demostró que el costo por metro cúbico de CCR es considerablemente menor que el de concreto colocado convencionalmente, aproximadamente en el rango de 25 a 50 por ciento menos. Los bajos costos asociados al CCR son debidos principalmente al costo de los agregados, material cementante, a la reducción en los costos de encofrados, colocación, compactación y la reducción de tiempos de construcción.

La rápida técnica de construcción de presas de CCR en comparación con las presas de concreto convencional y terraplenes generan mayores ahorros en los costos de las presas de CCR. Estas velocidades de producción disminuyen significativamente el periodo de construcción de una presa. Cuando se compara con terraplenes o presas convencionales de concreto, el tiempo de construcción para grandes proyectos de CCR puede ser reducido en varios meses o años, entre las que se puede mencionar:

Frente a las presas de enrocado y materiales sueltos:

- Implican un importante ahorro en los volúmenes de colocación. Esto se debe a que el material permite perfiles de presa menos anchos en su base, con una cara vertical aguas arriba y menores pendientes aguas abajo.
- Se obtiene menor costo durante la ejecución, comparadas frente a las presas de materiales sueltos.
- Soportan el paso de crecientes sobre la presa durante y después de su construcción, sin consecuencias catastróficas.
- La estructura del vertedero hace parte del cuerpo de la presa.
- Menor impacto ambiental, por la menor cantidad de materiales requerida, que conlleva a una disminución de los problemas de tráfico, producción de polvo y excavaciones en las zonas de préstamos.

Frente a las presas de concreto convencional:

- Mayor ritmo de construcción por lo tanto la construcción es en menos tiempo.
- Utilización a gran escala de equipos convencionales (bulldozers, rodillos, camiones, etc), generando un costo menor.
- Menor impacto ambiental, al no precisar realizarse excavaciones en las laderas.

1.3.2 Desventajas

Del mismo modo, existen ciertas desventajas del CCR en presas, pero hay que tener en cuenta que estas sólo se aplican en particular a las condiciones del sitio y diseños.

Las situaciones en las que el CCR puede no ser apropiado, es cuando los materiales como agregados no están disponibles cerca del lugar o no son apropiados para el tipo de concreto, también cuando la roca base es de mala calidad o no está cerca de la superficie, o cuando el terreno de la fundación pueda dar lugar a asentamientos diferenciales excesivos. Las desventajas más comunes que se dan en presas son las siguientes:

- Infiltraciones entre las capas debido a las juntas de construcción y juntas entre capas a un nivel de agrietamiento no controlado.
- La adherencia entre capas debido a las características del material las hace en cierta manera vulnerable ante los eventos sísmicos.

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

1.4 APLICACIÓN DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

El CCR se utiliza principalmente para la construcción de presas y en algunos casos en pavimentos mediante compactación con rodillo vibratorio, que transmiten alta energía durante el proceso de compactación.

El CCR es ideal utilizar en proyectos donde las áreas de material son grandes, este concreto se puede colocar con poco o ningún reforzamiento en la estructura. Puede ser considerado para trabajos en grandes rellenos, pavimentos, fundaciones masivas, bases de losas, ataguías, reparaciones de emergencia y protección superficial para presas y terraplenes. Pero donde mayor uso se le ha dado es en la construcción de presas.

El Concreto Compactado con Rodillo tiene especificaciones particulares, tales como las enumeradas en la recomendación ACI 207.5, para concreto masivo (Presas) y ACI 325.10 para (Pavimentos), sus aplicaciones principalmente son:

1.4.1 Presas

El CCR se puede usar en toda la estructura de la presa o como una capa de protección sobre la sección superior y sobre la cara de aguas abajo. El tamaño máximo nominal del agregado que se utiliza mayormente para la construcción de presas es de (2 ½ pulg.).

El contenido de cemento para el diseño del CCR, normalmente es menor que el usado en una mezcla de concreto convencional, pero similar al del concreto masivo.

La mezcla del CCR se produce en plantas dosificadoras de gran capacidad cerca de la obra y se entrega por camión y/o cintas transportadoras y se la extiende con el equipo nivelador (bulldozer, seguido de la compactación con rodillo vibratorio de 10 Ton que usualmente son usados para el CCR y es común para la compactación en presas. En la cara de aguas arriba se reviste con un concreto convencional que contiene aire incorporado para los cambios y variaciones de temperaturas y tienen resistencias más elevadas, la cual se realiza la colocación mediante encofrado con paneles, a fin de mejorar la impermeabilidad, resistencia, durabilidad y el acabado.

Se han construido en muchos países alrededor del mundo presas de CCR, el interés por este tipo de presas se ha incrementado debido a la creciente aceptación de su empleo como concreto masivo en la construcción de presas, por una alta velocidad de construcción, bajo contenido de cemento, bajo costo, y a su condición de asentamiento nulo para la compactación con rodillos vibratorios.

El CCR puede ser considerado para su aplicación en lugares donde el concreto con asentamiento nulo pueda ser transportado, colocado y compactado usando equipos de construcción para tierras y enrocados.

1.4.2 Pavimentos

En los últimos años se han generado muchas soluciones con relación al diseño de pavimentos rígidos, como en lo referente a las técnicas de rehabilitación, especialmente en aquellos países donde el pavimento de concreto tiene un uso común no sólo en carreteras, sino en áreas urbanas.

Uno de los usos más importantes del Concreto Compactado con Rodillo es, para la estabilización de bases y construcción de calles y carreteras, por su durabilidad y resistencia a la fatiga, así como la capacidad de soportar cargas producidas por el tráfico vehicular.

Tal es el caso de los proyectos de pavimentación en diversos países, donde el pavimento era sujeto a tráfico vehicular ligero, ubicados en caminos rurales y zonas urbanas, las primeras experiencias en el uso de estos pavimentos fue en Barcelona en los años setenta.

Desde esta década hasta ahora se han escrito un buen número de artículos acerca del uso y diseño de pavimentos rígidos, con base en la teoría del elemento finito.

CAPÍTULO II: COMPONENTES DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

2.1 MATERIALES PARA LA MEZCLA DEL CCR

Los materiales usados para producir el CCR son similares a los que se conocen para la elaboración del concreto convencional, los componentes utilizados son cemento, agua, agregado grueso y fino, y algunas veces aditivos. De igual manera que para un concreto convencional los materiales utilizados deben de cumplir con los requerimientos mínimos aplicables que proporcione una mezcla adecuada, económica y funcional.

Para los diseños que se realizó se usó los agregados que fue de la explotación en la cantera rio Pallca, de donde se seleccionó los materiales finos y gruesos (Arena y Grava), seleccionadas según el requerimiento del diseño e implementado al concreto masivo. Dentro de los agregados usados para el CCR se incluirá materiales cementantes (cemento portland), y agua que se usara del rio Pallca.

2.1.1 Descripción del Tipo de Cemento a Usarse en el CCR

La selección del tipo de cemento debe ser basada en parte, en la resistencia de diseño y la edad para la cual se requiere esta resistencia. Adicionalmente; limites aplicables en la composición química requerida para diferentes condiciones de exposición y reactividad álcali deben de considerarse, y seguir las practicas estándares del concreto. Para estructuras del CCR masivas, se recomienda el uso de cemento con característica de baja generación de calor de hidratación.

El cemento debe ser potencialmente idóneo para la aplicación a presas en particular es de trascendental importancia, ya que de éste dependerán significativamente las características y propiedades de la matriz cementante y por consiguiente del diseño que se realizara.

El tipo de cemento que se utilizara para la evaluación del diseño del CCR, será cemento Portland Tipo I (Andino) y deberá cumplir las normas técnicas: NTP 334.009 y la ASTM C 150.

2.1.2 Agregados

La fuente de agregados que se usara para los diseños del CCR será de la cantera rio Pallca que se produce en la obra. Los agregados gruesos y finos son de la explotación en la cantera rio Pallca, se verificara que los agregados cumplan con los requerimientos de las especificaciones técnicas del proyecto. En la siguiente Figura 2.1 se muestra los límites de la banda granulométrica de la mezcla de los agregados gruesos y finos que se deberá usar.

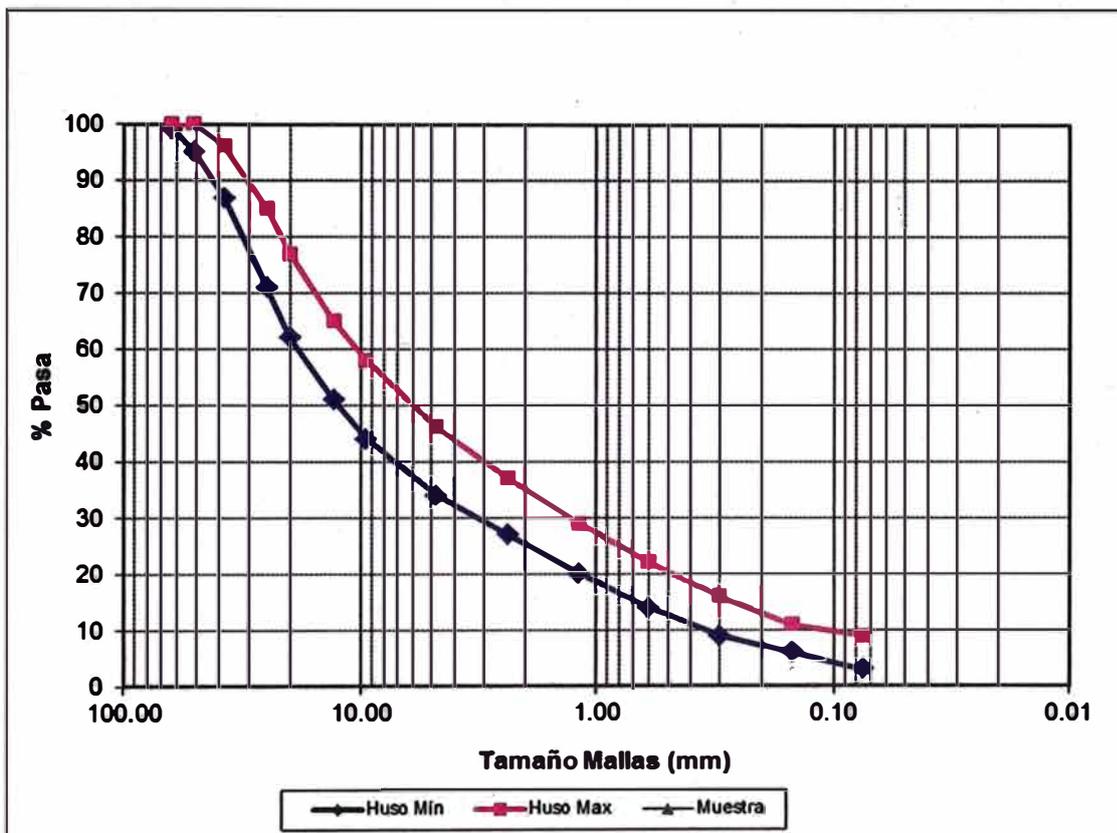


Figura N° 2.1.- Límites de las bandas granulométricas de la mezcla del agregado que se usó para el diseño del CCR.

El objetivo de la mezcla del CCR es el de rellenar todos los vacíos de los agregados con pasta, un agregado bien gradado nos proporcionará un diseño que nos permitirá producir un concreto con mínimo de vacíos. Para el diseño de la mezcla, el objetivo ha sido el uso de una granulometría aceptable que dé como resultado un menor costo global del CCR.

Para las mezclas del CCR, los requerimientos para los agregados son muy similares a los exigidos para mezclas convencionales de concreto. El tamaño máximo de agregado que se uso fue de 2 ½ pulg. (63 mm), estos agregados con estas granulometrías se produjeron en la cantera del río Pallca del proyecto.

2.1.3 Agregado Fino

Puede consistir en arena natural, arena procesada en chancadoras, o una combinación de los dos.

La arena procesada en chancadoras deberá provenir de rocas buenas y durables, que cumplan los requisitos de calidad necesarios para obtener un CCR de las características exigidas en las especificaciones.

Los agregados finos deberán cumplir con lo indicado en la norma ASTM C 33 (Especificación Estándar de Agregados para Concreto) y las especificaciones del proyecto, en el cual se define la calidad y gradación del agregado, además de otras propiedades y requisitos como: módulo de finura, sustancias deletéreas, grumos de arcilla y partículas deleznable, impurezas orgánicas y sustancias dañinas.

La gradación de los agregados finos influencia fuertemente a los requerimientos de la pasta y la compactabilidad del CCR. También afecta los requerimientos de agua y materiales cementantes necesarias para rellenar los vacíos de los agregados y cubrir las partículas de estos. Para el uso del agregado fino, el material pasante por el tamiz 75 mm (N° 200), no deben ser plásticos.

En el siguiente Cuadro N° 2.1 se muestra los límites de los tamices del agregado fino que fueron aprobados por las especificaciones técnicas del proyecto, en la siguiente Figura N° 2.2 se muestra el límite máximo y mínimo de las bandas granulométricas. El porcentaje de finos que pasa el tamiz N° 200 ha sido usualmente limitado al 5 %, para el uso del diseño del CCR realizado.

Cuadro N° 2.1.- Límites de la granulometría del agregados fino que se usó para el diseño del CCR.

Tamices		Especificaciones % Pasa	
Pulg	mm	Min %	Max %
3/8"	9.500	100.00	100.00
N° 4	4.750	95.00	100.00
N° 8	2.360	80.00	100.00
N° 16	1.180	50.00	85.00
N° 30	0.600	25.00	60.00
N° 50	0.300	10.00	30.00
N° 100	0.150	2.00	10.00

Fuente: Especificaciones del proyecto Central Hidroeléctrica Huanza.

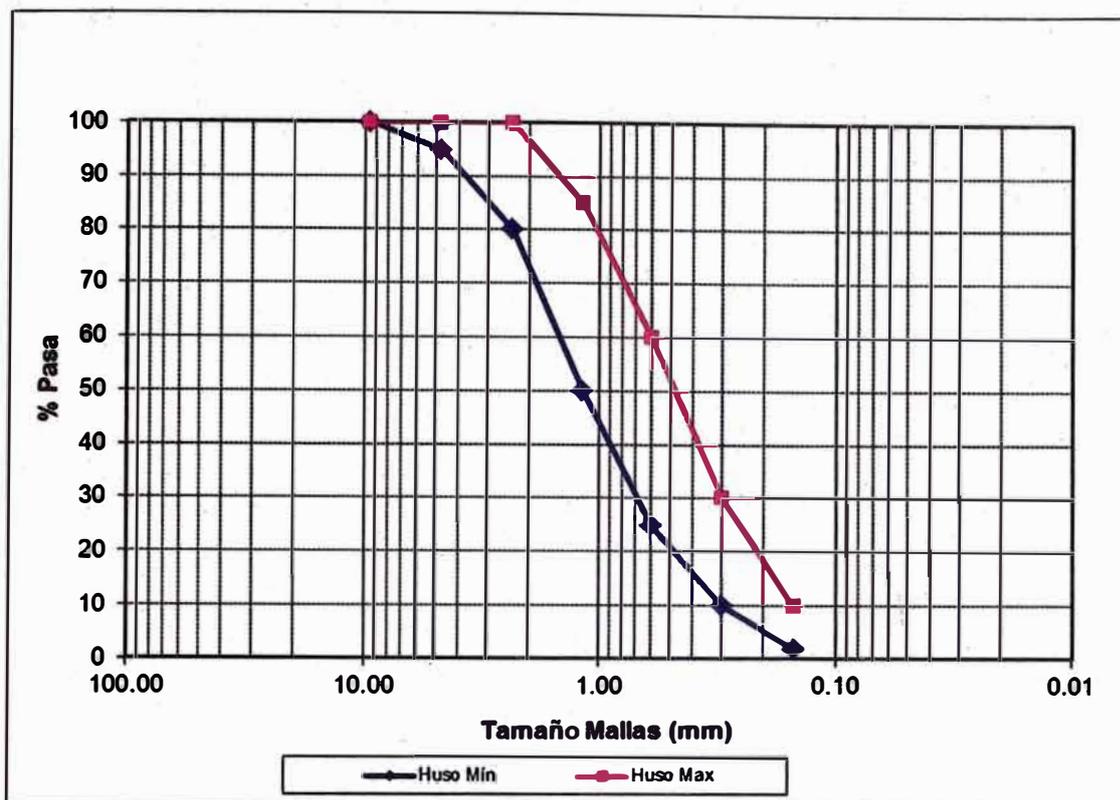


Figura N° 2.2.- Límites de las bandas granulométricas del agregado fino que se usó para el diseño del CCR.

2.1.4 Agregado Grueso

Por lo general consiste de grava triturada o sin triturar, o una combinación de ambos. El agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, triturado, con un mínimo de partículas planas y alargadas.

El CCR que contiene grava o piedra triturada podrá exigir un mayor esfuerzo para compactar, y es menos probable que se separen. Es también más estable durante la compactación y por lo general ofrece una mayor resistencia a la flexión.

Los agregados gruesos cumplirán con lo indicado en la norma ASTM C 33, con el objetivo de definir la calidad de los agregados, el tamaño máximo nominal del agregado, y otros requisitos de gradación específicos, además de definir las sustancias dañinas.

El agregado grueso que se utilizó para los diseños del CCR, es producido en forma artificial mediante la trituración de rocas de calidad adecuada. El agregado que se determinó para el uso del diseño del CCR fueron de dos granulometrías diferentes denominados (Huso 57) y (Huso 3) donde se describen a continuación:

Agregado Grueso Huso 57:

- En el siguiente Cuadro N° 2.2 se muestra los límites de los tamices del agregado grueso (Huso 57) y en la Figura N° 2.3 se muestran los límites de las bandas granulométricas del agregado grueso (Huso 57).

Cuadro N° 2.2.- Especificaciones de la granulometría del agregado (Huso 57) que se usó para el diseño del CCR.

Tamices		Especificaciones % Pasa	
Pulg.	mm	Min %	Max %
1 1/2"	38.000	100.00	100.00
1"	25.000	95.00	100.00
3/4"	20.000	67.28	84.16
1/2"	13.000	25.00	60.00
3/8"	9.500	17.91	45.82
N° 4	4.750	0.00	10.00
N° 8	2.36	0.00	5.00

Fuente: Especificaciones del proyecto Central Hidroeléctrica Huanza.

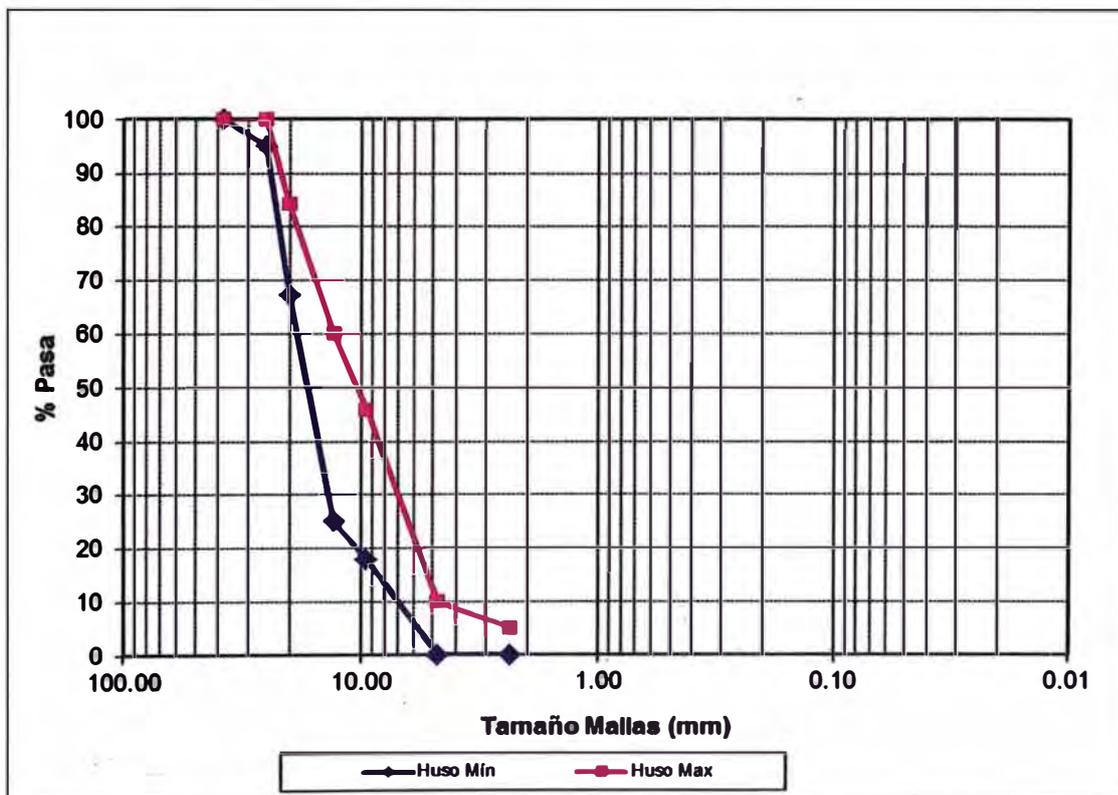


Figura N° 2.3.- Límites de las bandas granulométricas del agregado (Huso 57) que se usó para el diseño del CCR.

Agregado Grueso Huso 3:

- El agregado grueso (Huso 3) para el diseños del CCR, es producido en forma de chancado mediante la trituración de rocas de calidad adecuada. En el siguiente Cuadro N° 2.3 se muestra las especificaciones del agregado grueso (Huso 3) y en la Figura N° 2.4 se muestran los límites de la banda granulométrica del agregado grueso (Huso 3).

Cuadro N° 2.3.- Especificaciones de la granulometría del agregado (Huso 3) que se usó para el diseño del CCR.

Tamices		Especificaciones % Pasa	
Pulg.	mm	Min %	Max %
2 1/2"	63.00	100.00	100.00
2"	51.00	90.00	100.00
1 1/2"	38.00	35.00	70.00
1"	25.00	0.00	15.00
3/4"	20.00	0.00	10.00
1/2"	13.00	0.00	5.00

Fuente: Especificaciones del proyecto Central Hidroeléctrica Huanza.

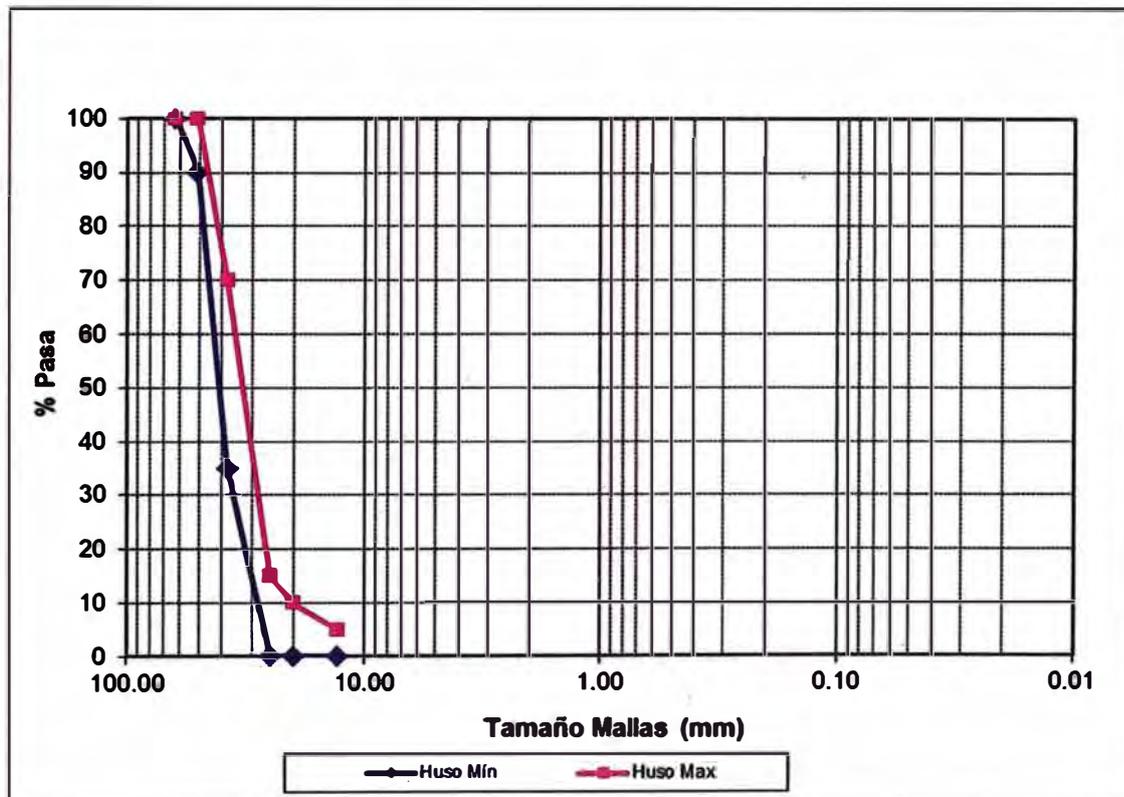


Figura N° 2.4.- Límites de las bandas granulométricas del agregado (Huso 3) que se usó para el diseño del CCR.

2.1.5 Finos

En mezclas de bajo contenido de materiales cementantes, los finos que pasa el tamiz N° 200, son usualmente requeridos para rellenar los vacíos de los agregados. Dependiendo del volumen de material cementante, el total de finos requerido para nuestro diseño fue de 9 % del total del volumen de los agregados. Las características y contenido de finos afectarán relativamente la compactabilidad de la mezcla del CCR y puede influenciar en el número de pasadas del rodillo vibratorio requerido para la compactación plena para un grosor de capa dada.

Los finos rellenan los vacíos de los agregados, proveen una consistencia compactable, y ayudan a controlar la segregación, y disminuye la permeabilidad. Incluyendo agregados finos en mezclas de baja cantidad de pasta, que permite la reducción en el contenido de materiales cementantes. Adiciones excesivas de agregados finos después que los vacíos hayan sido rellenos, son típicamente dañinas a la mezcla del CCR debido a que disminuye la trabajabilidad, y aumenta la demanda de agua y disminuye la resistencia.

Cuando se agrega los finos a una mezcla, otra consideración de importancia es su naturaleza. Finos triturados y materiales cortantes son aceptables. Sin embargo, finos arcillosos y plásticos, pueden aumentar la demanda de agua y causar una pérdida de resistencia y producir una mezcla pegajosa la cual es difícil de mezclar y compactar.

2.1.6 Funciones de los Agregados en el CCR

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.
- Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

2.1.7 Calidad de los Agregados

La calidad de los agregados influencia en las propiedades deseadas del CCR, principalmente de su resistencia. Para un concreto de alta resistencia, es necesario un agregado de alta calidad.

Para el CCR que estará sometido a grandes esfuerzos o a condiciones de congelamiento y deshielo, se deberán usar agregados de buena calidad. Los agregados adecuados para el diseño del CCR que se usó fueron provenientes de la producción en las canteras del proyecto, antes del uso de los agregados se realizaron todos los ensayos físicos en el laboratorio del proyecto la cual cumplieron con las especificaciones. Los ensayos estándar para determinar la calidad y características de los agregados son mostrados en el siguiente Cuadro N° 2.4.

Cuadro N° 2.4.- Ensayos estándar que se realizaron para determinar la calidad y características de los agregados.

Características	Norma de Ensayo	Nombre del Ensayo
Granulometría	ASTM C 136	Análisis por tamizado de agregado grueso y fino.
	ASTM C 117	Materiales más finos que la malla N° 200
Resistencia a la abrasión	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	ASTM C 127	Gravedad específica y absorción del agregado grueso.
	ASTM C 128	Gravedad específica y absorción del agregado fino.
Desgaste a los sulfatos	ASTM C 88	Inalterabilidad del agregado por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.
Impurezas orgánicas	ASTM C 40	Impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto.

Fuente: Especificaciones técnicas del proyecto Central Hidroeléctrica Huanza.

2.1.8 Tamaño del Agregado Grueso Utilizado en Presas

El tamaño máximo del agregado para la fabricación del CCR, los proyectistas lo limitan a la cuarta parte del espesor de la capa, por lo tanto, para capas compactadas de 30 cm, se utilizan agregados entre 75 mm y 80 mm (aproximadamente 3 pulg.). Sin embargo, algunos autores para evitar la segregación al verter y extender el material recomiendan que el tamaño máximo del agregado grueso este entre los 65 mm y 80 mm (2 ½ pulg.), siendo este último el más utilizado, aunque en algunos proyectos se ha limitado a 40 mm o 50 mm (2 pulg. como máximo).

Para la construcción de la presa Pallca, el tamaño máximo ha sido limitado a 2 ½ pulg. (63 mm), los agregados que se utilizó para los diseños del CCR se producían mediante el chancado en la cantera del rio Pallca, cumpliendo con las especificaciones técnicas del proyecto.

2.1.9 Granulometría

La mezcla de agregados fue proveniente de las diferentes pilas de acopio, la cual se encuentran seleccionados en diferentes grupos de tamaños según su granulometría. Para el diseño del CCR se utilizó; dos acopios de piedra gruesa (Huso 3 y Huso 57) y un acopio de agregado fino, los agregados utilizados de los acopios cumplieron con la gradación comprendida estando dentro de los límites de la banda permitida que fue establecido en las especificaciones técnicas.

Los agregados gruesos y finos de las diferentes fracciones fueron mezclados para que el agregado combinado cumpla una gradación que esté comprendida en la banda límite de la granulometría, los límites de la banda se detalla en el siguiente Cuadro N° 2.5.

Cuadro N° 2.5.- Especificaciones de los límites máximos y mínimos de la granulometría global de los agregados, la cual cumplió para realizar el diseño del CCR.

Tamices		Especificaciones % Pasa	
Pulg.	mm	Min %	Max %
2 1/2"	63.000	99.00	100.00
2"	51.000	95.00	100.00
1 1/2"	38.000	87.00	96.00
1"	25.000	71.00	85.00
3/4"	20.000	62.00	77.00
1/2"	13.000	51.00	65.00
3/8"	9.500	44.00	58.00
N° 4	4.750	34.00	46.00
N° 8	2.360	27.00	37.00
N° 16	1.180	20.00	29.00
N° 30	0.600	14.00	22.00
N° 50	0.300	9.00	16.00
N° 100	0.150	6.00	11.00
N° 200	0.075	3.00	9.00

Fuente: Especificaciones del proyecto Central Hidroeléctrica Huanza.

2.1.10 Agua

El agua que se use para el diseño de mezcla y para el curado, del CCR deberá ser agua fresca, limpia y libre de contenidos dañinos como aguas negras, aceite, ácidos, álcalis, mica, sales, materia orgánica, u otras sustancias nocivas. El agua deberá cumplir con los requerimientos químicos para concretos premezclados establecidos en la Norma ASTM C 1602 o en NTP 339.088, exceptuando el agua no agresiva que contenga concentración de sólidos como limos para la cual se permitirá su uso. Para nuestro diseño se usó el agua del río Pallca sin tratamientos la cual cumplió con los requerimientos de las especificaciones técnicas de acuerdo a los ensayos realizados en el laboratorio.

El único requerimiento para el agua en la mezclas del CCR, debe estar libre de una excesiva cantidad de álcalis, ácidos o material orgánico que pueden inhibir la adecuada ganancia de resistencia. En el siguiente Cuadro N° 2.6 se muestra los límites permisibles que cumplió el agua como indica las especificaciones, para realizar el diseño del CCR.

Cuadro N° 2.6.- Especificaciones técnicas para el agua, establecido en NTP 339.088.

Descripción	Limite Permisible
Sólidos en suspensión	5 000 ppm máximo
Materia Orgánica	3 ppm máximo
Carbonatos y Bicarbonatos alcalinos (Alcalinidad total expresada en NAHCO ₃)	1 000 ppm máximo
Sulfatos (Ión SO ₄)	600 ppm máximo
Cloruros (Ión Cl)	1 000 ppm máximo
pH	Entre 5.5 y 8

Fuente: Especificaciones de la NTP.

2.1.11 Aditivos

Los aditivos han sido efectivos en mezclas de CCR que tienen un contenido de agua suficiente para proveer una pasta más fluida. Los aditivos reductores de agua y retardadores de fragua son los comúnmente usados. Los aditivos reductores de agua se usan en grandes dosificaciones, se ha demostrado que reducen la demanda de agua, aumentan la resistencia y retarda el fraguado, y promueve la trabajabilidad en algunas mezclas de concreto. Sin embargo, el conocimiento de la efectividad en otras mezclas, típicamente con contenidos bajos de materiales cementantes y niveles bajos de trabajabilidad, es limitado. Los aditivos deben ser evaluados en la mezcla del CCR antes de ser usado en el campo.

Los aditivos de aire incorporado no son comúnmente usados en el CCR debido a la dificultad de generar las burbujas de aire del tamaño apropiado y su distribución cuando la mezcla tenga una consistencia de asentamiento nulo. Sin embargo, el aire incorporado en el CCR ha sido usado seguidamente en producción en China y los Estados Unidos, para mejorar la resistencia al cambio de temperatura, permeabilidad, manejabilidad y la durabilidad.

2.2 PROPIEDADES DEL CCR

Las características del CCR dependen de la calidad de los materiales empleados, de la proporción de mezcla y del grado de compactación o consolidación.

Básicamente, la mezcla de concreto en estado fresco consiste de materiales como agregados y algunas otras partículas sólidas que están incluidos en la pasta de cemento. Mientras tanto, una pequeña proporción de aire también puede existir en la mezcla. La presencia de la pasta de cemento en la mezcla actúa como un ligante y un medio de separación para los agregados en la mezcla.

El concreto debe tener una trabajabilidad satisfactoria durante todo el período del proceso, que involucra el mezclado, transportación, colocación, compactación, y acabado del concreto fresco.

Las mezclas secas enfrentan problemas ya que son frecuentemente difíciles de compactar y siempre involucra energía para su compactación. Además, una resistencia alta y durabilidad alta de la mezcla seca no podía lograrse en la ausencia de una compactación completa. Mientras tanto, el CCR debe tener una trabajabilidad satisfactoria y adecuada consistencia el cual es vital en la construcción de presas.

Las mezclas de CCR tienen asentamiento nulo, produce un material que es anisotrópico para muchas de sus propiedades. Esto se da principalmente para la impermeabilidad, donde la permeabilidad en dirección de la compactación vertical puede ser apreciablemente menor que en la dirección horizontal.

2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio que se realizó para el CCR, fueron los ensayos estándar que se desarrollan para el concreto convencional. Los ensayos que se realizaron sirvieron para definir las propiedades de los materiales para la aprobación de los mismos para la elaboración de las mezclas del diseño del CCR. De los ensayos estándar que se realizó se ha incluido los ensayos para determinar la consistencia del concreto y para la preparación de las probetas del CCR, y finalmente los ensayos a compresión de las probetas para la determinar la resistencia.

2.3.1 Ensayos de Consistencia

Se procedió a realizarse los ensayos de consistencia de la mezcla basados en la norma ASTM C1170, para cada contenido de cemento, se iniciará con humedades con aproximación y se variará la humedad en la mezcla hasta

conseguir el tiempo Vebe buscado de entre 18 y 25 segundos.

El principal propósito de los ensayos de consistencia es determinar la cantidad de agua requerida para alcanzar las propiedades de resistencia deseadas y producir una mezcla adecuada para la compactación con el rodillo vibratorio de 10 Ton. El contenido de agua de la mezcla es determinado usando una mesa vibratoria hasta alcanzar el tiempo Vebe deseado para que la pasta empiece a aparecer en la superficie de la mezcla. Para las aproximaciones de la humedad, se usa una mezcla de CCR en la que la única variable es el contenido de agua.

2.3.2 Ensayos de Vibración

La mesa vibratoria para determinar el tiempo Vebe la cual se muestra en la Figura N° 2.5. Es usada para medir la consistencia de mezclas de concreto rígidas a extremadamente secas. La consistencia es medida como el tiempo requerido para que una masa dada de concreto se consolide por vibración en un molde de forma cilíndrica.

El propósito de los ensayos de vibración es establecer un contenido de agua que corresponda a la consistencia deseada. Para determinar la consistencia del concreto se utiliza una sobrecarga de 22.7 Kg, según como indica la norma ASTM C 1170, a continuación podemos indicar los siguientes pasos para determinar la consistencia del concreto.

- Se llena el recipiente u olla con concreto no compactado, nivelado y se coloca una sobrecarga y que este bien centrado sobre el concreto que es aplicada al CCR.
- El recipiente es sujetado a una mesa vibradora, la que tiene una frecuencia y amplitud constante. Se enciende el equipo y el concreto es entonces vibrado con la sobrecarga en la superficie hasta que se consolide completamente.
- El tiempo en segundos es anotado cuando un anillo de pasta se forme completamente alrededor del borde interior del recipiente cuando este sucede inmediatamente se detiene el equipo. Este tiempo es la medida de la consistencia o trabajabilidad de la mezcla.

Los factores que afectan el diseño de la mezcla para determinar el tiempo Vebe, es la inadecuada distribución del concreto y el principal factor que afecta a la mezcla es la cantidad de agua. Un menor tiempo Vebe indica un mayor contenido de agua, por consiguiente se producirá una mezcla de consistencia más fluida.



Figura N° 2.5.- Equipo para determinar la c consistencia y el tiempo Vebe.

En el Cuadro N° 2.7 se muestra la comparación de las medidas de consistencia para asentamientos diferentes y el aparato Vebe. Note que el ensayo Vebe puede dar resultados de consistencia para mezclas extremadamente seca.

Cuadro N° 2.7.- Comparación de las medidas de consistencia para asentamientos y el aparato Vebe.

Descripción de consistencia	Asentamiento (mm)	Asentamiento (pulg)	Vebe (s)
Extremadamente seca	-	-	25 a 32
Muy Seca	-	-	18 a 25
Seca	0 a 25	0 a 1	5 a 18
Semi plástica	25 a 75	1 a 3	3 a 5
Plástica	75 a 125	3 a 5	0 a 3
Muy plástica	125 a 190	5 a 7 ½	-

Fuente: Norma ACI 211.3R-02, para la selección de proporciones para concretos de asentamiento nulo.

2.4 PREPARACION DE LOS CILINDROS DE CONCRETO

Para la preparación de las probetas del CCR se utiliza varios métodos, con el objeto de determinar las propiedades de las mezclas del CCR. Lo que se busca en la preparación de las probetas en el laboratorio, que tengan propiedades parecidas a las del CCR colocado en el campo. Para el diseño que se realizó en laboratorio es producir probetas que tenga la misma densidad como el que se produce en el campo.

Los cilindros de concreto para ensayo a compresión del CCR son del mismo tamaño que los cilindros convencionales de concreto de 6 pulg. de diámetro y 12 pulg. de altura (150 por 300 mm). En estos moldes son fácilmente de acomodar los agregados de tamaño máximo de 2 pulg. (50 mm).

Para mezclas del CCR que usan agregados de tamaños máximos mayores a 2 pulg. (50 mm) se realizara el tamizado de la mezcla con tamiz de 2 pulg. Usualmente, se utilizan moldes cilíndricos de metales partidos o con hendidura para permitir la extracción más fácil de las probetas del CCR. También se han usado moldes plásticos o fundas de metal insertados en un cilindro de acero, para facilitar la extracción de la probeta del CCR.

Para la preparación de los cilindros de concreto se utilizara el Martillo Vibratorio y la Mesa Vibratoria conforme a la norma ASTM C 1435 y ASTM C 1176.

2.4.1 Preparación de Cilindros Utilizando Martillo Vibratorio

Para la elaboración cilindros de concreto según la norma ASTM C 1435 describe los procedimientos de cada paso a seguir. Las probetas para el ensayo son preparados en moldes metálicos mediante compactación de mezclas de concreto rígidas a muy secas en tres capas cada una de 13 cm de altura aproximadamente usando un martillo vibratorio eléctrico, acondicionado con un eje y una placa en forma de disco como se muestra en la Figura N° 2.6.

Este método de ensayo es usado en lugar del varillado o vibración interna, la cual no puede compactarse apropiadamente en un concreto de esta consistencia.

El martillo eléctrico vibratorio Hilti especificado en la norma es apropiado para mezclas del CCR, pero para el diseño realizado en la proyecto se ha utilizado un martillo vibratorio Makita con características similares. La principal ventaja de su uso es que compactará con seguridad mezclas del CCR de cualquier

consistencia, excepto las mezclas muy húmedas con bajos tiempos Vebe. La frecuencia del golpe de este martillo es similar a la frecuencia de un rodillo vibratorio de 10 Ton. en el campo durante la compactación del CCR.

EQUIPOS:

- Molde cilíndrico de 6 pulg. (150 mm) de diámetro por 12 pulg. (300 mm) de altura, conforme a los requerimientos de la Especificación ASTM C 470.
- Martillo vibratorio, con una masa mínima de 10 ± 0.2 Kg (22 ± 0.4 lb), 900 Watts de potencia y capaz de proveer al menos 2000 impactos / min.
- Placa apisonadora de acero, de forma circular, con un diámetro de $5 \frac{3}{4} \pm 1/8$ pulg. (140 ± 3 mm) y una masa de 3 ± 0.1 Kg (6.5 ± 0.2 lb).
- Herramientas pequeñas, desplantador, pala punta cuadrada, cucharón manual, varilla de acero, plancha de madera, enrazador, apisonador, como se requiere según la especificación.



Figura N° 2.6.- Martillo vibratorio para el compactado de las probetas de CCR según la norma ASTM C 1435.

2.4.2 Preparación de Cilindros Utilizando Mesa Vibratoria

La norma ASTM C1176 (Practica Estándar para la elaboración del Concreto Compactado con Rodillo en moldes cilíndricos usando una Mesa Vibratoria), describe los procedimientos para la elaboración de probetas de concreto para el CCR, cuando los procedimientos estándar de varillado y de vibración interna, no sea posible. Se aplica a concreto recién mezclado, elaborado en el laboratorio y en el campo, con un tamaño máximo nominal de 2 pulg. (50 mm) o menos.

Las muestras de ensayo se hacen en moldes cilíndricos, y estos se unen a la mesa vibratoria como se muestra en la siguiente Figura N° 2.7, en el cual se coloca una sobrecarga de 9 Kg (20 lb) para facilitar la consolidación.

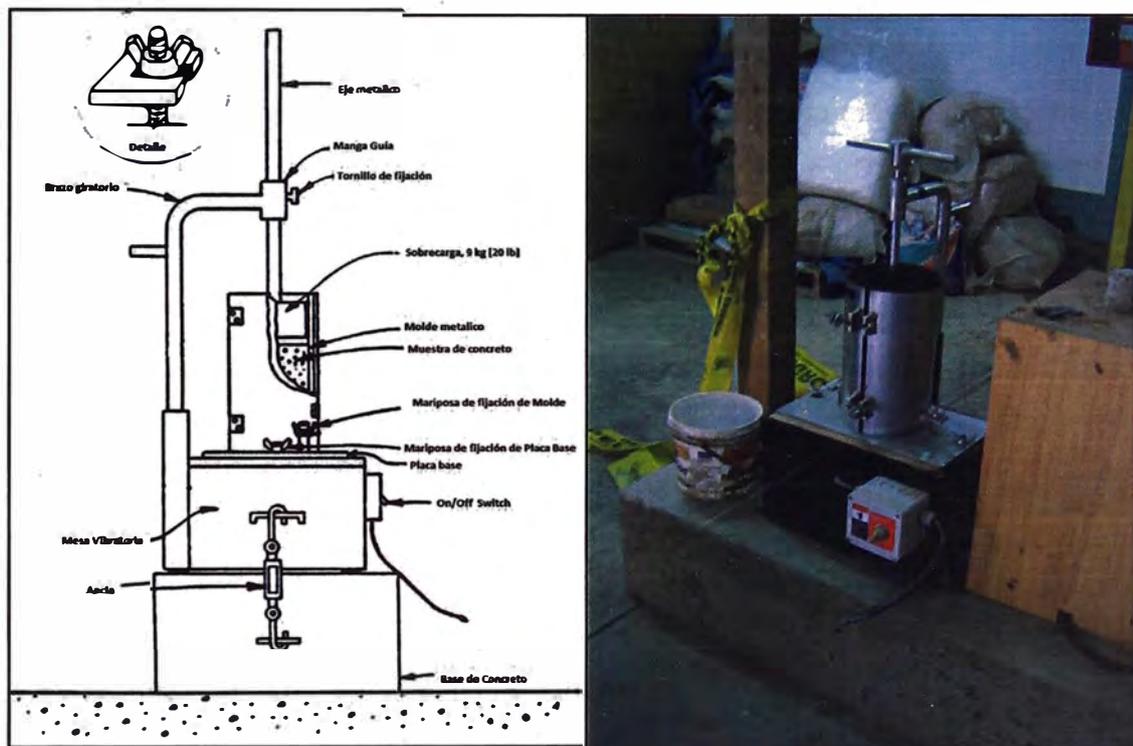


Figura N° 2.7.- Mesa vibratoria para preparación de cilindros de CCR según la norma ASTM C1176.

EQUIPO:

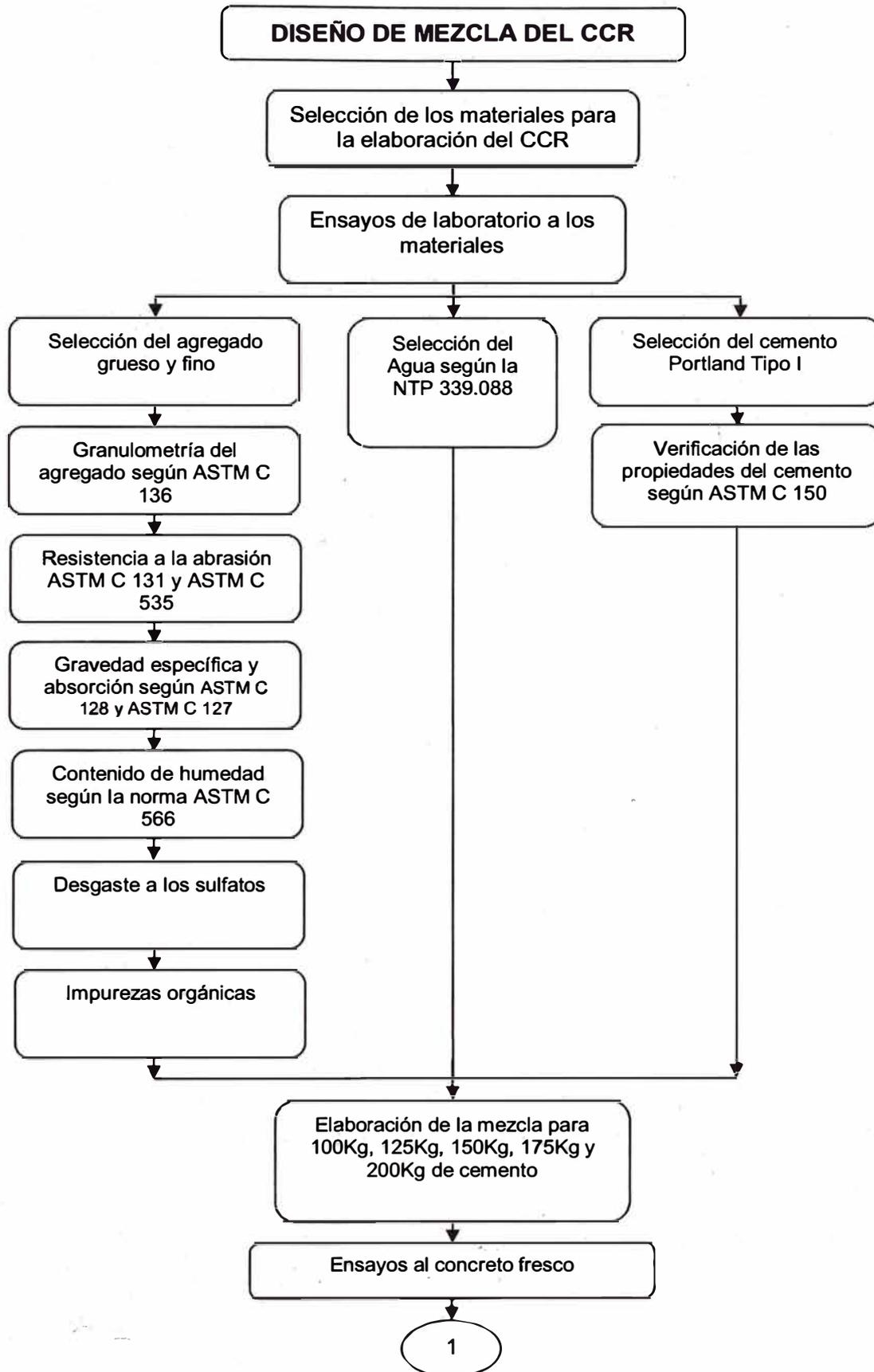
- Molde cilíndrico, conforme a la especificación de 6 pulg. (150 mm) de diámetro y 12 pulg. (300 mm) de altura.
- Mesa vibratoria Vebe, una mesa vibratoria con una cubierta de acero con un espesor de 3/4 pulg. (20 mm) y con dimensiones de aproximadamente de 15 pulg. (380 mm) de largo, 10 ¼ pulg. (260 mm) de ancho, y 12 pulg. (300 mm) de altura.
- La mesa vibratoria se construirá de tal manera que se evite la flexión de la mesa durante la operación. La masa total del vibrador y de mesa debe de ser aproximadamente de 95 Kg (210 lb). La mesa deberá estar a nivel y sujeta a un piso de concreto o una losa de base que tiene suficiente masa para evitar el desplazamiento del aparato durante la preparación de la probeta del CCR.
- Brazo giratorio y manga guía, el brazo giratorio y la manga guía debe ser capaz de mantener el eje de metal unido a una sobrecarga de 9 Kg (20 lb) en una posición perpendicular a la superficie vibrante y permitiendo que el eje se deslice libremente cuando la abrazadera se libera. El brazo giratorio debe ser capaz de mantener la manga guía en una posición de bloqueo directamente sobre el centro de las muestras que serán sometidas a vibraciones. El brazo giratorio debe ser capaz de rotar a una distancia al centro de la mesa.
- Sobrecarga, una masa cilíndrica de acero con un eje de metal de por lo menos 18 pulg. (460 mm) de largo y $8/5 \pm 1/16$ pulg. (16 ± 2 mm) de diámetro unidos perpendicularmente y embebidos en el centro de la masa. El eje se deslice a través de la manga guía, sin carácter vinculante. La sobrecarga tendrá un diámetro de $5 \frac{3}{4} \pm 1/8$ pulg. (146 ± 3 mm). La sobrecarga tendrá una masa de 9.1 ± 0.25 Kg (20 ± 0.5 lb), incluida la masa del eje de metal.
- Tamiz, de 2 pulg. (50 mm) conforme a la especificación.
- Herramientas pequeñas, palas, cucharones, llave inglesa, cronometro y linterna cuando sea necesario.

CAPITULO III: PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CCR

En este capítulo se realizará el procedimiento del diseño del CCR en base a las técnicas que actualmente se está desarrollando en todo el mundo para la construcción de presas. El diseño del CCR que se realizó en el laboratorio de las instalaciones del proyecto fue con el objetivo de determinar el óptimo contenido de cemento para la aplicación en la presa Pallca del proyecto de la Central Hidroeléctrica Huanza.

Este diseño del CCR se desarrolló en el laboratorio del proyecto que fueron implementados con todos los equipos necesarios, donde se desarrollaron los ensayos para determinar las propiedades de los materiales, características de los agregados y obtener los resultados finales del diseño del CCR.

El método que se desarrolló en esta investigación para realizar el diseño de la proporción de mezclas del Concreto Compactado con Rodillo, fue mediante los ensayos en el equipo consistometro Vebe para medir la consistencia. Los pasos del procedimiento del diseño del CCR se muestra en la siguiente Figura N° 3.1.



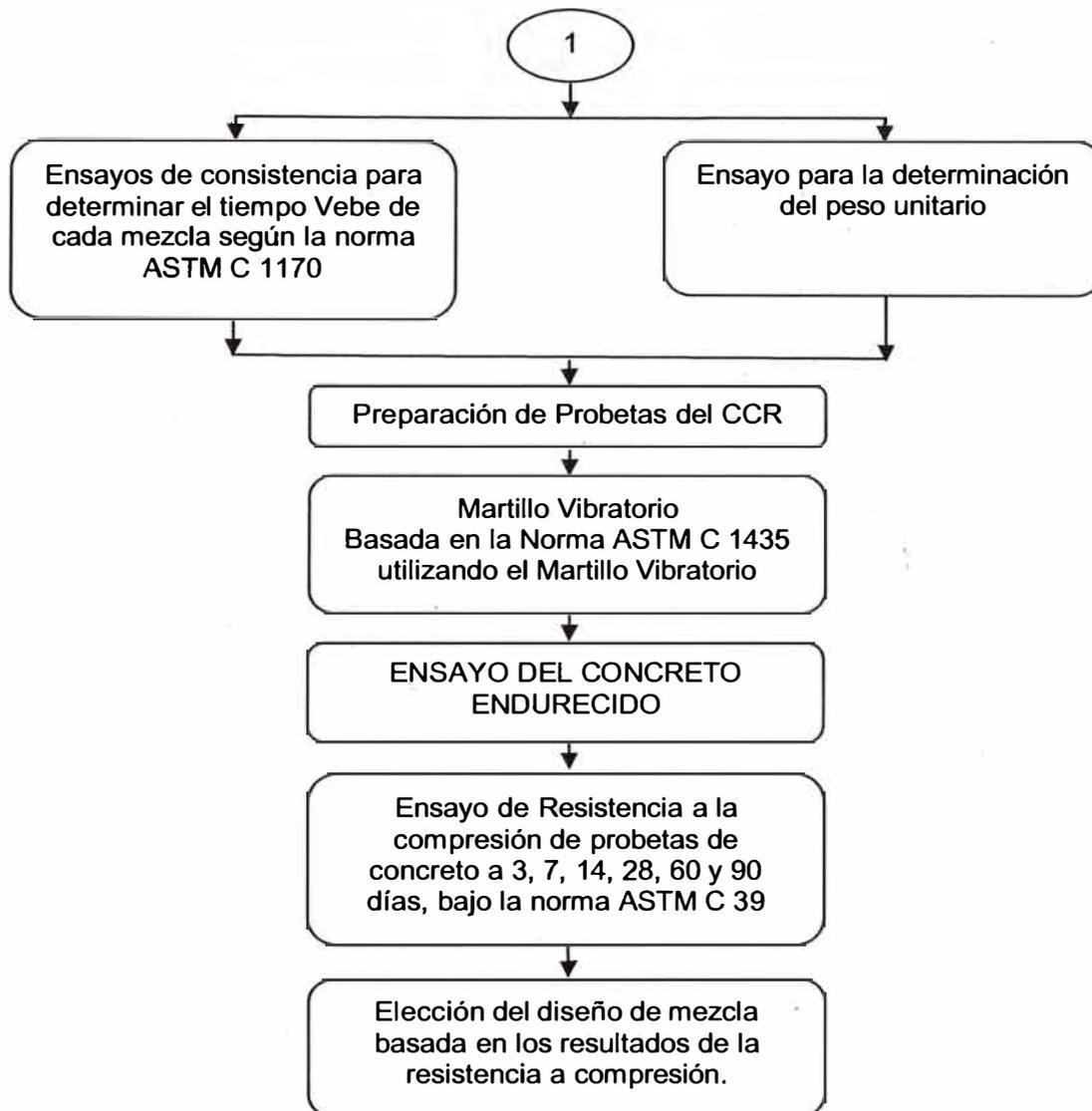


Figura N° 3.1.- Diagrama que muestra los procedimientos seguidos para el diseño del CCR.

3.1 SELECCIÓN DE LOS AGREGADOS A UTILIZAR

Los agregados que se utilizaron para los diseños de mezclas del CCR fueron agregados gruesos (Huso 3) y (Huso 57), y el agregado fino; los agregados se tomaron de los acopios aprobados y con un estricto control de calidad. El control de calidad de los agregados deberá ser muy importante porque influyen en la calidad y las propiedades del CCR.

Los agregados seleccionados para el diseño del CCR cumplieron con los requerimientos y características necesarias según la Norma ASTM C 33, aplicada para agregados para poder iniciar con los ensayos del CCR.

Antes de iniciar con los procedimientos para el diseño de CCR se determinó primeramente, las características de los componentes de la mezcla para la evaluación del diseño del CCR. En el Cuadro N° 3.1 se mencionan las características físicas de los agregados utilizados y en los Anexo 1, 2 y 3 se muestran los resultados de los ensayos de gravedad específica y absorción de los agregados gruesos y finos realizados en el laboratorio del proyecto.

Cuadro N° 3.1.- Propiedades físicas de los agregados utilizados para la evaluación del diseño del CCR.

Ensayos de Laboratorio	Resultado de los Ensayos
Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso ASTM C 127	
Gravedad Específica (Agregado Huso 3)	2.65
Absorción (Agregado Huso 3)	0.89%
Gravedad Específica (Agregado Huso 57)	2.59
Absorción (Agregado Huso 57)	1.65%
Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino ASTM C 128	
Gravedad Específica	2.61
Absorción	2.81%

Fuente: Resultados de los ensayos físicos obtenidos del laboratorio del proyecto Central Hidroeléctrica Huanza.

3.1.1 Selección del Agregado Grueso

Para la elaboración del CCR se buscó que los agregados posean características adecuadas, para esto nos basaremos en la especificación bajo la Norma ASTM C 33 (en el cual el agregado grueso cumplirá los requisitos de las especificaciones técnicas para agregado grueso).

Agregado Grueso Huso 3:

Los requisitos que debe cumplir el agregado grueso (Huso 3), están basados en las especificaciones del proyecto y la ASTM C 33. Con respecto a las propiedades químicas del agregado seleccionado se considera un material que no reacciona químicamente con otros componentes del concreto.

El agregado grueso se clasifica como un agregado con tamaño máximo de 2 1/2". Los tamices de la granulometría de los agregados gruesos se muestran en el siguiente Cuadro N° 3.2 y los resultados de la curva de la granulometría en la Figura N° 3.2. El porcentaje de finos pasante la malla N°200 fue de 0.05% y el permitido por las especificaciones del proyecto es de 0.3%, la cual se ha cumplido con dichas especificaciones del proyecto. En el Anexo 4 se muestra el ensayo de granulometría del agregado (Huso 3) realizado en el laboratorio del proyecto, donde se muestra que está dentro de los límites permitidos por la especificación. En la Figura N° 3.3 se muestra el acopio del agregado huso 3 que se usó para el diseño del CCR.

Cuadro N° 3.2.- Límites de la granulometría del agregado grueso (Huso 3) para el diseño de la mezcla del CCR.

Tamices		Especificaciones % Pasa	
Pulg.	mm	Min %	Max %
2 1/2"	63.00	100.00	100.00
2"	51.00	90.00	100.00
1 1/2"	38.00	35.00	70.00
1"	25.00	0.00	15.00
3/4"	20.00	0.00	10.00
1/2"	13.00	0.00	5.00

Fuente: Especificaciones técnicas del proyecto Central Hidroeléctrica Huanza.

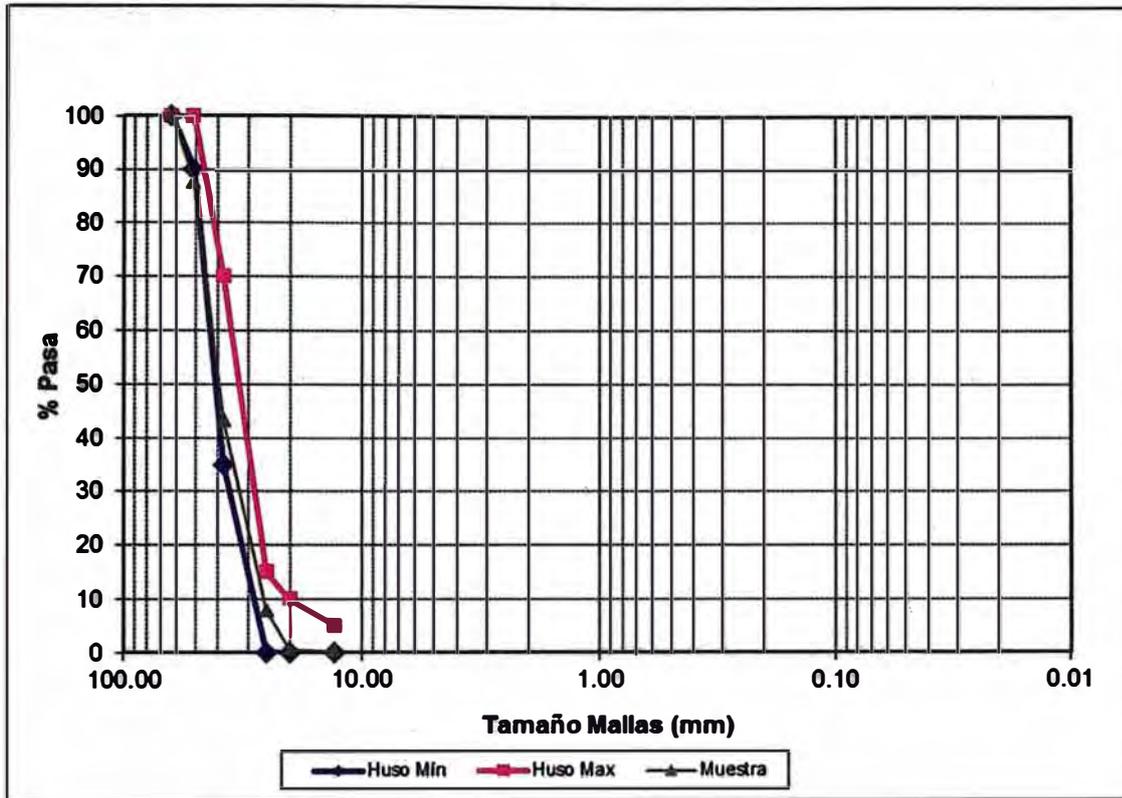


Figura N° 3.2.- Resultado de la curva de la granulometría del agregado (Huso 3), para el diseño del CCR.



Figura N° 3.3.- Acopio del agregado grueso (Huso 3), que se uso para determinar los diseños de CCR.

La producción del agregado grueso se realizó mediante el chancado en la cantera del proyecto en diferentes granulometrías y se realizó un estricto control de calidad, los cuales se seleccionó y se acopio en pilas de determinada granulometría para la utilización en el diseño del CCR.

Agregado Grueso Huso 57:

El agregado grueso (Huso 57) tiene las mismas características que el anterior agregado pero es de diferente granulometría y que cumplen con la especificación del proyecto y la ASTM C 33. Estos agregados cumplieron con las propiedades químicas y no se generó ninguna reacción química con los otros componentes del concreto.

El agregado grueso (Huso 57) que se utilizó fue de tamaño máximo de 1 1/2". Los límites de las especificaciones de la granulometría de los agregados gruesos se muestran en el siguiente Cuadro N° 3.3. El porcentaje de finos pasante la malla N°200 fue de 0.4% y el permitido por las especificaciones del proyecto es de 0.5%; se determinó que el agregado (Huso 57) ha cumplido con las especificaciones del proyecto. En el Anexo 5 se muestra el resultado del ensayo de granulometría del agregado grueso (Huso 57) realizado en el laboratorio del proyecto, donde se muestra que está dentro de los límites permitidos por la especificación.

Cuadro N° 3.3.- Límites de la granulometría del agregado grueso (Huso 57), para el diseño de la mezcla del CCR.

Tamices		Especificaciones % Pasa	
Pulg.	mm	Min %	Max %
1 1/2"	38.000	100.00	100.00
1"	25.000	95.00	100.00
3/4"	20.000	67.28	84.16
1/2"	13.000	25.00	60.00
3/8"	9.500	17.91	45.82
N° 4	4.750	0.00	10.00
N° 8	2.36	0.00	5.00

Fuente: Especificaciones técnicas del proyecto Central Hidroeléctrica Huanza.

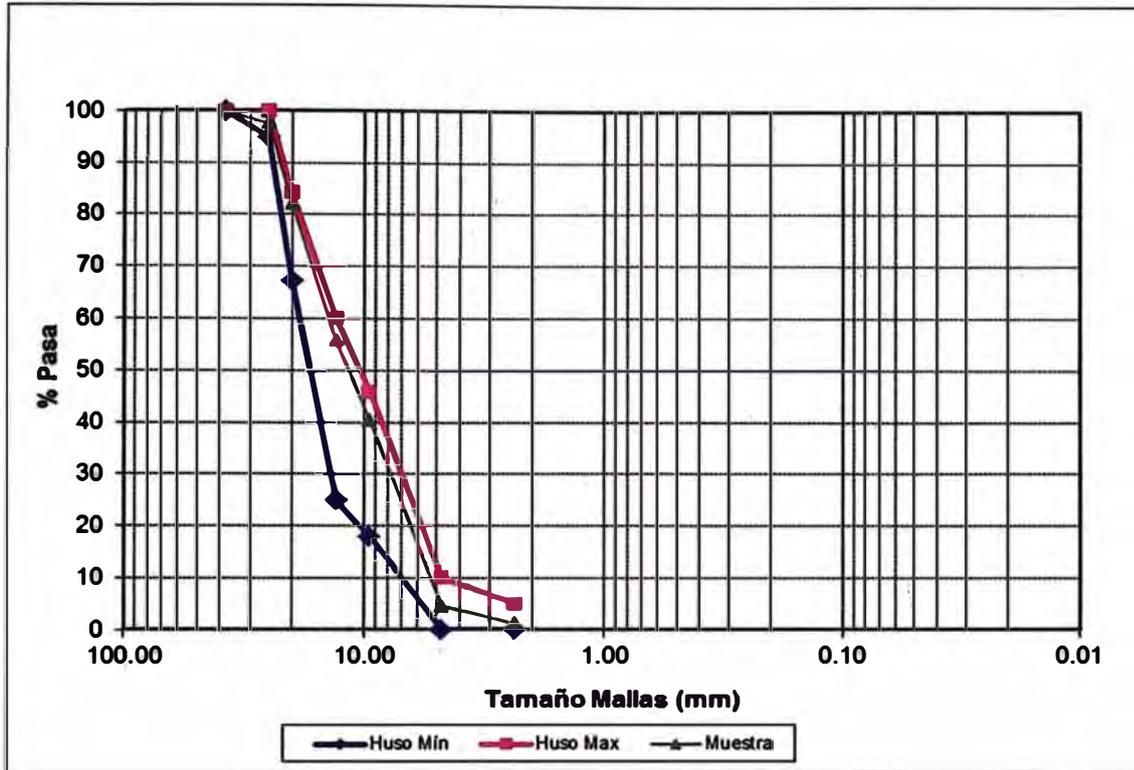


Figura N° 3.4.- Resultado de la curva granulometrica del agregado grueso (Huso 57), para el diseño del CCR.



Figura N° 3.5.- Acopio de agregado grueso (huso 57), que se usó para determinar los diseño de CCR.

3.1.2 Selección del Agregado Fino

El material fino que se utilizó para el diseño del CCR fue procedente de la producción en la cantera río Pallca, donde fue procesada mediante una chancadora como se muestra en la siguiente Figura N° 3.7. Los ensayos se realizó en el laboratorio del proyecto y cumplió con sus características de acuerdo a las especificaciones del proyecto y se llevó un estricto control de calidad.

Las especificaciones que cumplió el agregado fino para el diseño del CCR se muestra en el siguiente Cuadro N°3.4. El porcentaje pasante la malla N°200 fue de 4.1% y el permitido por las especificaciones es de 5.0%, la cual se ha cumplido con las especificaciones del proyecto. En el Anexo 6 se muestra el resultado del ensayo de granulometría del agregado fino realizado en el laboratorio del proyecto y en la Figura N° 3.6 se muestra el resultado de la curva de la granulometría.

Cuadro N° 3.4.- Límites de la Granulometría del agregado fino para el diseño de la mezcla del CCR.

Tamices		Especificaciones % Pasa	
Pulg.	mm	Min %	Max %
3/8"	9.500	100.00	100.00
N° 4	4.750	95.00	100.00
N° 8	2.360	80.00	100.00
N° 16	1.180	50.00	85.00
N° 30	0.600	25.00	60.00
N° 50	0.300	10.00	30.00
N° 100	0.150	2.00	10.00

Fuente: Especificaciones técnicas del proyecto Central Hidroeléctrica Huanza.

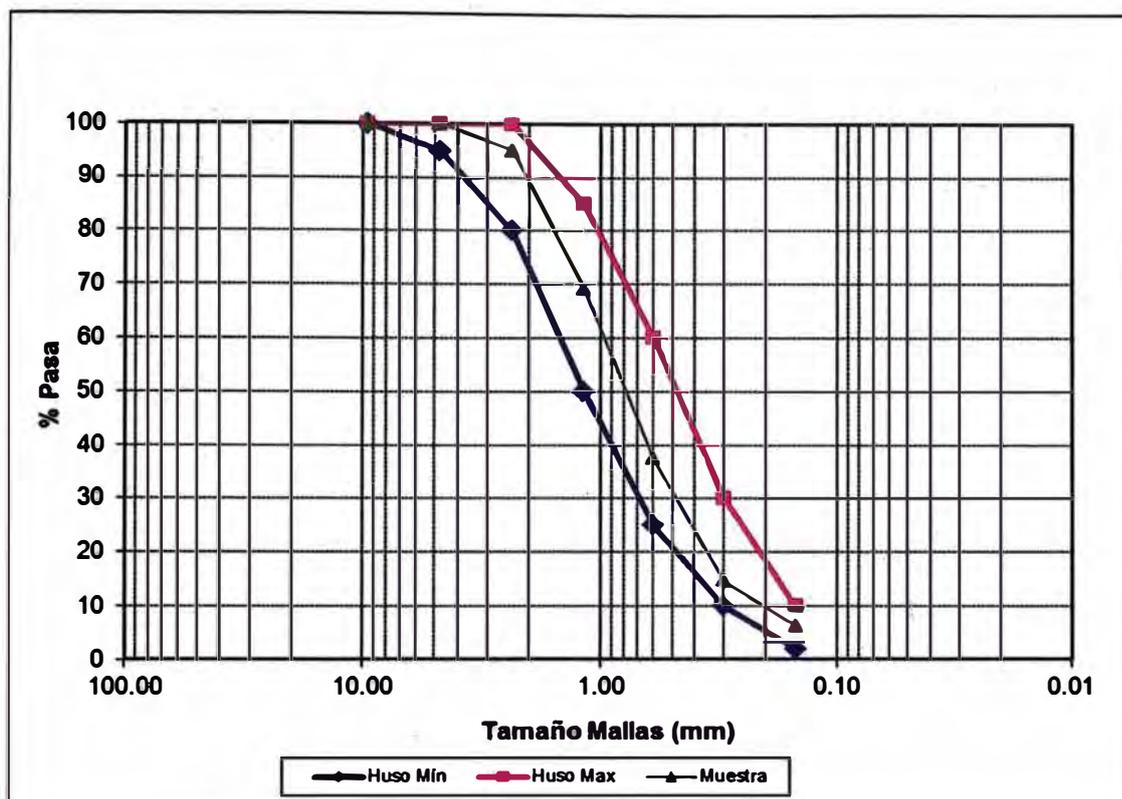


Figura N° 3.6.- Resultado de la curva de granulometría del agregado fino.



Figura N° 3.7.- Acopio aprobado del agregado fino para el diseño del CCR.

3.1.3 Selección del Cemento

La selección del cemento se realizó acorde al uso que se le dará al CCR, por las características y propiedades de este cemento y los requerimientos que se requieren en las presas la cual es propio para ser usado en este tipo de obras. El cemento a ser usado para el diseño del CCR es generalmente de bajo calor de hidratación y se usa como un porcentaje del peso seco del agregado.

El tipo de cementos que se empleó para el diseño del CCR fue el cemento Portland Tipo I (Andino).

La cantidad de cemento por metro cubico que se usó, fue con la finalidad de analizar la resistencia a diferentes edades y evaluar el diseño obtenido con la resistencia requerida, para la presa Pallca, las proporciones de cemento que se usó para cada diseño se muestran en el siguiente Cuadro N° 3.5.

Cuadro N° 3.5.- Cantidad de cemento que se usó para cada diseño de mezcla de CCR.

Cantidad de cemento que se usó para cada diseño (Kg por m3)				
100 Kg	125 Kg	150 Kg	175 Kg	200 Kg

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Selección del Agua

El agua que se usó para el diseño de las mezclas estuvo limpia y libre de contenidos dañinos, esta agua que se usó para el diseño fue del rio Pallca ubicada en el proyecto, antes de su utilización se realizó las pruebas en laboratorio para verificar la calidad de ésta y se verifico que cumpla con las especificaciones técnicas y se aprobó para su uso.

El agua deberá cumplir con los requerimientos químicos para concretos premezclados establecidos en la especificación ASTM C 1602.

3.2 DETERMINACIÓN GRANULOMETRICA DE LA COMBINACION DE LOS AGREGADOS

Para realizar el diseño del CCR, se determinó la granulometría de la mezcla de agregados provenientes de cada una de las granulometrías aprobadas Huso 57, Huso 3 y Arena. Para que la curva se encuentre dentro de los límites de la banda como indica la especificación se realizó la combinación de los agregados gruesos y finos con (22% de huso 3), (40% de huso 57) y (38% de arena), cumpliendo con la gradación comprendida encontrándose en los límites de la banda permitida que se detalla en el siguiente Cuadro N° 3.6.

Cuadro N° 3.6.- Combinación de los agregados gruesos y finos.

Tamices		Material Pasante			Combinación % Pasa	Especificaciones % Pasa	
		Huso 3	Huso 57	Arena		Min %	Max %
Pulg.	mm	22%	40%	38%	%		
2 1/2"	63.000	100.00	100.00	100.00	100.00	99.00	100.00
2"	51.000	87.50	100.00	100.00	97.30	95.00	100.00
1 1/2"	38.000	43.30	100.00	100.00	87.74	87.00	96.00
1"	25.000	7.90	97.70	100.00	79.17	71.00	85.00
3/4"	20.000	0.60	82.10	100.00	71.35	62.00	77.00
1/2"	13.000	0.40	55.80	100.00	60.79	51.00	65.00
3/8"	9.500		40.30	100.00	54.50	44.00	58.00
N° 4	4.750		4.60	100.00	40.22	34.00	46.00
N° 8	2.360		1.20	95.20	37.02	27.00	37.00
N° 16	1.180			69.20	26.56	20.00	29.00
N° 30	0.600			37.50	14.39	14.00	22.00
N° 50	0.300			14.80	5.68	9.00	16.00
N° 100	0.150			6.40	2.46	6.00	11.00
N° 200	0.075				0.00	3.00	9.00

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 3.8 se puede observar que le falta finos para que la curva granulométrica este dentro del límite de la banda de la granulometría, sin embargo la combinación de los agregados fue considerados apropiados para ser utilizados en los diseños. Al realizar la combinación de los tres agregados se determinó el porcentaje de finos de 1.7% pasante la malla N° 200. Pero en las especificaciones del proyecto se ha permitido hasta el 9%, cumpliendo con lo especificado.

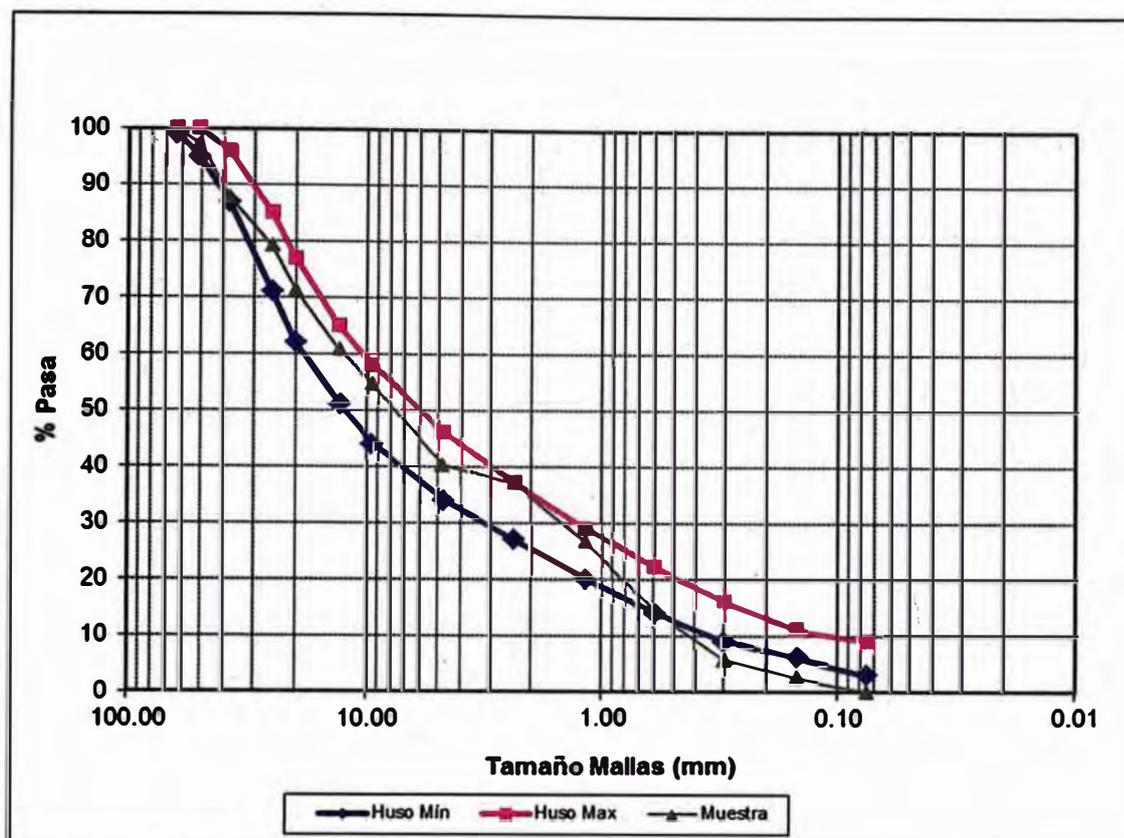


Figura N° 3.8.- Resultado de la curva de la granulometría de la combinación de los tres agregados.

3.3 DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE LA MEZCLA

Las proporciones de los materiales en las mezclas para el diseño del CCR, se calcularon considerando el contenido de humedad para cada tiempo Vebe y por cada contenido de cemento, para determinar las pruebas de consistencia.

Para cada diseño del CCR se determinaron las cantidades para cada material a utilizar. Con estas cantidades de los materiales determinados se realizara la mezcla y se realizara el ensayo de consistencia, en la cual se determinara la característica que debe cumplir el diseño del CCR.

Para determinar la resistencia requerida del diseño se irá aumentando en cada mezcla el contenido de cemento, se iniciara el diseño con 100 kilos de cemento por metro cubico y se irá aumentando cada 25 kilos hasta llegar a 200 kilos de cemento por metro cubico. Los resultados de resistencia obtenidos de cada diseño con diferentes contenidos de cemento, se evaluó la resistencia para cada diseño y se determinó el diseño con el óptimo contenido de cemento de acuerdo a la resistencia.

En cada diseño que se realice se harán los ajustes necesarios por la cantidad de agua utilizada y se realizarán las correcciones por humedad y absorción de los agregados hasta obtener los diseños finales. Para cada diseño de mezclas de CCR se realizó hojas de cálculo donde se muestran en el Anexo 7.

Procedimiento de diseño:

Cuadro N° 3.7.- Propiedades de los materiales para el diseño del CCR.

Materiales	Peso Específico (gr/cm ³)	Humedad (%)	Absorción (%)
Arena	2.61	8.99	2.81
Agregados Huso 57	2.59	1.37	1.65
Agregados Huso 3	2.65	0.69	0.89
Cemento	3.00	-	-

Cálculos:

- Peso específico combinado se determina según la fórmula:

$$\frac{\sum \text{Peso específico} * \% \text{ Agregado}}{100}$$

$$\text{Peso específico combinado} = (2.61 \times 38\% + 2.59 \times 40\% + 2.65 \times 32\%) / 100$$

$$\text{Peso específico combinado} = 2.61 \text{ gr/cm}^3$$

- El volumen inicial del agua se determinó tabulando en la hoja de cálculo del anexo N°7.

$$\text{Volumen de agua inicial} = 162.0 \text{ Litros}$$

$$\text{Volumen de aire} = 1.0\%$$

Los cálculos se determinaran para 100 kg de cemento.

$$\text{Volumen de cemento} = 100 / 3.0 = 0.033 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de cemento} = 33.30 \text{ Litros}$$

- Calculo del volumen de mezcla para un metro cubico de diseño:

$$\text{Volumen parcial} = 1000 - (\text{Vol. Cemento} + \text{Vol. Aire} + \text{Vol. Agua})$$

$$\text{Volumen parcial} = 1000 - (33.3 + 10 + 162.0) = 794.67 \text{ Litros}$$

- Calculo del peso total del agregado para 1 m3:

Peso total agregados= Peso específico combinado * Volumen parcial

Peso total agregados= 2.61 * 794.67 = 2074.83 kg

- Calculo de diseño seco para 1 m3:

Peso de Arena = 38% * 2074.83 = 796.32 kg

Peso de Agregado H57 = 39% * 2074.83 = 819.56 kg

Peso de Agregado H3 = 22% * 2074.83 = 458.95 kg

Cemento = 100.0 kg

Agua = 162.0 Litros

- Cantidad de materiales por 1 m3:

Peso de Arena = 796.32 * (1 + 8.99/100) = 867.90 kg

Peso de Agregado H57 = 819.56 * (1 + 1.37/100) = 830.80 kg

Peso de Agregado H3 = 458.95 * (1 + 0.69/100) = 462.10 kg

Cemento = 100.0 kg

Agua = 116.00 Litros

Siguiendo el mismo procedimiento se determinó los pesos para los 4 diseños con diferentes cantidades de cemento. En el siguiente Cuadro N° 3.8 se muestra las cantidades de material por metro cubico que se utilizó en cada una de las mezclas de diseño con las diferentes cantidades de cemento.

Cuadro N° 3.8.- Resumen de las cantidades de los materiales que se utilizó para los 5 diseños finales.

N° de Mezcla	Cemento (Kg)	Cantidad de material por metro cubico de mezcla (Kg/m3)			
		Arena (Kg)	Agregado Huso 57 (Kg)	Agregado Huso 3 (Kg)	Agua (L)
1	100	867.91	830.80	462.11	116.00
2	125	862.45	826.54	454.34	106.83
3	150	851.06	816.83	449.36	108.90
4	175	833.01	806.17	445.10	121.36
5	200	827.14	798.70	442.85	120.91

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1 Preparación de la Mezcla del CCR

La secuencia de preparación de la mezcla del CCR se procedió con la colocación del agregado grueso y fino en la mezcladora, luego se adiciono el cemento tipo I (se inició para 100 kilos de cemento), se realizó la mezcla por un lapso de tiempo de 2 minutos, finalmente se agrega el agua y se procedió a mezclar por otros 5 minutos para garantizar la adecuada mezcla del concreto como se muestran en la Figura N° 3.9 y Figura N° 3.10.

Para el diseño de cada una de las mezclas del CCR, el proceso de mezclado fue mecánico para la cual se utilizó una mezcladora tipo trompo de capacidad de 0.25 m³. Para cada una de las mezclas se prepararon 18 probetas de concreto y se tomó una consistencia para un tiempo Vebe de 18 a 25 segundos conforme a las especificaciones del proyecto.



Figura N° 3.9.- Colocación de los materiales (agregado grueso, fino, cemento y agua) en la mezcladora tipo trompo de 0.25m³.



Figura N° 3.10.- El CCR luego de terminado el mezclado es vaciado de la mezcladora donde se observa consistencia seca.

3.3.2 Ensayo de Consistencia Para la Determinación del Tiempo Vebe

Para determinar la consistencia de esta prueba se realizara como indica la norma ASTM C 1170 (Método de Ensayo Estándar para Determinación de la Consistencia y la Densidad del Concreto Compactado con Rodillo), este método de ensayo es usado para determinar la consistencia del concreto mediante el equipo Consistómetro Vebe y la densidad del concreto consolidado. La consistencia es medida como el tiempo requerido para que una masa dada de concreto se consolide por vibración en un molde de forma cilíndrica.

Este método de ensayo es empleando un agregado con tamaño máximo nominal de 2 pulg. (50 mm) Si el concreto tiene agregado con tamaño mayor de 2 pulg., la muestra deberá ser obtenida por tamizado húmedo sobre una malla de 2 pulg. (50 mm) como se muestra en la siguiente Figura N° 3.11.



Figura N° 3.11.- Tamizado de la mezcla con el tamiz de 2 pulg. para el ensayo de consistencia y elaboración de las probetas.

Procedimiento:

1. Obtener una muestra representativa de concreto con una masa mínima de 22.7 Kg (50 lb).
2. Humedecer el interior del molde y llenarlo con concreto (como se muestra en la Figura N° 3.12) con 13.4 ± 0.7 Kg (29.5 ± 1.5 lb) de concreto. Usando una pala de punta cuadrada y varilla apisonadora, se coloca y distribuya el concreto emparejando para evitar la segregación, nivelar la superficie del concreto suelto.



Figura N° 3.12.- Colocación y nivelación de la mezcla de concreto en el equipo consistometro para determinar el tiempo Vebe.

3. Asegurar el molde en la mesa vibratoria ajustando las tuercas de mariposa. Deslizar el eje de la masa de la sobrecarga a través de la manga guía y rotar la sobrecarga a su posición centrada sobre el molde, asegurándose que entrará en el recipiente cuando sea liberado. La sobrecarga puede ser bajada dentro del molde durante este proceso para ajustar la posición del molde pero esta no será colocada sobre el concreto. Asegure las tuercas de mariposa de la mesa Vebe para prevenir que se suelte durante el ensayo.
4. Bajar suavemente la sobrecarga (como se muestra en la Figura N° 3.13) sobre la superficie del concreto.

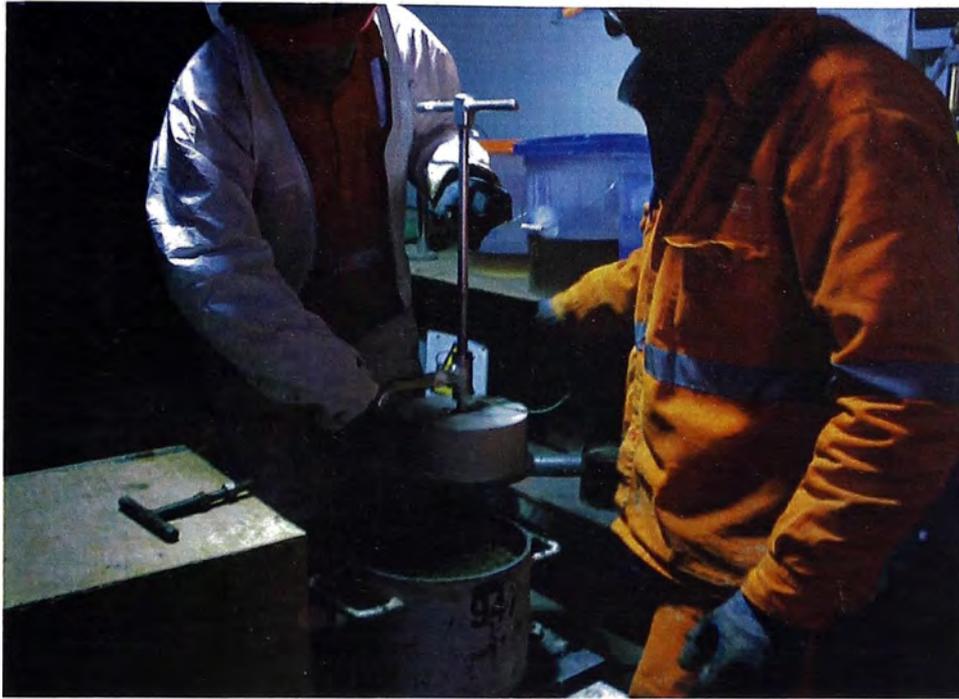


Figura N° 3.13.- Colocación de sobrecarga sobre el concreto para determinar el tiempo Vebe.

5. Encender el vibrador y el cronometro. Usando la linterna, observe el concreto en el espacio anular entre el borde exterior de la sobrecarga y la pared interior del molde. Observe el mortero hasta que se forme un anillo alrededor del perímetro total de la sobrecarga. Cuando se forme el anillo de mortero (como se muestra en la Figura N° 3.14) completamente alrededor de la sobrecarga parar el vibrador y el cronómetro; se determine el tiempo transcurrido al más cercano, minuto y segundo. Registre este tiempo como el tiempo de consistencia Vebe. Si el anillo de mortero no se forma después de 2 minutos de vibración, se para el vibrador y el cronometro; registrar esta condición en el reporte.



Figura N° 3.14.- Se observa la formación del anillo de mortero sobre el borde exterior y se determina el tiempo Vebe.

Se observa la formación del anillo de mortero en todo alrededor del molde, determinándose la consistencia del concreto y el tiempo Vebe que variara entre 18 y 25 segundos en todas las proporciones de las mezclas de diseño.

3.4 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO DEL CCR

La preparación de las probetas del CCR se hará utilizando un equipo según la norma ASTM C1435, en tres capas compactadas de 10 cm cada una. La capa suelta será de 13 cm y tendrá un tiempo de compactado entre 18 y 25 segundos. Se realizara la preparación de 3 cilindros de CCR para cada edad de rotura a 3, 7, 14, 28, 60 y 90 días haciendo un total de 18 probetas. Para la preparación de las probetas se usará un martillo vibratorio eléctrico, equipado con un eje y una placa circular.

Procedimiento:

1. Una vez preparado los moldes se sujeta mediante abrazaderas o grapas a una base rígida y plana o permanentemente en el pie de soporte y centre el martillo vibratorio para que el borde de la placa golpeadora no toque las paredes del molde. Bajar el martillo vibratorio dentro del molde para verificar el espacio apropiado.

2. Colocar suficiente concreto en el molde para que sea llenado a un tercio de su volumen aproximadamente 13 cm de altura, después de su consolidación, use una varilla para distribuir el concreto. Durante el relleno use palas de punta cuadrada y cucharones para obtener una muestra representativa y maneje el concreto de tal manera que el agregado grueso de tamaño mayor no sea separado del mortero.
3. Coloque el martillo vibratorio con la placa apisonadora sobre el concreto e inicie la vibración permitiendo que el concreto se consolide bajo la placa golpeadora como se muestra en la Figura N° 3.15. Observe el concreto en el espacio anular entre el borde de la placa golpeadora y la pared interna del molde. Como el concreto se consolida, el mortero debe de rellenar el espacio entre el borde externo de la placa golpeadora y la pared interna del molde. Observe el mortero hasta que forme un anillo alrededor del perímetro total de la placa golpeadora. Cuando el anillo de mortero se forme completamente alrededor de la placa, se para el martillo vibratorio.



Figura N° 3.15.- Preparacion de las probetas de concreto en tres capas utilizando el martillo vibratorio.

4. Si una significativa porción del anillo de mortero no se forma después de 25 segundos, el martillo vibratorio debe ser parado y la siguiente capa de concreto adicionada.

5. Repetir el procedimiento anterior para la segunda capa de concreto, rellene el molde aproximadamente a dos tercios de su volumen. Para la tercera capa, sobrellene el molde mediante el uso de un collarín encima del borde superior del molde como se muestra en la Figura N° 3.16. De nuevo, coloque la placa golpeadora en el concreto suelto y se procede a consolidarlo. Si la placa golpeadora consolida el concreto debajo del nivel superior del molde, apague el martillo vibratorio. Coloque concreto adicional en el molde de manera que, cuando se consolide, el concreto estará 3 mm (1/8 pulg.) sobre el borde superior del molde.



Figura N° 3.16.- Compactación de la última capa con un collarín encima del borde superior del molde y compactando con el martillo vibratorio.

Los ensayos en las muestras de concreto deberán ser completados dentro de los 45 minutos después de completar el mezclado según como especifica la ASTM C1435.

3.5 CURADO DE LAS PROBETAS

Se realizará el curado inicial de las probetas de CCR una vez terminado la preparación de las probetas, para que las propiedades del concreto se mantengan y no se vean afectadas; para nuestro caso el curado inicial que se les dará a las probetas de CCR según la norma ASTM C 511, será en una cámara húmeda preparada y acondicionada adecuadamente con medidores de

humedad y estufas para el control de la humedad y se controlara la temperatura, como se muestra en la Figura N° 3.17.



Figura N° 3.17.- Poza húmeda implementada para el curado de las probetas de CCR.

Luego de las 24 horas de curado en la cámara húmeda se procederá a retirar los moldes de las probetas para continuar el curado en una poza con agua según la Norma ASTM C 192 (Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo), el cual serán curados (como se muestra en la Figura N° 3.18, manteniendo una temperatura de $(23.0 \pm 2.0 \text{ }^\circ\text{C})$, desde el momento del desmoldado hasta el momento del ensayo a compresión.



Figura N° 3.18.- Curado de las probetas de CCR en la poza de agua controlando la temperatura.

3.6 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El proceso de resistencia de compresión de las probetas se realizará según la norma ASTM C 39, antes de la compresión de las probetas propiamente, se deja como mínimo por 3 horas que las probetas se oreen, luego se coloca el producto de encabezado o refrentado en las caras superior e inferior siguiendo la norma ASTM C 617. En la Figura N° 3.19 se muestra la colocación de refrentado (Capping) en ambas caras de las probetas.



Figura N° 3.19.- Refrentado de las probetas en la cara superior e inferior.

La resistencia a la compresión de las probetas de concreto será utilizada para satisfacer los requerimientos del diseño del CCR. Para el diseño de la presa Pallca se requiere ensayos de resistencias a 3, 7, 14, 28, 60 y 90 días.

En la siguiente Figura N° 3.20 se muestra el ensayo de resistencia a la compresión a las probetas del CCR y en el Cuadro N° 3.9 se muestran los resultados de las resistencias a compresión de las probetas del CCR.



Figura N° 3.20.- Ensayo de resistencia a la compresión de las probetas de CCR a diferentes edades.

Cuadro N° 3.9.- Resultado de resistencia a la compresión de probetas.

N° Probeta	Código de diseño	Edad (días)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg-f)	Resistencia alcanzada (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	f'c (%)
1	CCR-100	3	30.40	15.18	181.0	5620	31.1	32.2	26.8
2	CCR-100	3	30.70	15.22	181.9	5990	32.9		
3	CCR-100	3	30.50	15.20	181.5	5920	32.6		
4	CCR-100	7	30.60	15.27	183.1	8060	44.0	42.3	35.2
5	CCR-100	7	30.70	15.26	182.9	7400	40.5		
6	CCR-100	7	30.50	15.26	182.9	7750	42.4		
7	CCR-100	14	30.40	15.30	183.9	9660	52.5	49.4	41.2
8	CCR-100	14	30.30	15.20	181.5	8520	47.0		
9	CCR-100	14	30.30	15.12	179.6	8760	48.8		
10	CCR-100	28	30.60	15.29	183.6	9650	52.6	54.1	45.1
11	CCR-100	28	30.50	15.31	184.1	9960	54.1		
12	CCR-100	28	30.60	15.32	184.3	10250	55.6		
13	CCR-100	60	30.50	15.16	180.5	12350	68.4	66.7	55.6
14	CCR-100	60	30.60	15.33	184.6	11770	63.8		
15	CCR-100	60	30.60	15.22	181.9	12370	68.0		
16	CCR-100	90	30.60	15.17	180.7	13760	76.1	86.6	72.2
17	CCR-100	90	30.40	15.19	181.2	13660	75.4		
18	CCR-100	90	30.20	15.19	181.2	19640	108.4		
1	CCR-125	3	30.60	15.32	184.3	8780	47.6	47.6	39.7
2	CCR-125	3	30.60	15.32	184.3	8830	47.9		
3	CCR-125	3	30.70	15.32	184.3	8710	47.3		
4	CCR-125	7	30.60	15.29	183.6	12350	67.3	68.6	57.2
5	CCR-125	7	30.50	15.27	183.1	13180	72.0		
6	CCR-125	7	30.40	15.33	184.6	12310	66.7		
7	CCR-125	14	30.70	15.35	185.1	14400	77.8	75.9	63.2
8	CCR-125	14	30.50	15.25	182.7	13980	76.5		
9	CCR-125	14	30.70	15.33	184.6	13530	73.3		
10	CCR-125	28	30.70	15.27	183.1	16080	87.8	91.7	76.5
11	CCR-125	28	30.50	15.29	183.6	16470	89.7		
12	CCR-125	28	30.30	15.24	182.4	17830	97.7		
13	CCR-125	60	30.50	15.35	185.1	19190	103.7	111.5	92.9
14	CCR-125	60	30.60	15.30	183.9	21760	118.4		
15	CCR-125	60	30.40	15.28	183.4	20610	112.4		
16	CCR-125	90	30.50	15.28	183.4	21080	115.0	117.1	97.6
17	CCR-125	90	30.60	15.33	184.6	21160	114.6		
18	CCR-125	90	30.80	15.30	183.9	22380	121.7		

N° Prob eta	Código de diseño	Edad (días)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm²)	Carga (kg-f)	Resistencia alcanzada (Kg/cm²)	Promedio (Kg/cm²)	f'c (%)
1	CCR-150	3	30.80	15.34	184.8	10040	54.3	55.9	46.6
2	CCR-150	3	30.60	15.32	184.3	10760	58.4		
3	CCR-150	3	30.80	15.32	184.3	10160	55.1		
4	CCR-150	7	30.60	15.28	183.4	16120	87.9	89.2	74.3
5	CCR-150	7	30.70	15.31	184.1	16530	89.8		
6	CCR-150	7	30.60	15.30	183.9	16510	89.8		
7	CCR-150	14	30.70	15.33	184.6	19170	103.9	105.1	87.6
8	CCR-150	14	30.70	15.34	184.8	19510	105.6		
9	CCR-150	14	30.60	15.34	184.8	19570	105.9		
10	CCR-150	28	30.10	15.18	181.0	23800	131.5	132.1	110.1
11	CCR-150	28	30.50	15.25	182.7	23920	131.0		
12	CCR-150	28	30.60	15.26	182.9	24480	133.8		
13	CCR-150	60	30.30	15.30	183.85	29270	159.2	157.9	131.6
14	CCR-150	60	30.40	15.29	183.61	29360	159.9		
15	CCR-150	60	30.60	15.30	183.85	28430	154.6		
16	CCR-150	90	30.50	15.23	182.2	32310	177.4	167.8	139.9
17	CCR-150	90	30.50	15.20	181.5	28920	159.4		
18	CCR-150	90	30.40	15.26	182.9	30500	166.8		
1	CCR-175	3	30.70	15.29	183.6	8040	43.8	48.6	40.5
2	CCR-175	3	30.50	15.24	182.4	9120	50.0		
3	CCR-175	3	30.60	15.34	184.8	9600	51.9		
4	CCR-175	7	30.90	15.28	183.4	19540	106.6	96.6	80.5
5	CCR-175	7	30.80	15.31	184.1	18460	100.3		
6	CCR-175	7	30.80	15.31	184.1	15290	83.1		
7	CCR-175	14	30.80	15.25	182.7	19770	108.2	110.1	91.7
8	CCR-175	14	30.70	15.31	184.1	20760	112.8		
9	CCR-175	14	30.50	15.30	183.9	20070	109.2		
10	CCR-175	28	30.40	15.28	183.4	27840	151.8	155.5	129.6
11	CCR-175	28	30.50	15.27	183.1	27150	148.3		
12	CCR-175	28	30.40	15.26	182.9	30460	166.5		
13	CCR-175	60	30.60	15.25	182.7	27590	151.1	159.1	132.5
14	CCR-175	60	30.50	15.30	183.9	29130	158.4		
15	CCR-175	60	30.50	15.30	183.9	30830	167.7		
16	CCR-175	90	30.50	15.30	183.9	33380	181.6	186.0	155.0
17	CCR-175	90	30.50	15.26	182.9	32130	175.7		
18	CCR-175	90	30.60	15.28	183.4	36840	200.9		

N° Prob eta	Código de diseño	Edad (días)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg-f)	Resistencia alcanzada (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	f'c (%)
1	CCR-200	3	30.70	15.44	187.2	19180	102.4	100.0	83.3
2	CCR-200	3	30.70	15.30	183.9	16720	90.9		
3	CCR-200	3	30.70	15.30	183.9	19580	106.5		
4	CCR-200	7	30.80	15.35	185.1	24350	131.6	138.6	115.5
5	CCR-200	7	30.70	15.31	184.1	23830	129.4		
6	CCR-200	7	30.80	15.34	184.8	28590	154.7		
7	CCR-200	14	30.70	15.33	184.6	29430	159.4	172.1	143.4
8	CCR-200	14	30.40	15.32	184.3	32460	176.1		
9	CCR-200	14	30.50	15.34	184.8	33420	180.8		
10	CCR-200	28	30.50	15.24	182.4	42230	231.5	234.0	195.0
11	CCR-200	28	30.50	15.25	182.7	44480	243.5		
12	CCR-200	28	30.50	15.26	182.9	41500	226.9		
13	CCR-200	60	30.70	15.29	183.6	49160	267.7	258.9	215.7
14	CCR-200	60	30.60	15.19	181.2	50860	280.7		
15	CCR-200	60	30.40	15.25	182.7	41700	228.3		
16	CCR-200	90	30.70	15.25	182.7	47420	259.6	272.7	227.2
17	CCR-200	90	30.80	15.29	183.6	50060	272.6		
18	CCR-200	90	30.70	15.25	182.7	52210	285.8		

Fuente: Laboratorio de suelos y concreto de la Central Hidroeléctrica Huanza.

CAPÍTULO IV: PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN DEL CCR A PRESAS

El procedimiento de aplicación de la mezcla de CCR a presas se producirá en plantas dosificadoras de gran capacidad cerca de la obra y se entrega por camión y/o bandas (cintas) transportadoras y se la extiende con la máquina niveladora de oruga (bulldozer), seguido de la compactación con rodillos vibratorios de 10 Ton que es común para la compactación en presas. En la cara de aguas arriba se reviste con un concreto convencional que contiene aire incluido para los cambios y variaciones de temperaturas y resistencias más elevadas, el concreto convencional se realiza la colocación mediante encofrado con paneles, a fin de mejorar la impermeabilidad, resistencia, durabilidad y el acabado.

En la siguiente Figura N° 4.2 se muestra el esquema del procedimiento de producción en la planta, el transporte mediante camiones o cintas transportadoras, la colocación, expandido del material y compactación del CCR y en la Figura N° 4.1 se muestra los procesos de colocación del CCR.

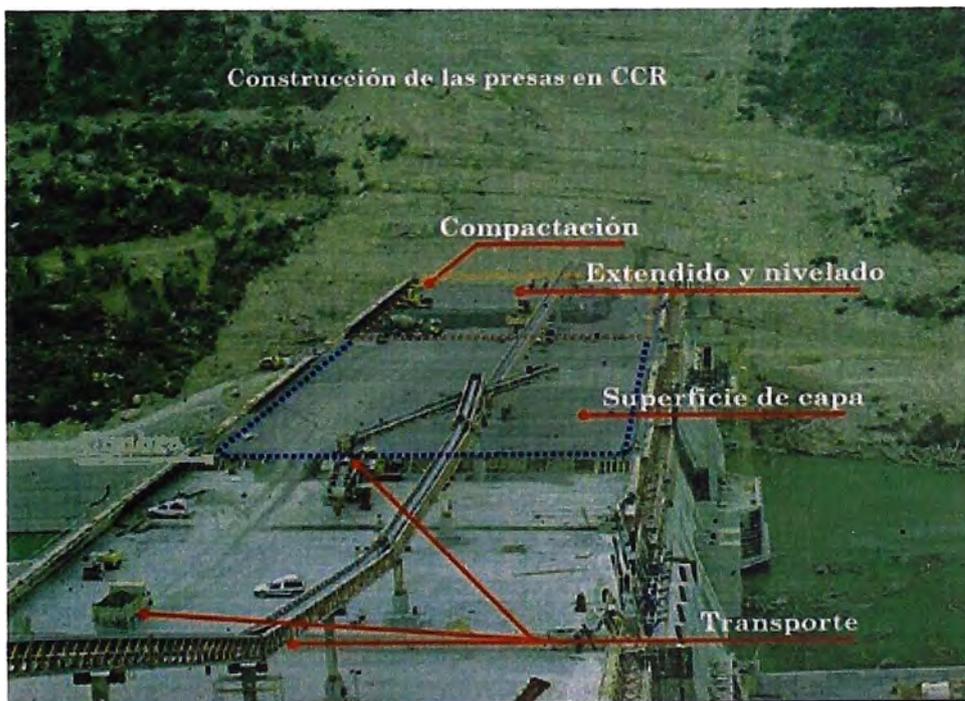


Figura N° 4.1.- Proceso del transporte, colocación, expandido y compactación del concreto compactado con rodillo.

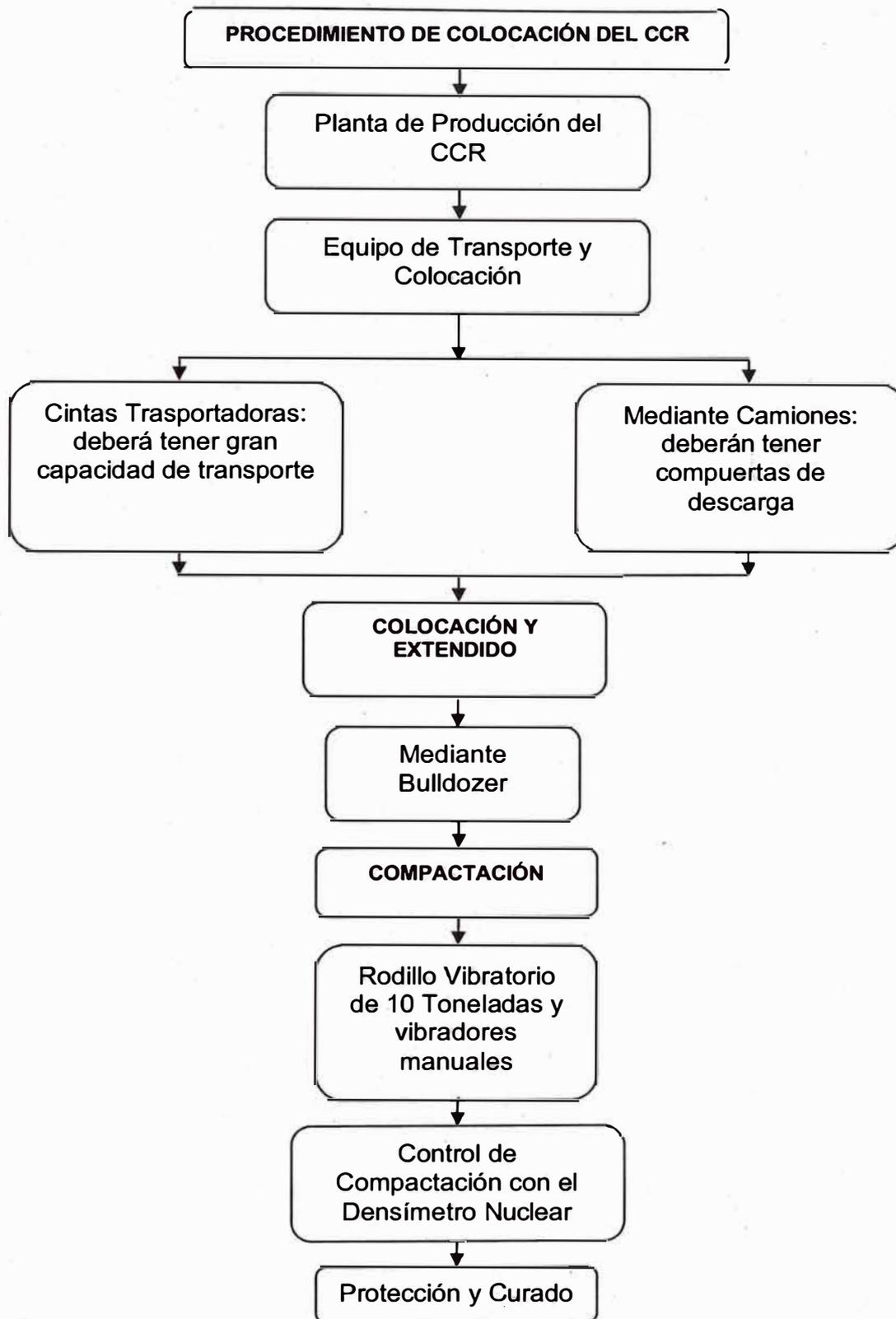


Figura Nº 4.2.- Esquema del proceso de colocación del concreto compactado con rodillo vibratorio en presas.

4.1 PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DEL CCR

4.1.1 Descripción de la Planta

La planta incluirá todas las mezcladoras necesarias, el sistema de control de pesos y volúmenes, silos, tolvas de almacenamiento, sistemas de alimentación, sistema de descarga, espacio necesario para el tránsito de los camiones de transporte del cemento, y tanques de agua. Antes del inicio de los trabajos del CCR, se deberá tener información de la configuración de la planta acompañados de una descripción donde se especifique las capacidades pico y normales anticipadas de producción. También deberá incluir la configuración y descripción de los métodos de manejo de agregados y los equipos de mezclado, transporte, colocación, compactación, curado, protección y limpieza del CCR.

La planta a ser utilizada en los proyectos de presas deberá ser de tipo de operación continuo y deberá tener la capacidad de producir rutinariamente y consistentemente mezclas de CCR con agregado seco y con tamaño máximo de 2 ½ pulg. El tipo de la Planta deberá tener un funcionamiento satisfactorio demostrado en la producción de mezclas de CCR para los proyectos.



Figura N° 4.3.- Planta de producción para la mezcla del CCR.

La capacidad de producción de la planta deberá ser eficiente para satisfacer el sistema de transporte del CCR; el objetivo de este aumento de capacidad es el de minimizar la probabilidad de juntas frías. Cuando no existan restricciones o retrasos atribuidos al mal funcionamiento de las mezcladoras. En la siguiente Figura N°4.3 se muestra la planta de producción del CCR.

4.1.2 Tolvas y Silos

Se deberá utilizar varias tolvas o una tolva con compartimientos independientes para cada fracción de agregados (para agregados gruesos y agregado fino). También deberá utilizar silos para el almacenamiento de cemento transportado a granel. Estos silos y compartimientos deberán ser lo suficientemente amplios y contruidos de tal manera que se pueda mantener varios materiales separados bajo cualquier condición de trabajo. Las tolvas para agregados deberán estar provistas de paredes laterales con pendientes fuertes, aberturas amplias para compuertas y deberán tener una capacidad suficiente para conducir agregados húmedos sin atascarse.

4.1.3 Dosificadores de Cemento y Agregados

La entrega de cemento y agregados a la planta de mezclado continuo deberá hacerse por medio de cintas u otro método aceptable de una manera uniforme, continúa y simultánea; Y con las proporciones adecuadas para obtener la mezcla deseada. Los controles de dosificación pueden ser por volumen o por peso. La alimentación del agregado deberá realizarse con una sola cinta desde las tolvas de almacenamiento que contengan las diferentes fracciones de agregados. En caso de utilizar tolvas, estas alimentarán la cinta de transporte por medio de una abertura localizada en la parte inferior de la tolva. La cara de retorno de todas las cintas deberá permanecer limpia. Todas las aberturas de las tolvas y silos deberán estar provistas de compuertas las que deberán poder establecer un tamaño de abertura que corresponda a la velocidad de alimentación adecuada. Las tolvas deberán permanecer llenas y ser lo suficientemente grandes para asegurar un flujo continuo de agregados a una velocidad constante. Se deberá prestar especial cuidado en asegurar este flujo continuo para agregados que se encuentren muy húmedos y contengan alto contenido de finos. El cemento debe ser dosificado continuamente ya sea ajustando la velocidad de la cinta o controlando la velocidad de alimentación. El equipo de alimentación de cemento deberá entregar el material consistente y uniformemente aún a bajos rendimientos de dosificación (50 Kg/m³), y podrá ser ajustado gradualmente mientras se encuentre en operación. En el caso en que no se logre una operación de mezcla de acuerdo a la precisión, consistencia y calidad exigida de estas especificaciones, el equipo de alimentación deberá estar provisto de compuertas que automáticamente corrijan el tamaño de la abertura de

alimentación y/o cintas alimentadoras con controles electrónicos y sensores de peso instalados en las propias cintas.

4.1.4 Tanques de Almacenamiento de Agua y Dispensadores

La planta deberá estar provista de dispensadores que suministren el agua de la mezcla de acuerdo a los requerimientos especificados. El mecanismo de entrega del agua a la mezcladora deberá estar libre de fugas o filtraciones. El equipo de medida podrá ser un medidor de flujo activado volumétricamente. Este aparato deberá permitir la lectura o la conversión de agua adicionada a kilogramos por metros cúbicos de concreto. Las válvulas de control de agua podrán ajustarse gradualmente durante el proceso de mezclado para compensar los diferentes contenidos de humedad de los agregados.

4.1.5 Dispensador de Aditivos

Se utiliza una planta mezcladora que tenga la capacidad de dosificar los aditivos especificados en las especificaciones. Se podrá permitir el uso de estos aditivos en caso de estar en el diseño. El uso de estos aditivos dependerá de las condiciones del sitio en el momento de la colocación del CCR.

4.2 EQUIPO DE TRANSPORTE Y COLOCACIÓN

El sistema de transporte del CCR podrá hacerse por medio de cintas o con camiones.

El CCR deberá ser colocado tan rápido como la práctica lo permita y con métodos que tengan control para la segregación, contaminación y secado. El procedimiento detallado de los métodos y equipos de manejo, transporte y colocación del CCR se mencionan a continuación.

4.2.1 Cintas Transportadoras

En caso de utilizarse un sistema de cintas para transportar el CCR, éste sistema deberá tener la capacidad de ser operado a altas velocidades, (hasta 4m/seg) sin causar segregación en los materiales, El ancho mínimo de las cintas deberá ser de 0.60 metros. El sistema se deberá operar manteniendo un adecuado número de personal de mantenimiento en el sitio, así como un adecuado número

de partes a utilizarse en el mantenimiento y reparación del sistema. Todo el sistema de cintas deberá instalarse y estar en operación antes de comenzar la producción y colocación del CCR en la presa.

El equipo de transporte deberá estar diseñado de tal manera que su funcionamiento sea continuo y con pocas interrupciones causadas por operaciones de mantenimiento. Las cintas de retomo del sistema se deberán mantener completamente limpias durante el transporte del CCR. En la siguiente Figura N° 4.4 se muestran el sistema de transporte del CCR mediante cintas transportadoras.



Figura N° 4.4.- Colocación de CCR mediante cintas transportadoras.

4.2.2 Camiones

Los camiones deberán tener compuertas de descarga con las cuales se pueda controlar la descarga del CCR sin causar segregación. Cualquier material segregado deberá ser retirado a mano y deberá ser re-mezclado durante el extendido del CCR. Los camiones se mantendrán en excelentes condiciones de operación, y no se permitirá que tengan derrames de material, escapes de aceite, grasa o cualquier otro contaminante visible sobre el CCR. Todos los camiones deberán ser operados de tal manera que no se hagan cambios abruptos de dirección, paradas repentinas, u otras maniobras que puedan afectar la calidad de la superficie del CCR.

En caso que los camiones deban transitar por zonas ajenas a las capas de CCR, se deberá proveer un sistema de lavado de las ruedas por agua y aire a presión para evitar la contaminación del CCR con lodos, arcillas o sustancias extrañas.



Figura N° 4.5.- Traslado y colocación del CCR mediante camiones.

4.3 COLOCACIÓN Y EXTENDIDO

4.3.1 Altura de Colocación de las Capas del CCR

La presa deberá ser construida por capas vaciadas uniformemente y continuamente sobre el área horizontal completa de la presa. Para la construcción de capas se realiza con una altura mínima de 0.3m. Para efectos de inspección, mejor compactación del CCR y como la especificación lo permita. En la siguiente Figura N° 4.5 se muestra el transporte del CCR mediante camiones.

4.3.2 Colocación y Extendido del CCR

El CCR deberá ser entregado en el área donde va a ser extendido. En caso de utilizar camiones, estos deberán estar provistos de dispositivos de extendido que eviten la segregación. El CCR deberá ser colocado en contacto con CCR fresco preferentemente recién vaciado y no sobre el material no compactado que haya estado durante más tiempo sobre la superficie. En caso de utilizar cintas, estas deberán descargar el CCR de una forma continua con desplazamiento lateral y longitudinal de tal manera que no se produzca segregación ni altos apilamientos de CCR.

Generalmente la mezcla de CCR debe ser extendida dentro de un periodo máximo de 15 minutos contados a partir del momento en que la mezcla haya sido colocada sobre la superficie. Se puede dar incremento en este tiempo siempre y cuando se obtengan resultados satisfactorias. La mezcla se extenderá formando una capa uniforme con un espesor tal que el espesor final después de la compactación sea de 30 cm. En proyectos similares se encontró que un espesor de capa de 36 cm antes de la compactación resulta adecuado para que el espesor una vez compactado resulte de 30 cm, pero este valor deberá ser ajustado en la sección de prueba.

Cuando el CCR se extiende sobre la mezcla de pega, la mezcla de CCR deberá ser extendida y compactada durante un período máximo de 2 horas contadas a partir del momento en que la mezcla de pega fue fabricada.

El extendido del CCR debe realizarse por un equipo con orugas. No se permitirá el uso de equipos con llantas de caucho para el extendido del CCR. Los equipos de orugas harán la nivelación y compactación inicial al pasar las orugas sobre la superficie extendida, como se muestra en la siguiente Figura N° 4.6. Esto se hará en la medida que la especificación lo permita.

Los equipos de extendido tendrán operadores hidráulicos que permitan la inclinación vertical y transversal de la cuchilla en seis posiciones. En general, el equipo de extendido deberá operarse solo sobre material sin compactar y no se permitirá su desplazamiento o giro sobre una superficie recién compactada de CCR. El extendido del CCR se hará sin causar segregación. En caso de que agregados grandes rueden o se generen por los lados de la capa extendida, este material deberá, ser re-mezclado o removido. El agregado grande que se segrega por los lados de la capa extendida puede ser recogido por obreros con palas planas para luego ser depositados en la capa extendida sin compactar. Todo el equipo deberá mantenerse en excelentes condiciones de operación sin escapes de aceite, grasa u otro contaminante visible. No se permitirá el extendido de CCR sobre una superficie de calidad pobre, sujeta a pruebas y con posibilidad de ser rechazada.



Figura N° 4.6.- Extendido de la mezcla del CCR con equipos de oruga (Bulldozer).

4.4 COMPACTACIÓN

4.4.1 Compactación con Rodillo Vibratorio

La capa de CCR debe ser compactada con el equipo rodillo vibratorio, el número de pasadas se determinara en la sección de prueba antes de iniciar los trabajos. El recorrido de ida y vuelta realizado por el equipo es considerado como dos pasadas.

En áreas adyacentes a los estribos y en cualquier otra área que no pueda ser compactada por el rodillo vibratorio se utilizarán rodillos vibratorios manuales y/o compactadores manuales. Los rodillos no deberán vibrar hasta que estén en movimiento. Todo el equipo de compactación deberá permanecer en buenas condiciones. No se permitirá el uso de rodillos que tengan goteos o fugas de aceite u otro tipo de contaminante visible sobre el CCR. Los extremos de las capas deben de ser compactadas de acuerdo a los tiempos establecidos anteriormente. El extendido y compactado deberá hacerse de tal manera que la superficie compactada resulte con un mínimo número de marcas proporcionadas por el borde del rodillo. En la siguiente Figura N° 4.7 se muestra el proceso de compactación del CCR.

Características del Rodillo Vibratorio:

Los rodillos vibratorios deben transmitir un impacto dinámico a la superficie por medio de un cilindro de acero con pesas giratorias, ejes excéntricos o cualquier otro sistema equivalente. El rodillo deberá tener una masa bruta de por lo menos

10 toneladas produciendo una fuerza dinámica de por lo menos 8,5 Kg por milímetro de ancho del tambor a la frecuencia de operación que se utilice durante la construcción. El rodillo deberá tener una frecuencia de vibración de por lo menos 1500 ciclos por minuto. El tambor del rodillo deberá tener entre 1.2 y 2,0 metros de diámetro y de 1,5 a 2,5 metros de ancho. El rodillo deberá operarse a una velocidad que no sobrepase los 2,5 km/h. El motor del rodillo que acciona la masa excéntrica deberá tener una capacidad mayor a 125 caballos de fuerza dentro del rango de la capacidad de operación del equipo, se permitirán variaciones en la frecuencia y en la velocidad de operación que permitan obtener densidades mayores y un rendimiento más alto de producción. Durante toda la construcción del CCR deberán permanecer a tiempo completo en el área de trabajo por lo menos dos rodillos vibratorios, que cumplan con todos los requerimientos de estas especificaciones y que estén en buenas condiciones de operación.

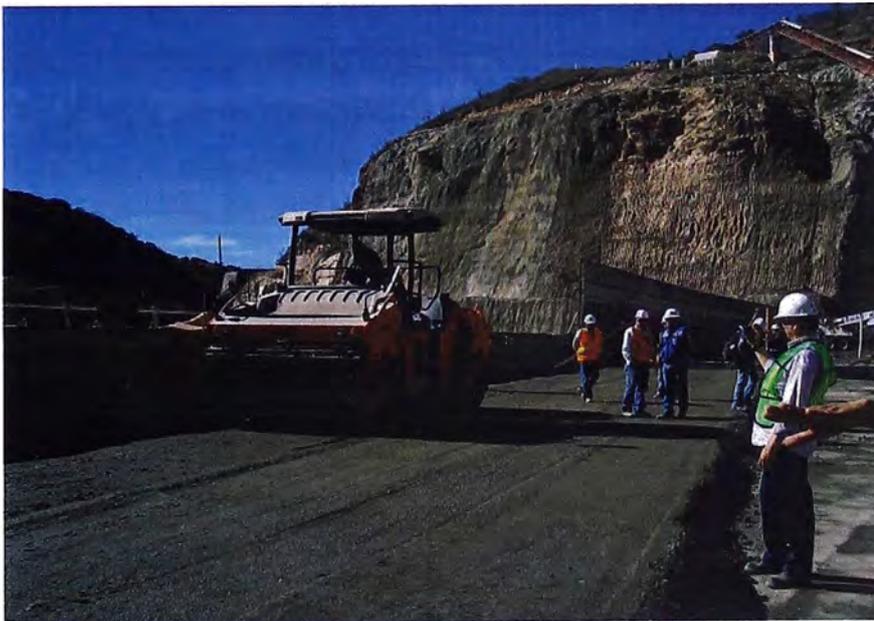


Figura N° 4.7.- Compactación de la mezcla de CCR con rodillo vibratorio.

4.4.2 Control de Calidad y Toma de Muestras

Durante el proceso de producción del CCR se realizara el control de calidad, toma de muestras del concreto y control de temperatura del concreto, al salir de la planta se realizara ensayos de consistencia para determinar el tiempo Vebe y se realizara la elaboración de las probetas de concreto.

En la colocación en campo se realizara el control de la compactación del CCR, se verificara la densidad mediante densímetro nuclear según ASTM C 1040 sobre un área de 100 m² utilizando el promedio de pruebas hechas en tres puntos localizados dentro de dicha área. Para que la densidad del CCR compactado resulte satisfactoria se debe cumplir simultáneamente que:

- El promedio de las lecturas hechas en 3 puntos y un área de 100 m² sea igual o mayor que el 98% de la densidad mínima establecida.
- Ningún valor individual sea menor al 95% de la densidad mínima establecida.
- El promedio de la densidad en cada prueba será determinado de lecturas tomadas en tres diferentes profundidades de la capa; en la parte inferior a media altura, y aproximadamente a 75 mm por debajo de la parte superior de la capa.

Adicional al control del grado de compactación, también se realizan extracciones de núcleos de la capa compactada para determinar su densidad y la resistencia a la compresión simple de dichos núcleos. Así mismo, se realizan muestreos de la mezcla en el lugar de construcción de la capa del CCR, para elaborar probetas de concreto del CCR que permitan verificar la resistencia a diferentes edades de curado. En la siguiente Figura N°4.8 se muestra el ensayo con el densímetro nuclear para el control de la compactación del CCR.



Figura N° 4.8.- Control de la compactación en campo con el densímetro nuclear.

4.4.3 Compactadores de Potencia y Apisonadores Pequeños

Los compactadores de potencia, los apisonadores mecánicos y los rodillos vibratorios pequeños deberán ser similares al tipo "Dynapac LT80", "Dynapac LP850P", "Case W100" o "Wacker BS65Y". 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, y todas las otras áreas donde el rodillo vibratorio no pueda ser maniobrado, la fuerza dinámica producida por los rodillos pequeños deberá ser mayor a 3,5 Kg por milímetro de ancho del cilindro para rodillos de dos cilindros, y mayor a 5.3 Kg por milímetro de ancho del cilindro para rodillos de un cilindro. Los apisonadores mecánicos deberán operar a un mínimo de 1500 golpes por minuto creando una fuerza mayor a 800 Kg por golpe y con una presión mínima de 1,7 Kg/cm². Donde se utilicen equipos pequeños, la compactación requerida será aquella que produzca una densidad promedio mayor que el 98 por ciento de la densidad que se lograría con los rodillos vibratorios. Se deberá tener disponible apisonadores mecánicos y compactadores de placa en buenas condiciones en cada área de vaciado que precise su uso (por ejemplo, en la cara aguas arriba y lateral de la presa, el área de contacto con la roca de los estribos).

4.5 PROTECCIÓN Y CURADO

La superficie de todas las capas las cuales se colocara el CCR deberá mantenerse húmeda continuamente hasta que toda la superficie sea cubierta por la capa siguiente. La condición saturada superficialmente seca ocurre cuando la superficie ha logrado un color gris claro sin agua superficial pero la mezcla de CCR inmediatamente por debajo de la superficie está todavía en su estado húmedo con un color más oscuro. Esta condición se permitirá por un tiempo máximo de 30 minutos antes de la colocación de la siguiente capa. Ésta condición permite mayor eficiencia durante la limpieza de la capa con aire comprimido y no reduce la resistencia de adhesión de la junta. El uso del aire y el secado es especialmente efectivo para remover el polvo y partículas pequeñas sueltas de arena.

Se mantendrá disponible en todo momento un sistema de riego que incluya una cantidad adecuada de mangueras o boquillas operables desde el sistema de distribución de agua. El sistema de riego puede ser realizado manualmente por

un número adecuado de personal utilizando rociadores que mantengan húmeda la mezcla de CCR como se muestra en la siguiente Figura N° 4.9. Éste sistema de rociado suministrará agua dispersa por aire a presión, en forma de lluvia suave sobre el área completa de trabajo. Dicho sistema permanecerá todo el tiempo en el área de colocación y se utilizará siempre que sea necesario para evitar que las superficies de las juntas se sequen. El sistema de riego no deberá 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. El propósito del agua es el de curado y enfriamiento por medio de la evaporación de la superficie en condiciones de alta temperatura y vientos fuertes. Durante las 24 horas al día y siete días a la semana se deberá mantener todas las superficies húmedas pero no encharcadas.

La superficie final de coronación de la presa deberá permanecer continuamente húmeda, por lo menos durante 30 días posteriores de la finalización.



Figura N° 4.9.- Sistema de rociado de agua para el curado del CCR.

4.6 CONCRETO DE PROTECCION DEL CONCRETO CONVENCIONAL

4.6.1 Procedimiento de Colocación Aguas Arriba y Lateral de la Presa

Para este tipo de concreto se utilizarán camión mixer para su transporte al sitio de vaciado. Este diseño de concreto convencional se le adiciona aditivo reductor de agua de alto rango (súper plastificante) que podrá ser adicionado a la mezcla en el camión mixer en el área de trabajo y cuando todo esté listo para el vaciado. Una cantidad apropiada y predeterminada del aditivo debe ser adicionada de acuerdo al diseño de la mezcla. Después de adicionar el aditivo, el concreto deberá ser completamente mezclado y se descargará inmediatamente.

El concreto convencional es colocado monolíticamente con el CCR (capa por capa con el CCR), el concreto deberá ser descargado contra el encofrado y el CCR debe ser depositado contra la mezcla de concreto e inmediatamente deberá ser compactado. La compactación deberá ejecutarse con el rodillo vibratorio suplementado por compactadores manuales. De ser necesario, para completar la compactación del concreto convencional se deberá utilizar vibración manual que suplemente el efecto de los rodillos de compactación de tal manera que se asegure una compactación completa de la mezcla. El procedimiento de compactación será tal que el CCR sea efectivamente forzado en la mezcla de concreto para que las dos mezclas inicien el fraguado formando una masa monolítica.

4.6.2 Curado del Concreto Convencional

La cara exterior del concreto convencional deberá mantenerse continuamente húmeda durante los primeros siete días contados a partir del retiro del encofrado. Tan pronto como sea posible, la superficie deberá ser terminada, removiendo las imperfecciones que no cumplan con las tolerancias generales exigidas. Cualquier hueco presente en la superficie deberá ser reparado. Inmediatamente después de que la superficie haya sido terminada, se aplicará un compuesto de curado a la superficie de concreto.

4.7 MEZCLA DE PEGA

4.7.1 Procedimiento de Colocación

Para este tipo de mezcla se utilizarán camiones mixer para su transporte al sitio de vaciado.

La distribución de la mezcla de pega sobre la capa del CCR compactado se hará utilizando la canaleta del camión mezclador. Se tratará de que el material fresco se distribuya uniformemente sobre la capa del CCR compactado. Posteriormente se distribuirá en forma manual conformando una capa uniforme con un espesor promedio de 2,5 cm. en toda la zona indicada.

La mezcla de pega deberá ser extendida de tal manera que su superficie quede completamente cubierta por la mezcla. El CCR deberá ser extendido sobre la mezcla de pega y compactado de tal manera que penetre la mezcla.

Se deberá curar la mezcla de pega hasta que se coloque la siguiente capa de CCR, la capa de la mezcla de pega se mantendrá permanentemente húmeda por rociado superficial.

4.8 SECCIÓN DE PRUEBA

Antes de iniciar los trabajos de la construcción de la presa se deberá construir una sección de prueba de CCR. Esta sección tendrá por lo menos cuatro capas de CCR y un volumen no menor de 150 m³ de la mezcla de CCR que se utiliza en la construcción de la presa. Como mínimo en dos de las capas se colocará mezcla de pega en toda la superficie de la sección de prueba, normalmente la especificación recomienda que las capas deban tener como mínimo un espesor de 30 cm. También deberá colocarse concreto convencional en una de las caras del encofrado y el CCR. En caso para asegurar la impermeabilidad de la presa se requiera del uso de juntas water-stop, en la sección de prueba se colocará al menos una junta water-stop.

En la construcción de la sección de prueba, se aplicarán los materiales, métodos y técnicas a ser utilizadas en la construcción de la presa tales como el encofrado de las caras, la limpieza de las juntas, colocación, extendido, medición de la capa de CCR sin compactar, compactación del CCR, pruebas de densidad del CCR, colocación de la mezcla de pega y del concreto convencional.

La construcción de la sección de prueba se hará utilizando equipo similar al que se utilizará para la construcción de la presa. La sección de prueba servirá como área de entrenamiento, práctica y ensayo donde se puede evaluar la efectividad práctica de los métodos y equipos de construcción.

Una vez terminada la sección de prueba, se excavará una zanja sobre la sección de prueba utilizando una retroexcavadora o utilizará métodos para obtener testigos en que puedan evaluarse los resultados de los procedimientos ejecutados.

La sección de prueba definitiva, deberá permanecer en su lugar hasta que la construcción de la presa haya sido terminada y pueda ser utilizada para hacer pruebas adicionales durante el proceso constructivo de la presa.

CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO DEL CCR OBTENIDOS EN LABORATORIO

En el siguiente informe se realizó la evaluación de los diferentes diseños del CCR, para determinar el óptico contenido de cemento y la resistencia requerida de 120 Kg/cm², entre ellas se realizó los ensayos para la determinación de la consistencia, peso unitario y resistencia a la compresión; a continuación se indican los resultados obtenidos.

5.1 CONSISTENCIA

Para la determinación de la consistencia de los diseños se realizaron como indica la norma ASTM C 1170. El ensayo de consistencia se realizó con la finalidad de obtener la cantidad de agua necesaria para cada diseño de CCR.

Para la determinación del contenido de agua para cada uno de los diseño del CCR, se halló la consistencia de cada una de las mezclas mediante el ensayo Vebe. Mediante este ensayo se verificó que los valores de tiempos Vebe conseguidos en los 5 diseños se encontraban (de 18 segundos a 25) los cuales estaban en el rango establecido por las especificaciones técnicas del proyecto. En el Cuadro N° 5.1 se muestran los resultados de los tiempos Vebe obtenidos para cada uno de los diseños de mezclas del CCR.

Cuadro N° 5.1.- Resumen de tiempo Vebe determinado en cada una de las mezclas de CCR.

N° Mezcla	Tipo de Cemento	Tiempo Vebe (Segundos)
1	Portland Tipo I	25
2	Portland Tipo I	21
3	Portland Tipo I	20
4	Portland Tipo I	24
5	Portland Tipo I	21

Fuente: Elaboración propia.

5.2 PESO UNITARIO

El peso unitario o densidad depende principalmente de la gravedad específica de los agregados y de la cantidad de vacíos en la mezcla del CCR. En el CCR hay poca cantidad de vacíos de aire retenido, reducidos por la gran compactación. Esto significa que existe una mayor cantidad de sólidos en un volumen unitario de CCR.

Al término de los diseños se pudo observar que los valores de los pesos unitarios son uniformes y se encuentran en un mismo rango y la mayoría de ellos

son superiores a 2400 Kg/m³, es decir los pesos unitarios son mayores que el concreto convencional los cuales son comunes para los diseños de CCR.

Para cada uno de los diseños que se realizó se determinó su densidad o peso unitario, dividiendo el peso (masa) entre el volumen. En el siguiente Cuadro N° 5.2 se muestra el peso unitario de cada mezcla de diseño elaborado para cada cantidad de cemento.

Cuadro N° 5.2.- Resumen de los pesos unitarios diseño para diferentes proporciones de cemento por m³.

Código de Diseño	Tipo de Cemento	Peso Unitario (gr/cm³)
CCR-100	Portland Tipo I	2.393
CCR-125	Portland Tipo I	2.354
CCR-150	Portland Tipo I	2.400
CCR-175	Portland Tipo I	2.401
CCR-200	Portland Tipo I	2.410

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera al término de la preparación de cada una de las probetas con las diferentes proporciones de cemento, se obtuvo el peso unitario de cada una de las probetas dividiendo el peso de la probeta entre el volumen de los moldes metálicos empleados. El peso unitario de cada una de las probetas de cada diseño se muestra en el siguiente Cuadro N°5.3.

Cuadro N° 5.3.- Resultados de peso unitario y resistencia de las probetas de CCR con diferentes cantidades de cemento.

N° Probeta	Código de diseño	Edad (días)	Peso (gr)	Volumen (cm ³)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Resistencia alcanzada (Kg/cm ²)
1	CCR-100	3	13511	5501.84	2.4557	31.1
2	CCR-100	3	13506	5585.46	2.4181	32.9
3	CCR-100	3	13514	5534.49	2.4418	32.6
4	CCR-100	7	13519	5603.90	2.4124	44.0
5	CCR-100	7	13508	5614.85	2.4058	40.5
6	CCR-100	7	13512	5578.27	2.4223	42.4
7	CCR-100	14	13502	5589.17	2.4157	52.5
8	CCR-100	14	13522	5498.20	2.4593	47.0
9	CCR-100	14	13510	5440.48	2.4832	48.8
10	CCR-100	28	13505	5618.59	2.4036	52.6
11	CCR-100	28	13506	5614.89	2.4054	54.1
12	CCR-100	28	13531	5640.66	2.3988	55.6
13	CCR-100	60	13461	5505.40	2.4451	68.4
14	CCR-100	60	13498	5648.03	2.3899	63.8
15	CCR-100	60	13517	5567.26	2.4279	68.0
16	CCR-100	90	13722	5530.74	2.4810	76.1
17	CCR-100	90	13642	5509.09	2.4763	75.4
18	CCR-100	90	13463	5472.85	2.4600	108.4
1	CCR-125	3	13490	5640.66	2.3916	47.6
2	CCR-125	3	13512	5640.66	2.3955	47.9
3	CCR-125	3	13495	5659.09	2.3847	47.3
4	CCR-125	7	13419	5618.59	2.3883	67.3
5	CCR-125	7	13393	5585.59	2.3978	72.0
6	CCR-125	7	13361	5611.11	2.3812	66.7
7	CCR-125	14	13623	5681.28	2.3979	77.8
8	CCR-125	14	13364	5570.96	2.3989	76.5
9	CCR-125	14	13543	5666.48	2.3900	73.3
10	CCR-125	28	13470	5622.21	2.3959	87.8
11	CCR-125	28	13417	5600.23	2.3958	89.7
12	CCR-125	28	13415	5527.18	2.4271	97.7
13	CCR-125	60	13581	5644.27	2.4062	103.7
14	CCR-125	60	13421	5625.94	2.3856	118.4
15	CCR-125	60	13582	5574.57	2.4364	112.4
16	CCR-125	90	13556	5592.91	2.4238	115.0
17	CCR-125	90	13580	5648.03	2.4044	114.6
18	CCR-125	90	13566	5662.71	2.3957	121.7

N° Probeta	Código de diseño	Edad (días)	Peso (gr)	Volumen (cm ³)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Resistencia alcanzada (Kg/cm ²)
1	CCR-150	3	13645	5692.36	2.3971	54.3
2	CCR-150	3	13526	5640.66	2.3979	58.4
3	CCR-150	3	13690	5677.53	2.4113	55.1
4	CCR-150	7	13560	5611.24	2.4166	87.9
5	CCR-150	7	13643	5651.71	2.4140	89.8
6	CCR-150	7	13550	5625.94	2.4085	89.8
7	CCR-150	14	13603	5666.48	2.4006	103.9
8	CCR-150	14	13667	5673.88	2.4088	105.6
9	CCR-150	14	13395	5655.40	2.3685	105.9
10	CCR-150	28	13460	5447.55	2.4708	131.5
11	CCR-150	28	13472	5570.96	2.4183	131.0
12	CCR-150	28	13450	5596.56	2.4033	133.8
13	CCR-150	60	13460	5570.78	2.4162	159.2
14	CCR-150	60	13460	5581.87	2.4114	159.9
15	CCR-150	60	13471	5625.94	2.3944	154.6
16	CCR-150	90	13750	5556.36	2.4746	177.4
17	CCR-150	90	13465	5534.49	2.4329	159.4
18	CCR-150	90	13531	5559.98	2.4336	166.8
1	CCR-175	3	13560	5603.79	2.4198	69.2
2	CCR-175	3	13540	5655.40	2.3942	68.2
3	CCR-175	3	13510	5633.30	2.3982	69.2
4	CCR-175	7	13630	5614.89	2.4275	103.6
5	CCR-175	7	13601	5644.33	2.4097	101.1
6	CCR-175	7	13611	5670.12	2.4005	111.4
7	CCR-175	14	13623	5614.89	2.4262	137.8
8	CCR-175	14	13501	5607.56	2.4076	125.5
9	CCR-175	14	13556	5559.95	2.4382	134.7
10	CCR-175	28	13509	5592.91	2.4154	165.8
11	CCR-175	28	13519	5607.56	2.4109	177.0
12	CCR-175	28	13522	5534.43	2.4432	175.6
13	CCR-175	60	13611	5567.27	2.4448	180.4
14	CCR-175	60	13499	5603.90	2.4089	200.1
15	CCR-175	60	13509	5563.51	2.4281	201.3
16	CCR-175	90	13469	5581.87	2.4130	218.7
17	CCR-175	90	13489	5556.23	2.4277	221.7
18	CCR-175	90	13511	5523.61	2.4460	220.1

N° Probeta	Código de diseño	Edad (días)	Peso (gr)	Volumen (cm ³)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Resistencia alcanzada (Kg/cm ²)
1	CCR-200	3	13801	5748.09	2.4010	102.4
2	CCR-200	3	13650	5644.33	2.4184	90.9
3	CCR-200	3	13580	5644.33	2.4060	106.5
4	CCR-200	7	13799	5699.78	2.4210	131.6
5	CCR-200	7	13614	5651.71	2.4088	129.4
6	CCR-200	7	13716	5692.36	2.4095	154.7
7	CCR-200	14	13502	5666.48	2.3828	159.4
8	CCR-200	14	13501	5603.79	2.4093	176.1
9	CCR-200	14	13540	5636.91	2.4020	180.8
10	CCR-200	28	13556	5563.66	2.4365	231.5
11	CCR-200	28	13516	5570.96	2.4262	243.5
12	CCR-200	28	13521	5578.27	2.4239	226.9
13	CCR-200	60	13666	5636.95	2.4244	267.7
14	CCR-200	60	13615	5545.34	2.4552	280.7
15	CCR-200	60	13603	5552.70	2.4498	228.3
16	CCR-200	90	13628	5607.50	2.4303	259.6
17	CCR-200	90	13756	5655.31	2.4324	272.6
18	CCR-200	90	13737	5607.50	2.4498	285.8

Fuente: Laboratorio de suelos y concreto de la Central Hidroeléctrica Huanza.

5.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para determinar la resistencia a la compresión de las probetas de CCR, se realizó (según la norma ASTM C 39). En total se ensayaron 90 probetas a edades de 3, 7, 14, 28, 60 y 90 días haciendo un total de 18 probetas para cada diseño. Estas probetas de CCR se realizó con diferentes proporciones de cemento Portland Tipo I; para 100 Kg, 125 Kg, 150 Kg, 175 Kg y 200 Kg por metro cubico.

Al término de los ensayos a compresión de las probetas se pudo obtener la resistencia requerida a los 28 días con la cantidad de cemento de 150 Kg por metro cubico, obteniéndose como resultado de resistencia de (132 Kg/cm²) la cual es mayor a lo solicitado por las especificaciones del proyecto (120 Kg/cm²).

Los resultados de resistencia para cada probeta son mostrados en el Cuadro N° 3.9 y seguidamente se ha realizado los gráficos mostrándose en la Figura N° 5.1. Los resultados para cada diseño de mezcla y edad en los gráficos nos indican el comportamiento del concreto en el tiempo. La preparación de los cilindros en el laboratorio ha recibido una uniforme dosificación, mezclado y compactación.

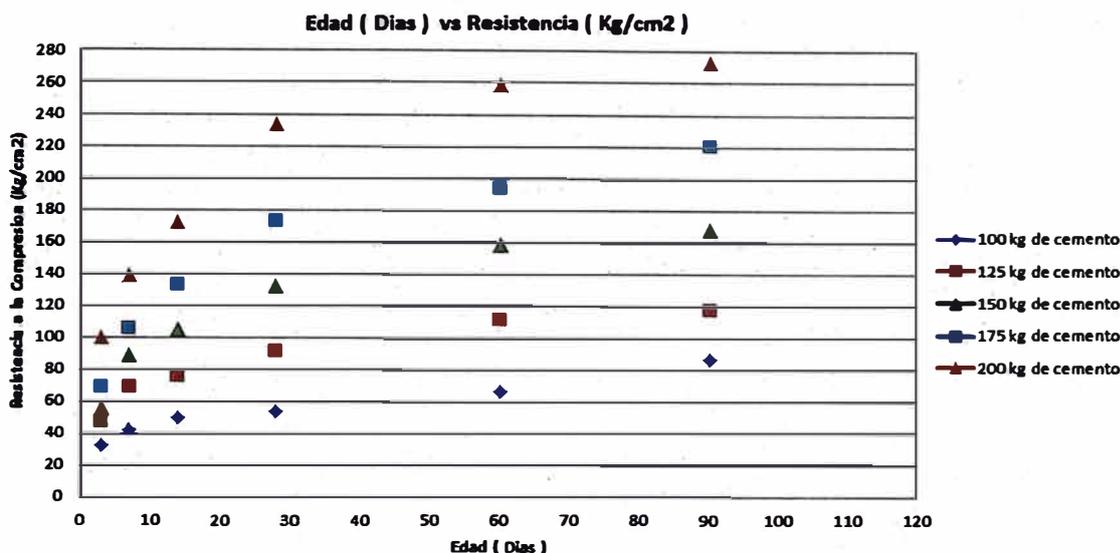


Figura N° 5.1.- Resistencia a la compresión de probetas ensayadas con diferentes proporciones de cemento a edades diferentes.

El Cuadro N° 5.4 se muestra el promedio de los resultados correspondientes a cada una de las mezclas con diferentes proporciones de cemento en las diferentes edades de curado, obtenidos mediante el ensayo de resistencia a la compresión. Para las 6 edades de curado, el resultado indicado de las resistencias es el promedio obtenido del ensayo de tres probetas de concreto.

Cuadro N° 5.4.- Resumen de resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en diferentes edades de curado

Contenido de Cemento (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)					
	3 días	7 días	14 días	28 días	60 días	90 días
100	32.20	42.28	49.43	54.09	66.73	86.63
125	47.59	68.64	75.88	91.75	111.48	117.11
150	55.94	89.17	105.10	132.10	157.91	167.83
175	48.58	96.63	110.06	155.54	159.06	186.04
200	99.96	138.57	172.12	233.98	258.90	272.70

Fuente: Laboratorio de suelos y concreto de la Central Hidroeléctrica Huanza.

La siguiente Figura N° 5.2 se muestra gráficamente el desarrollo de la resistencia a la compresión a través de las edades de curado.

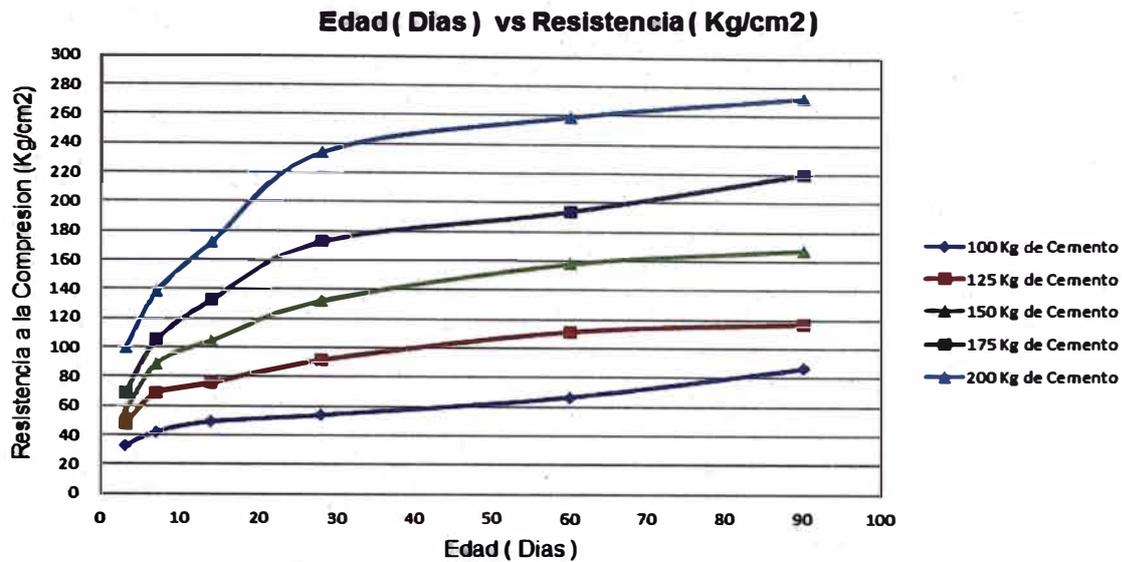


Figura N° 5.2.- Variación de la resistencia a la compresión en diferentes edades de curado y para mezclas con diferentes cantidades de cemento.

5.3.1 Relación Entre la Resistencia a la Compresión y el Peso Unitario

La relación entre la resistencia a la compresión y el peso unitario es mostrada en la siguiente Figura N° 5.3, donde se muestra los resultados de resistencia a la compresión de las probetas de CCR de cada diseño ensayado a diferentes edades con las diferentes cantidades de cemento y los pesos unitarios de cada diseño. Donde se observa en la gráfica, que las mezclas de menor peso unitario no son las que alcanzan una menor resistencia a la compresión.

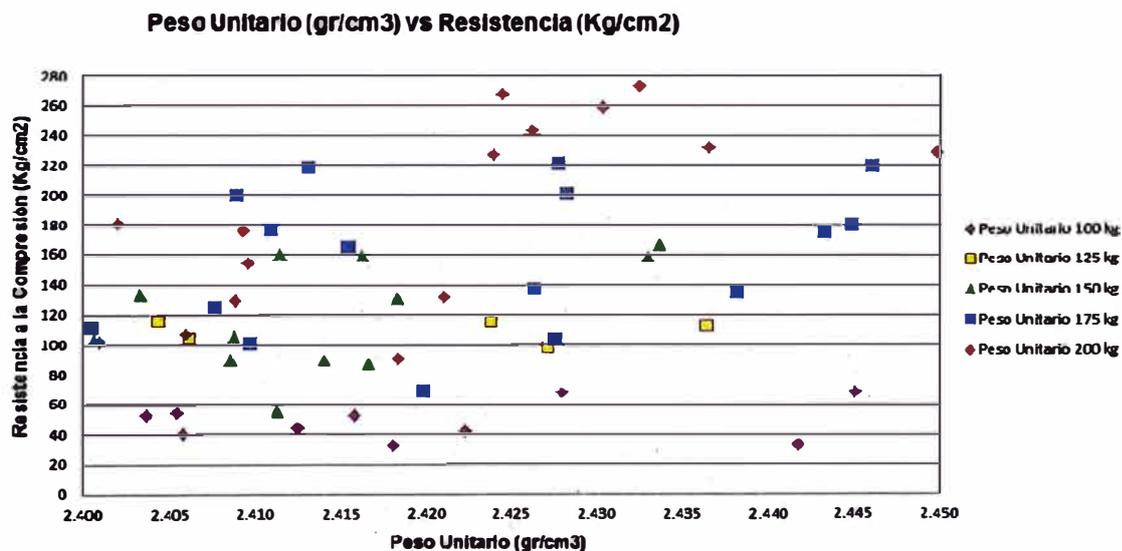


Figura N° 5.3.- Relación entre la resistencia a la compresión y el peso unitario con diferentes proporciones de cemento.

5.3.2 Análisis de la Selección de la Proporción de la Mezcla

Para la selección final del diseño de mezclas del CCR se ha basado en los resultados de la resistencia a la compresión de las probetas de concreto a las diferentes edades de los 5 diseños realizados. El contenido óptimo de cemento para la determinación de la proporción final del diseño de mezcla fue de 150 Kg de cemento por metro cubico.

De los resultados de resistencia a la compresión de las probetas se pudo obtener 132 Kg/cm² de resistencia a los 28 días (de los 5 diseños realizados para diferentes cantidades de cemento), que nos permitió alcanzar la resistencia de diseño de 120 Kg/cm² que fue solicitado por las especificaciones técnicas del proyecto, con estos resultados de resistencia se pudo determinar el diseño con el óptimo contenido de cemento.

Según el Cuadro N° 3.9 las resistencias alcanzadas a la edad de 28 días para un contenido de cemento de 150 Kg por metro cubico se ha alcanzado 110 por ciento con respecto a la resistencia de diseño, este resultado se considera un porcentaje bastante aceptable para nuestro diseño realizado.

Para el uso del diseño de mezcla del CCR en campo, se deberá realizar primeramente en un tramo de prueba de 30 cm de altura, utilizando los equipos necesarios; planta de mezclado y dosificación, el sistema de transporte y el equipo de extendido y compactación con rodillo vibratorio de 10 Ton que es usualmente usados en presas como especifica la norma ACI 207.5.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- ❖ Al término de la evaluación de los diseños y resultados de resistencia a los 28 días de los diseños del Concreto Compactado con Rodillo, se determinó el óptimo contenido de cemento del diseño que utilizó 150 Kg de cemento por metro cúbico y la construcción de la presa Pallca se realizó con concreto convencional con un diseño que utilizó 200 Kg de cemento por metro cúbico. Comparando ambos diseños hubiera sido una alternativa económica y recomendable usar el diseño del CCR con 150 Kg de cemento por metro cúbico; debido principalmente a la menor cantidad de cemento que utiliza el diseño de CCR.
- ❖ Los resultados de los ensayos indican que la proporción de mezcla usada para el diseño final provee una alternativa viable para el diseño de CCR, creándose una opción de solución a problemas relacionados a la construcción de nuevas presas y la rehabilitación de las existentes. Los resultados de las mezclas obtenidas en esta investigación servirán para implementar esta técnica en nuestro país, y para el desarrollo de nuevas construcciones de presas.
- ❖ El Concreto Compactado con Rodillo puede ser usado en muchas estructuras diferentes a las presas, por ejemplo en pavimentos, rellenos masivos y estacionamientos, en todos los casos las características del CCR es de consistencia seca.
- ❖ Al realizar la combinación de los agregados para obtener la granulometría global, se pudo observar que faltó material fino para que la curva granulométrica se encuentre dentro de los límites del huso permitido, sin embargo la combinación de los agregados fueron considerados apropiados para ser utilizados en los diseños del CCR.
- ❖ En el proporcionamiento de las mezclas del CCR de los 5 diseños finales elaborados para diferentes cantidades de cemento, se han obtenido pesos unitarios uniformes y superiores a 2400 Kg/m³, es decir los pesos unitarios son mayores que el concreto convencional los cuales son comunes para los diseños de CCR, debido a la poca cantidad de vacíos que son reducidos por la gran compactación.

- ❖ Para la compactación de las probetas del CCR se debe realizar con el martillo vibratorio y con todos los pasos requeridas como indica la especificación ASTM C 1435, para tener la seguridad en la elaboración de las probetas de obtener el golpe de compactación que se genera con este martillo sea similar a la compactación del rodillo vibratorio de 10 Ton en el campo, así también se obtenga la misma densidad alcanzada en el laboratorio.
- ❖ La mezcla elaborada en los diseños presenta una consistencia dentro del rango de diseño para mezclas de (18 a 25 segundos), la cual se determinó con el consistómetro Vebe bajo la especificación ASTM C 1170, los altos valores de tiempo Vebe obtenidos indican la poca cantidad de agua presente en cada una de las mezclas.
- ❖ Al realizar el ensayo de asentamiento utilizando el cono de Abrams, para todos los diseños de mezclas que se realizó en el laboratorio se obtuvo asentamiento de 0 pulg.
- ❖ En los resultados a la compresión de las probetas se pudo obtener 132 Kg/cm² de resistencia a los 28 días en la tercera mezcla con 150 Kg de cemento por metro cubico que nos permitió alcanzar la resistencia de diseño de 120 Kg/cm² solicitado por las especificaciones del proyecto, con estos resultados de resistencia se pudo determinar el diseño con el óptimo contenido de cemento.
- ❖ Se observa que la resistencia a la compresión de las probetas del CCR se incrementa con el contenido de cemento y a la edad de curado de 3, 7, 14, 28, 60 y 90 días. Se ha obtenido en cada diseño que las resistencias del CCR a edades avanzadas ha seguido aumentando la resistencia hasta los 90 días utilizando cemento Portlad Tipo I (Andino); es así, que a la edad de 90 días los diseños de las probetas con 150 Kg/m³ de cemento alcanzaron resistencia hasta 167.8 Kg/cm². Con estos resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión realizados a las probetas del CCR son suficientes para poder diseñar y construir nuevas presas en nuestro país.

6.2 Recomendaciones

- ❖ Los valores de resistencia obtenidos en los diseños para diferentes cantidades de cemento obtenidos en las diferentes edades de curado servirán de base referencial para futuras investigaciones de diseños del CCR para distintos proyectos y seguir investigando para otros ensayos como por ejemplo durabilidad ante el congelamiento y deshielo, módulo de elasticidad, etc.
- ❖ Para la preparación de las probetas del CCR para nuestro diseño se ha realizado con el martillo vibratorio según la norma ASTM C 1435, en probetas cilíndricas de 6 x 12 pulg., se recomienda realizar nuevos estudios y realizar la preparación de las probetas de concreto en la mesa vibratoria según la norma ASTM C 1176, para comparar los resultados obtenidos de resistencia y establecer la metodología más adecuada.
- ❖ Se deben emplear los métodos adecuados para determinar las condiciones de humedad de los agregados, a fin de mantener las condiciones de diseño, ya que las mezclas del CCR son sensibles a las variaciones de agua, lo que genera cambios en las relaciones en el diseño y los tiempos Vebe.
- ❖ Cuando se realiza una investigación en la cual se desee conocer la evolución de la de resistencia en el tiempo, de deberá elaborar probeta de una misma mezcla y dosificación para las edades de ensayo necesarias y evitar así variaciones en los resultados de resistencia.
- ❖ En la construcción de la presa Pallca de la Central Hidroeléctrica Huanza se realizó con concreto convencional, el diseño del CCR a usarse fue de resistencia de (120 Kg/cm²), el diseño debió estar 30 días antes de empezar la obra. Se inició el primer programa de diseño del CCR con cantidades de cemento de (80 Kg hasta 125 Kg por metro cubico) al termino de los ensayos se obtuvo resistencias menores que el diseño; iniciándose el segundo programa de evaluación del diseño del CCR, pero ya se había iniciado la construcción del proyecto en varios frentes de la obra (Túnel de Conducción, Casa de Máquinas, Tubería Forzada, Chimenea de Equilibrio, etc.), retrasándose en la construcción de la presa Pallca por no tener el diseño terminado por parte del contratista, por tal motivo se realizó el cambio del diseño del CCR, a usar un diseño de concreto convencional de 120 Kg/cm² para no retrasarse en los

trabajos de la construcción de la presa Pallca. Continuándose con el segundo programa de diseño del CCR utilizándose (100 Kg, 125 Kg, 150 Kg, 175 Kg y 200 Kg de cemento por metro cubico) obteniéndose resultados de resistencia mayor que 120 Kg/cm² a los 28 días de edad para un contenido de cemento de 150 Kg por metro cubico como se puede ver los resultados de resistencia a la compresión en el Cuadro N°3.9. Antes de iniciar la construcción de una presa o cualquier otro proyecto se recomienda tener el diseño de concreto terminado y con los resultados de resistencia aprobados. En la construcción de la presa Pallca se realizó con concreto convencional con un diseño que utilizo 200 Kg de cemento por metro cubico; pero en la evaluación del diseño del CCR se determinó el óptimo contenido de cemento (150 Kg de cemento por metro cubico). Comparando ambos diseños sería una alternativa económica y recomendable usar el diseño del CCR con 150 Kg de cemento por metro cubico, debido principalmente al bajo costo y rápida construcción comparado con el concreto convencional.

BIBLIOGRAFÍA

- ABANTO C. Flavio. (2002). Tecnología del Concreto: Perú: Editorial San Marcos.
- ACI Committee (1999), "Roller-Compacted Mass Concrete", ACI 207.5R-99, American Concrete Institute.
- ACI Committee (1999), "Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete", ACI 211.3R-02, American Concrete Institute.
- ACI Committee (2007), "Building Code Requirements for Structural Concrete", ACI 218-02, American Concrete Institute.
- ACI Committee (2001), "Report on Roller-Compacted Concrete Pavements ", ACI 325.10R-95, American Concrete Institute
- ESCALANTE ADVINCULA, Mariella, "Diseño de Mezclas de Concreto Compactado con Rodillo Utilizando Conceptos de Compactación de Suelos". Tesis para optar Título Profesional FIC-UNI. Lima, Perú, 2006.
- NEVILLE A. y BROOKS J. (2006). Tecnología del Concreto. México: Editorial Trillas.

ANEXOS

ANEXO I: Resultado de ensayos de gravedad específica y absorción del agregado Huso 3.	98
ANEXO II: Resultado de ensayos de gravedad específica y absorción del agregado Huso 57.	99
ANEXO III: Resultado de ensayos de gravedad específica y absorción del agregado fino.	100
ANEXO IV: Resultado de ensayos de granulometría del agregado Huso 3.	101
ANEXO V: Resultado de ensayos de granulometría del agregado Huso 57.	102
ANEXO VI: Resultado de ensayos de granulometría del agregado fino.	103
ANEXO VII: Diseño de mezclas del Concreto Compactado con Rodillo.	104

ANEXO I

RESULTADO DE ENSAYOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO HUSO 3

 CONSORCIO RIO PALLCA	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO NORMA ASTM C127		SGC-PCQ-CRP-01.R06 Rev.1 Fecha: Julio 2,010
	Cliente: CONSORCIO ENERGETICO DE HUANCAYELICA S.A.	Contrato No:	Obra: CONSTRUCCION CENTRAL HIDROELECTRICA HUANZA

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO	
CONTRATISTA : CONSORCIO RIO PALLCA	REPORTE N° : CC-GE/ABS-AG-183 FECHA : 25-feb-12

DATOS DE LA MUESTRA	
MUESTRA : PIEDRA ACOPIO DE LABORATORIO PARA CCR (HUSO 3)	
CANTERA : CANTERA RIO PALLCA ZONA "A"	

AGREGADO GRUESO					
		M - 1	M - 2		PROMEDIO
A	Peso muestra saturada con superficie seca (g)	8489.0	8523.3		
B	Peso muestra saturada dentro del agua (g)	5295.6	5289.6		
C	Peso muestra seca en horno @ 110°C ± 5°C (g)	8414.9	8448.1		
D	Peso específico de masa - P.E.M. (g/cm3)	2.635	2.613		2.62
E	Peso específico de masa S.S.S. (g/cm3)	2.658	2.636		2.65
	Peso específico aparente - P.E.A. - (g/cm3)	2.698	2.675		2.69
	Absorción (%)	0.88	0.89		0.89

Observaciones: Código de Muestra 2831

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ANEXO II

RESULTADO DE ENSAYOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO HUSO 57

 CONSORCIO RIO PALLCA	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO NORMA ASTM C127		SGC-PCQ-CRP-01.R06 Rev.1 Fecha: Julio 2,010
	Cliente: CONSORCIO ENERGETICO DE BUANCAVELICA S.A.	Contrato No:	Obra: CONSTRUCCION CENTRAL HIDROELECTRICA RUANZA

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO	
CONTRATISTA : CONSORCIO RIO PALLCA	REPORTE N° : CC-GE/ABS-AG-184 FECHA : 25-feb-12

DATOS DE LA MUESTRA	
MUESTRA : PIEDRA ACOPIO DE LABORATORIO PARA CCR (HUSO 57)	
CANTERA : CANTERA RIO PALLCA ZONA "A"	

AGREGADO GRUESO					
		M - 1	M - 2		PROMEDIO
A	Peso muestra saturada con superficie seca (g)	4315.8	4313.0		
B	Peso muestra saturada dentro del agua (g)	2655.0	2646.2		
C	Peso muestra seca en horno @ 110°C ± 5°C (g)	4245.9	4242.6		
D	Peso específico de masa - P.E.M. (g/cm3)	2.557	2.545		2.55
E	Peso específico de masa S.S.S. (g/cm3)	2.599	2.588		2.59
	Peso específico aparente - P.E.A. - (g/cm3)	2.669	2.658		2.66
	Absorción (%)	1.65	1.66		1.65

Observaciones: Código de Muestra 2832

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ANEXO III

RESULTADO DE ENSAYOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

ANEXO IV

RESULTADO DE ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO HUSO 3



ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

SGC-PCQ-CRP-01.R04

Rev.2

Fecha: Octubre 2011

NORMA ASTM C 136 - ASTM C 117

Cliente: CONSORCIO ENERGETICO DE BUENAVELICA S.A.

Contrato No:

Obra: CONSTRUCCION CENTRAL HIDROELECTRICA BUANZA

Páginas: 1 / 1

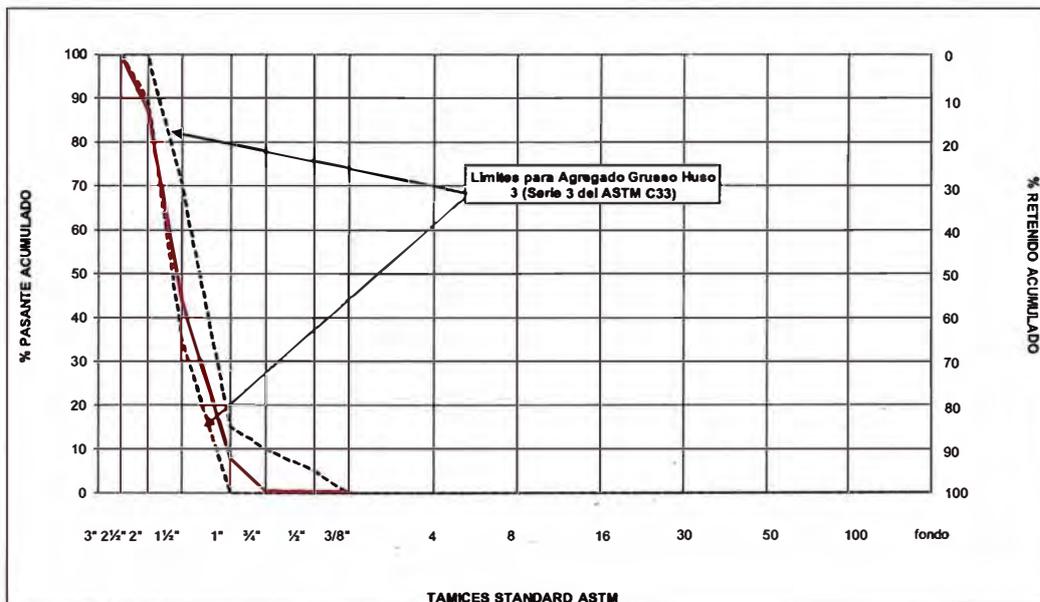
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

CANTERA : RIO PALLCA "ZONA A"
 MATERIAL: Grava para CCR (Acopio Laboratorio)
 TAMAÑO Huso 3

N° REPORTE : CH-H3-AL-236
 FECHA DE MUESTREO : 25/02/2012

GRANULOMETRIA						CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
MALLA	PESO RETENIDO en gramos (b)	% RETENIDO (c)=(b)/(a)*100	% RETENIDO ACUMUL. (d)=SUMA (c)	% PASANTE ACUMUL. 100 - (d)	ESPECIFIC. GRADACIÓN (2 1/2" - 1/2")	MODULO DE FINEZA	8.5
3"						TAMAÑO MÁXIMO	2 1/2"
2 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100	(A) peso de tara (g) :	0.0
2"	7702.0	12.5	12.5	87.5	90 - 100	(B) peso de muestra original húmeda(g):	62125.0
1 1/2"	27210.0	44.2	56.7	43.3	35 - 70	(C) peso de muestra seca(g) :	61625.0
1"	21843	35.4	92.1	7.9	0 - 15	% HUMEDAD: [B-C] * 100 / [C-A]	0.8
3/4"	4512	7.3	99.4	0.6	0 - 10		
1/2"	135	0.2	99.6	0.4	0 - 5	(D) peso de tara (g) :	0.0
3/8"						(E) peso de muestra seca (g) :	61625.0
# 4						(F) peso de muestra después de lavado seca (g):	61594.0
# 8						%PASANTE DE M # 200: [E-F] * 100 / [E-D]	0.05
# 16						OBSERVACIONES: La muestra fue tomada por el personal de laboratorio a las 11.00 a.m.	
# 30							
# 50							
# 100							
FONDO	223.0	0.4	100.0	0.0			
TOTAL (a)	61625.0		MODULO DE FINEZA	8.5			

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (3" + 1 1/2" + 3/4" + 3/8" + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100
 Nota: Para ag. Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno
 El tamaño máximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.



ANEXO V

RESULTADO DE ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO HUSO

57

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

CANTERA : RIO PALLCA "ZONA A"

N° REPORTE : CH-H57-AL-237

MATERIAL: Grava para CCR (Acopio Laboratorio)

FECHA DE MUESTREO : 25/02/2012

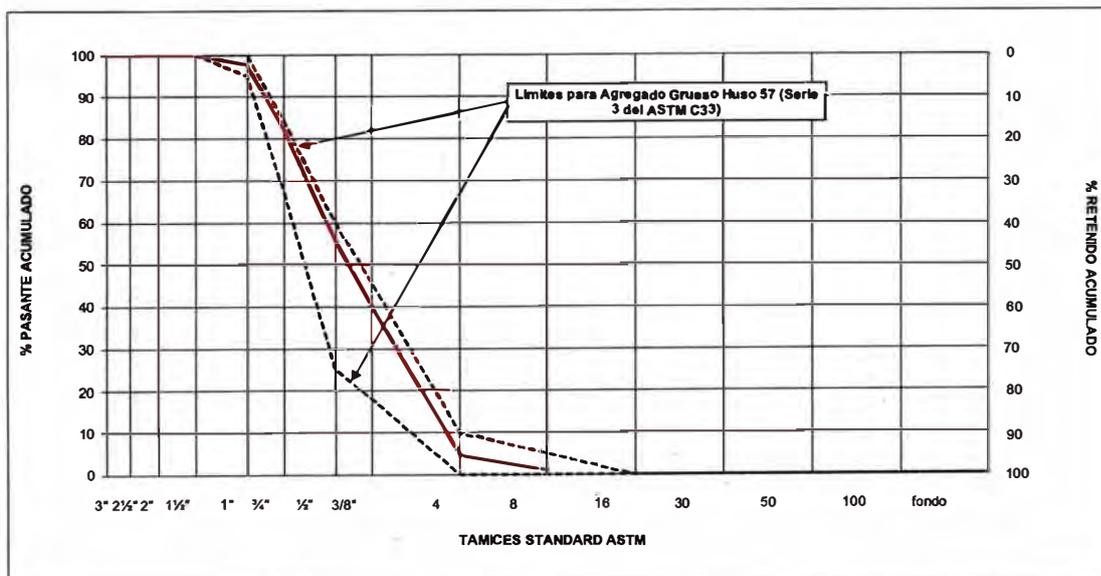
TAMAÑO Huso 57

GRANULOMETRIA						CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
MALLA	PESO RETENIDO en gramos (b)	% RETENIDO (c)=(b)/(a)*100	% RETENIDO ACUMUL. (d)=SUMA (c)	% PASANTE ACUMUL. 100 - (d)	ESPECIFIC. GRADACIÓN (1 1/2" - #6)	MODULO DE FINEZA	6.7
3"						TAMAÑO MÁXIMO	1 1/2"
2 1/2"						(A) peso de tara (g) :	0.0
2"						(B) peso de muestra original húmeda(g):	13157.0
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100	(C) peso de muestra seca(g) :	12895.0
1"	291	2.3	2.3	97.7	95 - 100	% HUMEDAD: [B-C] * 100 / [C-A]	2.0
3/4"	2016	15.6	17.9	82.1	67.28 - 84.16	(D) peso de tara (g) :	0.0
1/2"	3390	26.3	44.2	55.8	25 - 60	(E) peso de muestra seca (g) :	12895.0
3/8"	2006	15.6	59.7	40.3	17.91 - 45.82	(F) peso de muestra después de lavado seca (g):	12846.0
# 4	4599	35.7	95.4	4.6	0 - 10	%PASANTE DE M # 200: [E-F] * 100 / [E-D]	0.4
# 8	440	3.4	98.8	1.2	0 - 5	OBSERVACIONES: La muestra fue tomada por el personal de laboratorio a las 11.00 a.m.	
# 16							
# 30							
# 50							
# 100							
FONDO	153.0	1.2	100.0	0.0			
TOTAL (a)	12895.0		MODULO DE FINEZA	6.7			

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (3"+ 1 1/2"+ 3/4" + 3/8" + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100

Nota: Para ag. Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno

El tamaño máximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.



ANEXO VI

RESULTADO DE ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO



ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO INTEGRAL

SGC-PCQ-CRP-02.R02
Rev.2
Fecha: Octubre 2011

NORMA ASTM C 136 - ASTM C 117

Cliente: CONSORCIO ENERGETICO DE HUANCAYELICA S.A.

Control No:

Obr: CONSTRUCCION CENTRAL HIDROELECTRICA HUANZA

Páginas: / /

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

CANTERA : RIO PALLCA "ZONA A"
MATERIAL: Arena para CCR (Acopio Laboratorio)

N° REPORTE : CH-A-AL-238

FECHA DE MUESTREO : 25/02/2012

TECNICO:

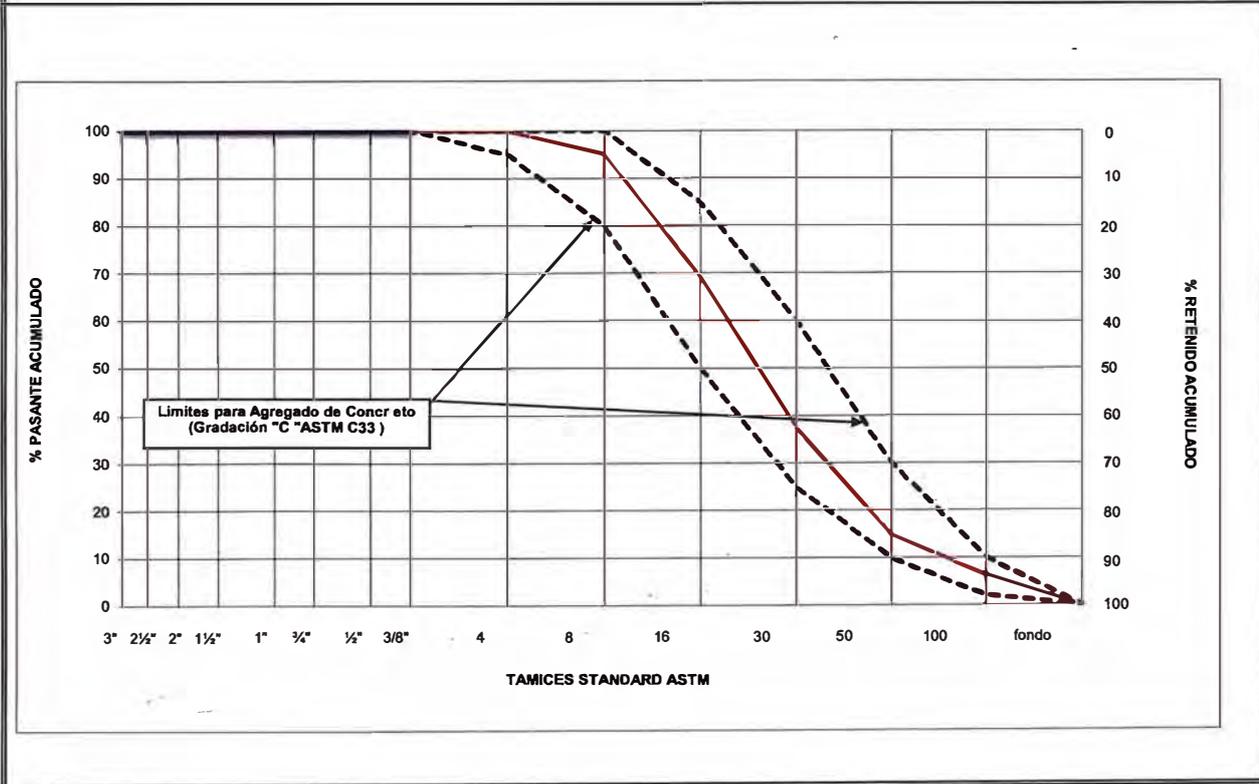
GRANULOMETRIA						CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
MALLA	PESO RETENIDO en gramos (b)	% RETENIDO (c)=(b)/(a)*100	% RETENIDO ACUMUL. (d)=SUMA (c)	% PASANTE ACUMUL. 100 - (d)	ESPECIFIC. GRADACIÓN	MODULO DE FINEZA	
3"							2.8
2 1/2"							
2"						(A) peso de tara (g) :	0.0
1 1/2"						(B) peso de muestra original húmeda(g):	1995.6
1"						(C) peso de muestra seca(g) :	1821.1
3/4"						% HUMEDAD: [B-C] * 100 / [C-A]	9.6
1/2"						(D) peso de tara (g) :	
3/8"	0	0.0	0.0	100.0	100	(E) peso de muestra seca (g) :	1821.1
# 4	0.6	0.0	0.0	100.0	95 - 100	(F) peso de muestra después de lavado seca (g):	1745.6
# 8	87.0	4.8	4.8	95.2	80 - 100		
# 16	472.8	26.0	30.8	69.2	50 - 85	%PASANTE DE M # 200: [E-F] * 100 / [E-D]	4.1
# 30	577.8	31.7	62.5	37.5	25 - 60		
# 50	413.1	22.7	85.2	14.8	10 - 30		
# 100	153.1	8.4	93.6	6.4	2 - 10		
FONDO	116.7	6.4	100.0	0.0			
TOTAL (a)	1821.1		MODULO DE FINEZA	2.8			

OBSERVACIONES: La muestra fue tomada por el personal de laboratorio a las 11.00 a.m.

El módulo de fineza= % retenido acumulado en las mallas (3" + 1 1/2" + 3/4" + 3/8" + #4 + #8 + #16 + #30 + #50 + #100) / 100

Nota: Para ag. Gruesos, en los tamices donde no exista retenido considere 100% de retenido acumulado en cada uno

El tamaño maximo= menor tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.



ANEXO VII

DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

Tipo de concreto : Concreto Compactado con Rodillo N° Reporte: D - 338
 Código de diseño : CCR-001 Fecha: 23/04/2012
 Resistencia mínima a la compresión a 28 días (Mpa): 12
 Consistencia : Seca
 Cantidad de Cemento (kg) : 100

Materiales:

Arena : Cantera Rio Pallca Zona A
 Agregados H57: Cantera Rio Pallca Zona A
 Agregados H3: Cantera Rio Pallca Zona A
 Cemento : Andino Tipo I
 Agua : Procedente Rio Pallca

Peso Especifico de Materiales	
Peso Especifico Arena (gr/cm3)	2.61
Peso Especifico Agregados H57 (gr/cm3)	2.59
Peso Especifico Agregados H3 (gr/cm3)	2.65
Peso Especifico Cemento (gr/cm3)	3.00

Propiedades de los Agregados	Humedad (%)	Absorción (%)	% Materiales
Arena	8.99	2.8	38
Agregados H57	1.37	1.7	40
Agregados H3	0.69	0.9	22

Cálculos:

Cantidad de Cemento por diseño (kg)	100.0
Volumen de Aire (Litros)	10.0
Agua (lt)	162.0

Calculo del Peso de los Agregados Combinados	
Peso Especifico del Agregado Combinado (gr/cm3)	2.61
Volumen del Agregado Combinado (Litros)	794.67
Peso Total Combinado (kg)	2074.83

Diseño Seco por 1 m3	
Peso de Arena (kg)	796.32
Peso de Agregado H57 (kg)	819.56
Peso de Agregado H3 (kg)	458.95
Cemento (kg)	100.00
Agua (Litros)	162.00
Suma Total de Materiales Secos (kg)	2174.83

CANTIDAD DE MATERIALES POR 1 M3

Peso de Arena (kg)	867.9
Peso de Agregado H57 (kg)	830.8
Peso de Agregado H3 (kg)	462.1
Cemento (kg)	100.0
Agua (kg)	116.00

Observaciones: Diseño para 100 kg de cemento por metro cubico

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

Tipo de concreto : Concreto Compactado con Rodillo N° Reporte: **D - 338**
 Código de diseño : CCR-003 Fecha: **27/04/2012**
 Resistencia mínima a la compresión a 28 días (Mpa): 12
 Consistencia: **Seca**
 Cantidad de Cemento (kg) : 150

Materiales:

Arena : Cantera Río Pallca Zona A
 Agregados H57: Cantera Río Pallca Zona A
 Agregados H3: Cantera Río Pallca Zona A
 Cemento : Andino Tipo I
 Agua : Procedente Río Pallca

Peso Especifico de Materiales	
Peso Especifico Arena (gr/cm3)	2.61
Peso Especifico Agregados H57 (gr/cm3)	2.59
Peso Especifico Agregados H3 (gr/cm3)	2.65
Peso Especifico Cemento (gr/cm3)	3.00

Propiedades de los Agregados	Humedad (%)	Absorción (%)	% Materiales
Arena	9.70	2.8	38
Agregados H57	2.30	1.7	40
Agregados H3	0.50	0.9	22

Cálculos:

Cantidad de Cemento por diseño (kg)	150.0
Volumen de Aire (Litros)	10.0
Agua (lt)	165.8

Calculo del Peso de los Agregados Combinados	
Peso Especifico del Agregado Combinado (gr/cm3)	2.61
Volumen del Agregado Combinado (Litros)	774.20
Peso Total Combinado (kg)	2021.40

Diseño Seco por 1 m3	
Peso de Arena (kg)	775.81
Peso de Agregado H57 (kg)	798.45
Peso de Agregado H3 (kg)	447.13
Cemento (kg)	150.00
Agua (Litros)	165.80
Suma Total de Materiales Secos (kg)	2171.40

CANTIDAD DE MATERIALES POR 1 M3

Peso de Arena (kg)	851.1
Peso de Agregado H57 (kg)	816.8
Peso de Agregado H3 (kg)	449.4
Cemento (kg)	150.0
Agua (kg)	108.90

Observaciones: Diseño para 150 kg de cemento por metro cubico

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

Tipo de concreto :	Concreto Compactado con Rodillo	N° Reporte:	D - 338
Código de diseño :	CCR-004	Fecha:	30/04/2012
Resistencia mínima a la compresión a 28 días (Mpa):	12		
Consistencia	Seca		
Cantidad de Cemento (kg) :	175		

Materiales:

Arena :	Cantera Rio Palca Zona A
Agregados H57:	Cantera Rio Palca Zona A
Agregados H3:	Cantera Rio Palca Zona A
Cemento :	Andino Tipo I
Agua :	Procedente Rio Palca

Peso Especifico de Materiales	
Peso Especifico Arena (gr/cm3)	2.61
Peso Especifico Agregados H57 (gr/cm3)	2.59
Peso Especifico Agregados H3 (gr/cm3)	2.65
Peso Especifico Cemento (gr/cm3)	3.00

Propiedades de los Agregados	Humedad (%)	Absorción (%)	% Materiales
Arena	8.40	2.8	38
Agregados H57	1.93	1.7	40
Agregados H3	0.50	0.9	22

Cálculos:

Cantidad de Cemento por diseño (kg)	175.0
Volumen de Aire (Litros)	10.0
Agua (lt)	164.8

Calculo del Peso de los Agregados Combinados	
Peso Especifico del Agregado Combinado (gr/cm3)	2.61
Volumen del Agregado Combinado (Litros)	766.87
Peso Total Combinado (kg)	2002.25

Diseño Seco por 1 m3	
Peso de Arena (kg)	768.46
Peso de Agregado H57 (kg)	790.89
Peso de Agregado H3 (kg)	442.90
Cemento (kg)	175.00
Agua (Litros)	164.80
Suma Total de Materiales Secos (kg)	2177.25

CANTIDAD DE MATERIALES POR 1 M3

Peso de Arena (kg)	833.0
Peso de Agregado H57 (kg)	806.2
Peso de Agregado H3 (kg)	445.1
Cemento (kg)	175.0
Agua (kg)	121.36

Observaciones: Diseño para 175 kg de cemento por metro cubico

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

Tipo de concreto : Concreto Compactado con Rodillo N° Reporte: D - 338
 Código de diseño : CCR-005 Fecha: 02/05/2012
 Resistencia mínima a la compresión a 28 días (Mpa): 12
 Consistencia : Seca
 Cantidad de Cemento (kg) : 200

Materiales:

Arena : Cantera Rio Pallca Zona A
 Agregados H57: Cantera Rio Pallca Zona A
 Agregados H3: Cantera Rio Pallca Zona A
 Cemento : Andino Tipo I
 Agua : Procedente Rio Pallca

Peso Especifico de Materiales

Peso Especifico Arena (gr/cm3)	2.61
Peso Especifico Agregados H57 (gr/cm3)	2.59
Peso Especifico Agregados H3 (gr/cm3)	2.65
Peso Especifico Cemento (gr/cm3)	3.00

Propiedades de los Agregados	Humedad (%)	Absorción (%)	% Materiales
Arena	8.29	2.8	38
Agregados H57	1.60	1.7	40
Agregados H3	0.60	0.9	22

Cálculos:

Cantidad de Cemento por diseño (kg)	200.0
Volumen de Aire (Litros)	10.0
Agua (lt)	161.1

Calculo del Peso de los Agregados Combinados

Peso Especifico del Agregado Combinado (gr/cm3)	2.61
Volumen del Agregado Combinado (Litros)	762.23
Peso Total Combinado (kg)	1990.15

Diseño Seco por 1 m3

Peso de Arena (kg)	763.82
Peso de Agregado H57 (kg)	786.11
Peso de Agregado H3 (kg)	440.22
Cemento (kg)	200.00
Agua (Litros)	161.10
Suma Total de Materiales Secos (kg)	2190.15

CANTIDAD DE MATERIALES POR 1 M3

Peso de Arena (kg)	827.1
Peso de Agregado H57 (kg)	798.7
Peso de Agregado H3 (kg)	442.9
Cemento (kg)	200.0
Agua (kg)	120.91

Observaciones: Diseño para 200 kg de cemento por metro cubico