

# Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Concretos para la Metodología del CCR en la Construcción de Presas



por

**Andriolo, Francisco Rodrigues** (\*)

## RESUMEN

- ¿ El CCR es una metodología simple o no ? El CCR es un concreto o no?
- ¿ Si ese material es un concreto y si es simple cual es la razón para por la cual en las Especificaciones son solicitados para esa metodología requisitos no solicitados para concretos masivos utilizados em presas? O hay una tendencia de vaidades y de búsquedas por “marcas registradas” insensatas?
- ¿ Como aprovechar las cualidades individuales de los materiales disponibles para el dosaje del CCR? O hay necesidad de Especificar un Cemento o Material Puzolánico que no se encuentre disponible en un País o Región, solamente con el objetivo de aplicarse a un CCR ?
- ¿ Es conveniente, y prudente, utilizar la potencialidad de cada material para cumplir con los requisitos del Proyecto?

El CCR es una Metodología de Construcción que se estableció con el objetivo de simplificar la construcción y no para complicarla.

El autor, a lo largo del texto comenta aspectos de los conflictos ( o de intereses sin lógica) de los requisitos de las Especificaciones y Recomendaciones para el empleo del CCR em Presas.

Cuestiones de esa naturaleza serán abordadas y discutidas en este texto, haciendo una reflexión sobre la Metodología de Construcción, considerando un período de más de tres décadas de uso del CCR.

---

\* ANDRIOLO ITO ENGENHARIA SC LTDA- Av. Dr. Paulo Pinheiro Werneck 850-Parque Santa Mônica- São Carlos- SP- Brasil- 13561-235- [www.andriolo.com.br](http://www.andriolo.com.br) [fandrio@attglobal.net](mailto:fandrio@attglobal.net)

## 1- PRESENTACION

Como es normalmente conocido y entendido con el término Roller Compacted Concrete (RCC) concibe una metodología de construcción que combina economía, velocidad y el proceso de construcción de macizos (de suelos o rocas), por medio de la construcción en capas, con las propiedades del concreto, para obtener una estructura económica y durable. Como se menciona en varias publicaciones y referencias bibliográficas, las propiedades del CCR son semejantes a las de un **C**oncreto **V**ibrado **C**onvencionalmente (CVC).

El CCR es una Metodología de Construcción concebida con el objetivo de **Simplificar** la construcción de presas, y, no para **complicarla!**

La idea de la Técnica de Construcción del CCR, fue mencionada inicialmente en las Conferencias de Asilomar – California, como puede ser recordado:

- ☞ en Marzo de 1970 – Rapid Construction of Concrete Dams – “**The optimum Gravity Dam**” – Prof Jerome Raphael<sup>[01]</sup> y;
- ☞ en Mayo de 1972- Economical Construction of Concrete Dams<sup>[02]</sup> y respectivas discusiones, deben ser recordadas:

De <sup>[01]</sup> “...*The very lean concrete dam such as Professor Raphael apparently has in mind, would require that the upstream face have an impervious membrane which could be cemented.. provide to prevent deterioration from weathering...*”

De <sup>[02]</sup> “... *it should suffice to say that the construction procedure is feasible, and that concrete compacted by this procedure is in every respect equal to or higher in strength than conventional concrete with equal cement content...* (Esta publicación debería ser lida íntegra por todos los que usan la técnica!)

De <sup>[03]</sup> “...*It is concluded that the techniques are here to take the next step to building the economical soil-cement dam....*”

La Industria de la Construcción de Presas, después de la II Guerra Mundial, se desarrolló prácticamente en dos grandes tendencias de metodologías de construcción

- ⚡ La de las Presas de Rocas con Loza de Concreto, y
- ⚡ La de las Presas de Concreto Compactado con Rodillo

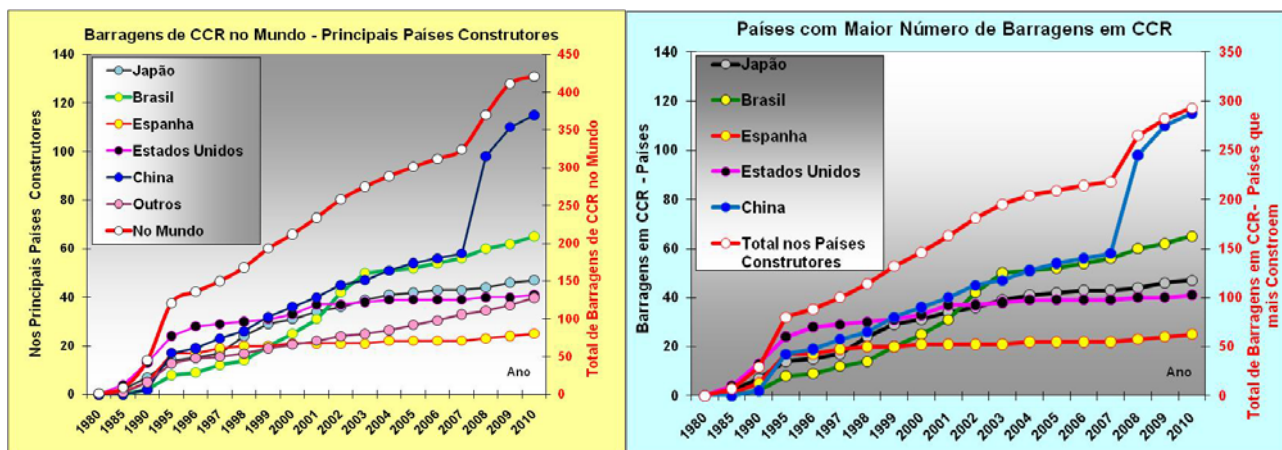
con las dos disputando espacios y ventajas técnicas, de plazos y de costos, en el escenario Mundial.

El conjunto de Presas de CCR en el Mundo al final de 2010 llegaba a más de 415<sup>[04]</sup>, pudiendo llegar actualmente a 450, pues varias Entidades de varios Países evitan enviar informaciones, para reducir el asedio a Profesionales sobre decisiones de Proyectos. Las de CFRD, que comenzaron antes suman cerca de 390.

Cada una muestra sus ventajas y particularidades en locales diferentes, en regímenes hidrológicos diversos y, no se puede afirmar que exista una única razón para las preferencias, que componen un adecuado y correcto juicio.

En el escenario Mundial, prácticamente la China colabora con cerca de 42 % de las CFRD

y otros Países, Grandes Constructoras de Presas (Australia, Brasil, Chile, Colombia, Estados Unidos participan con aproximadamente 5% del total. Ya, las Presas de CCR en los Países que son Grandes Constructores de Presas poseen cerca de 70 % con la siguiente distribución aproximada : Japón (10%), Estados Unidos (10%), Brasil (15%), China (27%), Australia y España con cerca de 6%, siendo que en los años 80/90 estuvieron entre los Países Pioneros.



**Estadística del número de Presas de CCR en el Mundo- [04]**

Respecto a las dimensiones máximas de Presas que adoptaron esas Metodologías se tienen los siguientes números:

Dimensiones (m)	Todas las Metodologías	HCR	CFRD
Altura Media	53	64	88
Mayor Alta	300	196	234
Menor Altura	15	15	26

La práctica de “Low Cementitious Content” fue adoptada tan luego se construyeron las primeras Presas de CCR en los Estados Unidos.

De una forma casi simultanea [05,06 e 07], el Japón inició las evaluaciones para la utilización del CCR en 1974, adoptando la nomenclatura de RCD, con tenor de aglomerantes de 130 kg/m<sup>3</sup>, siendo 91 kg/m<sup>3</sup> de cemento y 39 kg/m<sup>3</sup> de Ceniza Volante.

La China, otro País gran constructor, inició los estudios para aplicación del CCR cerca de los años 1980, con un tenor de aglomerantes de 122 a 152 kg/m<sup>3</sup>, siendo que la Presa de Kengkou inició efectivamente el ciclo de grandes obras de CCR en la China, con un consumo de 140 kg/m<sup>3</sup> de aglomerantes (60 kg/m<sup>3</sup> de cemento y 80 kg/m<sup>3</sup>, de cenizas volantes) [08]. De ese conjunto de Presas hay que destacar de forma relevante las que muestran resistencias a edades avanzadas, como las que son citadas a continuación.

La media de la Relación Tensión de Tracción (Indirecta por Compresión Diametral) / Compresión es de alrededor de 11 % y el de Tensión Directa / Compresión está entre 6 y 7 %.

Es evidente que cuando se requiere una determinada propiedad se debe buscar una dosificación, con materiales disponibles para atender esa propiedad. Por ejemplo, una mayor resistencia para el CCR, para una Presa en Arco de Doble Curvatura, o para un

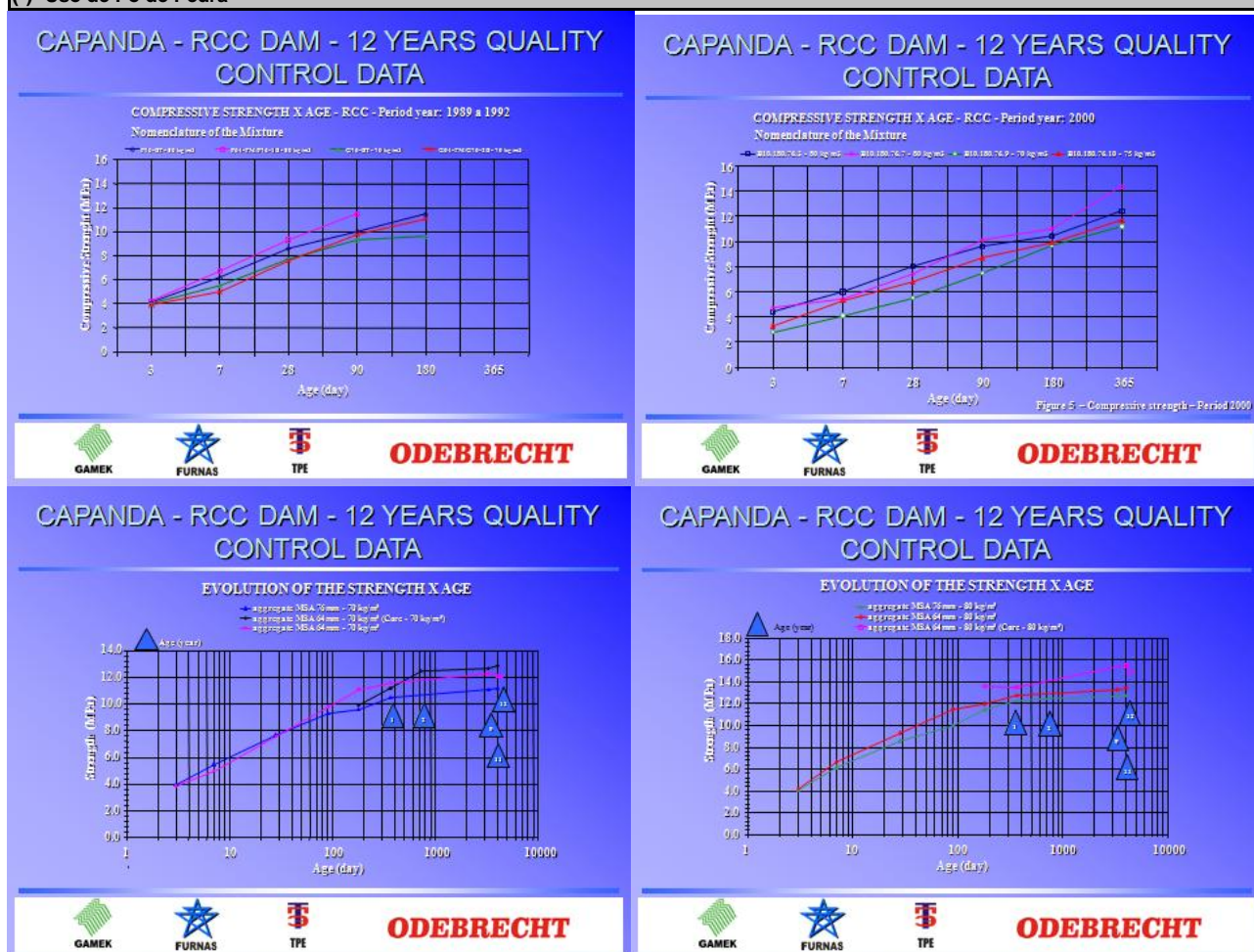


Pavimento.

Pero esos concretos así dosificados y colocados con compactación mediante Rodillo Vibratorio es un CCR, o sea son CONCRETOS !

PROJETO	Conclusão	País	Tipo de Barragem	Volumen Concreto (m³)	Tipo Concreto	MSA mm	Dosagem Kg/m³				Resistência Média (kgf/cm²)							
							Teor Ciment	Mat. Poz.	Total	Água	7 días	28 días	90 días	180 días	1 año	2 años	5 años	12 años
Capanda	1988-2000	Angola	Gravidade Curva	662.000	RCC	63	70	(*)	70	135	58	78	98	104	110	120	130	
							80	(*)	80	135	65	95	110	120	125	130	142	
Hiyoshi	1992	Japão	Gravidade Reta	674.000	RCD	152	84	36	120	86	76	159	269					
							77	33	110	83	69	149	250					
Salto Caxias	1995-1998	Brasil	Gravidade Reta	920.000	RCC	50		(*)	0	143	36	50	82	114	132			
Miel I	2000	Colombia	Gravidade	1.800.000		63	150	(*)	150	133	114	148	178	195	219			
							125		125	130	96	126	156	176	183			
							100		100	125	68	94	119	133	148			
						85	123	61	85	105	118	130						
Al Wehdah	2006	Jordan	Reta	1.400.000		50	60	80	140	125	54	91	153	193	210			

(\*)- Uso de Pó de Pedra



Resultados de resistencias de CCR de algunas Presas en el Mundo

La cantidad de juntas de construcción generadas por esa metodología comenzó a inducir una mayor preocupación, cuando se compara con las presas tradicionales de concreto, evidenciando la percolación y adherencia dudosa, lo que reducía la seguridad de la estabilidad, en algunas de las primeras presas de CCR.

Esa situación hizo surgir un gran número de alternativas para la concepción del sistema de impermeabilización y del tratamiento de las superficies de las juntas de construcción en las presas construidas recientemente.

Ante esa situación dos puntos básicos merecen una discusión :

- ❖ Mantener la practicidad de la metodología de construcción de los macizos y garantizar un sistema de impermeabilización, y;
- ❖ Mantener el nivel de las propiedades del concreto convencional o tradicional y garantizar un proceso que proporcione juntas de construcciones con propiedades para no perjudicar la estabilidad.

Las Especificaciones Técnicas, no en tanto, con el transcurrir de los años, probablemente con la ansiedad de satisfacer las preocupaciones emergentes, enfocaron varios puntos del **Proceso** y no del **Producto**, siendo que el proceso hace parte de las responsabilidades-actividades del Constructor, los requisitos del **Producto** hacen parte del Proyecto.

Eses puntos serán abordados en los diversos itens siguientes.

## 2- ASPECTOS Y OCURRENCIAS PARA PROVOCAR LOS DEBATES

Como fue citado en otras publicaciones el CCR se caracterizó por ser simple, rápido y económico, pero es necesario recordar que – **HACER SIMPLE, NO ES DEJAR HACER, O** mucho menos **HACER MAL HECHO!**

En el transcurrir de ese desenvolvimiento del CCR en el Mundo, algunos hechos llevan a la necesidad de llamar la atención de los Profesionales y Empresas envueltas y, que están relacionadas con la Calidad.

Hay una tendencia errada y sin sentido, de que el concreto de obras masivas, como las de Presas solo se destaca por la Resistencia de las Probetas. Se dá una importancia muy grande, apoyada en las **ISO's** a ese asunto.

**Control de Calidad no es apenas el Registro de Datos! Es acción de corrección de hechos o un conjunto de medidas, adoptadas anticipadamente para que los errores sean minimizados!**

Entonces, vale la pena preguntar:

**✚ Que es importante para obtener Calidad en una Obra de CCR, o mas ampliamente en Presas?**

Es válido hacer una comparación entre el Sistema de Calidad de Concretos Masa y CCR, utilizados en Presas como se resume a continuación.

Material	Parâmetro/Índice	Concreto	
		CVC Massa	CCR
Cimento	Físicos/Químicos/Térmico	Sim	Sim
Material Pozolânico	Físicos/Químicos	Sim	Sim
Rochas para Agregados	Físicos/Químicos/Térmico/Sanidade	Sim	Sim
Agregado Graúdo	Granulometria/Forma/ Teores < 0,075mm	Sim	Sim
Agregado Miúdo	Granulometria/Teores < 0,075mm	Sim	Sim
Água	Qualificação Físico/Química	Sim	Sim
Aditivos	Qualificação Físico/Química	Sim	Sim
Concretos	Proporcionamento e Ensaio Laboratoriais	Sim	Sim
	Aterro Experimental	Não	Sim
	Uniformidade na Produção	Sim	Sim
	Acompanhamento no Manuseio (Transporte, Lançamento, Espalhamento, Adensamento e Cura)	Sim	Sim
	Ensaio de Umidade e Densidade durante e após o Adensamento	Não	Sim
	Preparo da superfície das Juntas de Construção	Sim	Quase sempre
	Apliação de Argamassa na Junta de Construção	Após anos 60- Não	Em alguns Países
Acompanhamento	Monitoramento e Auscultação	Grande Número	Algumas

Del cuadro, se nota que las atenciones en las obras de CCR son mas intensas de lo que se exigen rutinariamente en las Presas construidas con Concreto Vibrado Convencionalmente (CVC); (especialmente cuando se tiene la intención de obtenerse un desempeño mas uniforme – capacitación de los profesionales, tratamiento de juntas, control de compactación).

O sea, contando con un conjunto de herramientas técnicas mucho mas actualizado (Registros Fotográficos digitales instantáneos; registros computadorizados, apoyo de instrucciones de ISO's, disponibilidad de referencias técnicas "on-line"), las Presas de CCR presentan un gran número de "No Conformidades". Destaco tambien que simultaneamente las presas de CFRD (Enrocamiento Con Face de Concreto) tambien acusan un número elevado de "no Conformidades".

Debemos hacer aquí una pregunta:

- ***Cuál es la razón para ocurrir (proporcionalmente al número de Presas de Concreto existentes) un número elevado de "no conformidades"?***



**Presas de Primera Generación construídas en CCR, cuando no se prestaba atención adecuada al espaciamiento de Juntas de Contracción y Permeabilidad de Aguas Arriba**







**Presas donde no se dio atención (o se dio atención de forma errada) al Tratamiento de las Juntas de Construcción**



**Presas donde no dio atención adecuada al Sistema de Impermeabilización del Paramento de Aguas Arriba y al Tratamiento de las Juntas de Construcción**







**Presa donde no se dio atención adecuada a la vibración del GERRC del Paramento de Aguas Arriba, posteriormente se colocó adicionalmente una Membrana de PVC**



**Presa donde se observaron fisuras por asentamiento plástico y porosidad en los concretos de regularización, por causa de compactación (vibración) deficiente**



**Presas donde no se dio atención adecuada a las Juntas de Contracción y de Construcción, posteriormente se realizaron reparaciones con Membrana de PVC**



**Presas donde no se dio atención adecuada al Sistema de Impermeabilización del Paramento de Aguas Arriba y al tratamiento de Juntas de Construcción**

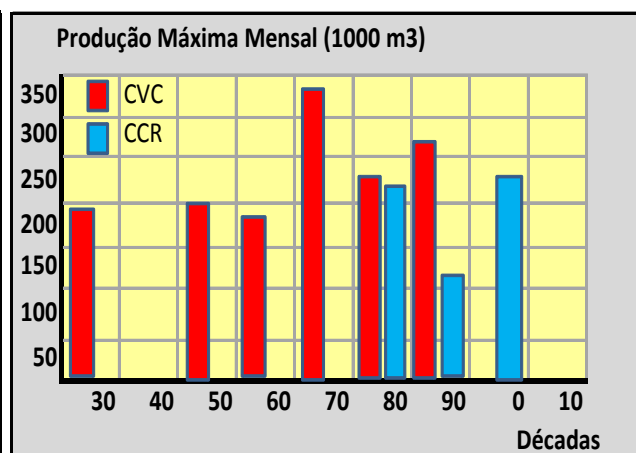


**Presas donde no se dio atención adecuada a la compactación de los concretos CVC y CCR**

Existe una gran tendencia , por no decir un “ufanismo” en establecer record de producciones de CCR, pero es importante recordar que obras grandes de CVC Masa, construidas hace varias décadas, tuvieron producciones tan o mas elevadas y que todavia

no fueron superadas, y, esas obras se destacan por excelente Calidad, como se cita a continuación:

Aplicações Máximas Mensais (Aproximadas) de Concretos [m3/mês]				
Projeto	Concreto	Produção	Década	País
Hoover	CVC Massa	190.000	30	USA
Grande Dixence		200.000	50	Suiça
Dworshak		180.000	60	USA
Itaipu		335.000	70	Brasil-Paraguay
Tucuruí		215.000	80	Brasil
Huites		285.000	90	México
Shimajigawa	CCR	30.000	80	Japão
Urugua-i		100.000	80	Argentina
Upper Stillwater		204.000	80	USA
Miel - I		118.000	90	Colombia
Ollivenhain		225.000	> 2000	USA
Beydag		150.000	> 2000	Turquia



**Presas construidas con CVC Masa y CCR, con las respectivas producciones máximas de concretos**

**Atención: Ninguna de las Obras de CVC Masa precisó de 40 a 60 % de agregados acopiados anticipadamente, para comenzar una obra.**



## 3- PROYECTO Y CONTRATO

### 3.1- Generalidades

Aun que el CCR sea una Metodología de Construcción, el Proyecto que concibe o permite su empleo, puede ser optimizado con el fin de facilitar la adopción del proceso.

Así es que desde antes de su aparición, el uso del CCR en la Presa de Alpe Gera (Italia) construida entre 1961 y 1964 adoptó varios procedimientos que fueron, posteriormente incorporados en las construcciones de presas de CCR. Un concreto “pobre” fue colocado en capas de 700 mm de espesor, de una margen a la otra, evitando la formación de monolitos aislados como en las construcciones tradicionales. Las Juntas de Contracción fueron cortadas después del colado de una capa sobre la anterior. La impermeabilización de la presa fue realizada por chapas metálicas colocadas aguas arriba.

De otro modo, también la publicación de Raphael <sup>[03]</sup> describió la “óptima presa de gravedad” como siendo un material estabilizado con cemento, optimizado con respecto a los taludes de la presa y el tenor de cemento. Esa estructura optimizada sería algo entre los extremos de un gran volumen de una presa de material (sin cemento) compactado y el volumen de una presa de gravedad en concreto.

La cantidad de Juntas de Construcción entre las delgadas capas y el respectivo control puede influenciar la estabilidad global de presas en términos de sub-presión, resistencia a la tracción y cizallamiento o de corte en el plano entre las Juntas de Construcciones.

Ante eso los Proyectistas de presas de CCR pueden tener dos aproximaciones:

- “Global”, que considera la impermeabilidad con base en la calidad del propio tratamiento de cada junta; o,
- “Individual”, que considera una barrera impermeable independiente, que normalmente se coloca aguas arriba, de forma análoga a las presas de enrocamiento.

Independiente de las tendencias de Proyecto, que se refieren a la barrera de impermeabilización, varias tendencias fueron y han sido adoptadas Internacionalmente por varios Países. Por ejemplo:

- ☞ Japón es el principal usuario de la Metodología RCD, utilizando el CVC colado contra el encofrado de aguas arriba, en forma simultánea con el CCR;
- ☞ China es el principal usuario de la Metodología de Ge-RCC, utilizando o CCR “enriquecido” con nata de cemento colada en el CCR y vibrado convencionalmente;
- ☞ Brasil que desarrolló el CCR rico en finos de “Polvo de Roca” con bajo tenor de aglomerantes y con la face de aguas arriba materializada de forma semejante a los Japoneses con un CVC con un máximo de 200 kg/m<sup>3</sup> de aglomerante, pero con una gran cantidad de finos.

El Proyecto, por lo tanto debe establecer las condiciones de funcionalidad y operabilidad del emprendimiento. Es lo que hace transformar idea en realidad.

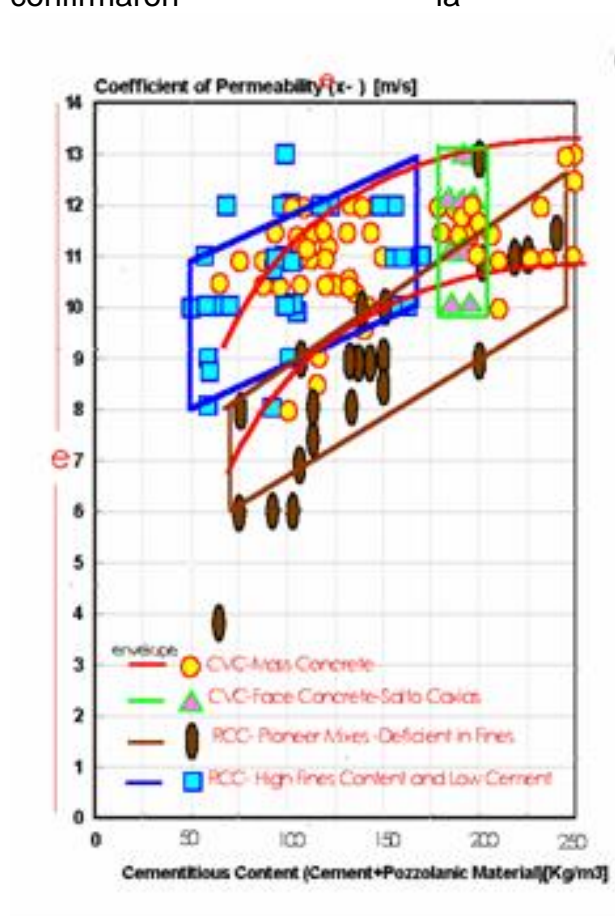
En esa transformación debemos tomar cuidados en puntos que estadísticamente son vulnerables, y / o de relevante importancia.

- Volviendo al ejemplo del mata junta (foto del item anterior) calificado y del concreto adecuadamente dosificado, no sería prudente tener una línea doble de mata junta , con un dispositivo intermediario de acción, como por ejemplo un dren?
- La existencia, también, de una galería posibilita una acción correctiva.

Presas con altura moderada (15 m) para altas (arriba de 40-50 m), deben ser evaluadas para la conveniencia de implantar las galerías o accesos que posibiliten acciones correctivas, comparándolas con las dificultades y costos constructivos.

Los conceptos de seguridad, durabilidad y funcionalidad impuestos por el Proyecto deberán estar situados en el ambiente en que se va a construir. Se debe considerar el tipo y calificación de la Mano de Obra disponible, la velocidad de construcción posible de realizar, los avances factibles. Debe dentro de lo previsible de la Ingeniería, prever las dificultades y las medidas correctivas.

Las primeras utilizaciones de CCR en Presas (entre 1982-1984) confirmaron las previsiones de la necesidad de tomar cuidados con la impermeabilización del paramento de aguas arriba, como citado en la Referencia<sup>[10]</sup> y en los Documentos de Licitación para Willow Creek<sup>[21]</sup> como así también con lo que sucedió en Willow Creek<sup>[21]</sup> y en otras presas, que utilizaron un alto contenido de aglomerante. Varios estudios posteriores confirmaron la elevada permeabilidad.



Permeability Results of Mass CVC and RCC. <sup>[23]</sup>

A partir de esos hechos la cantidad de finos (material mas fino que 0,075 mm) , activos o no (no cohesivos), comenzaron a ganar espacio y utilidad técnica, que pueden ser consideradas como la **Segunda Generación de Presas de CCR.**

Esta práctica evidenció que la reducción de la Permeabilidad no depende necesariamente del Tenor de Aglomerantes, llegando a Coeficientes de Permeabilidad de  $10^{-11}$  a  $10^{-12}$  m/s, con consumos de aglomerantes en torno de 100 kg/m<sup>3</sup>.

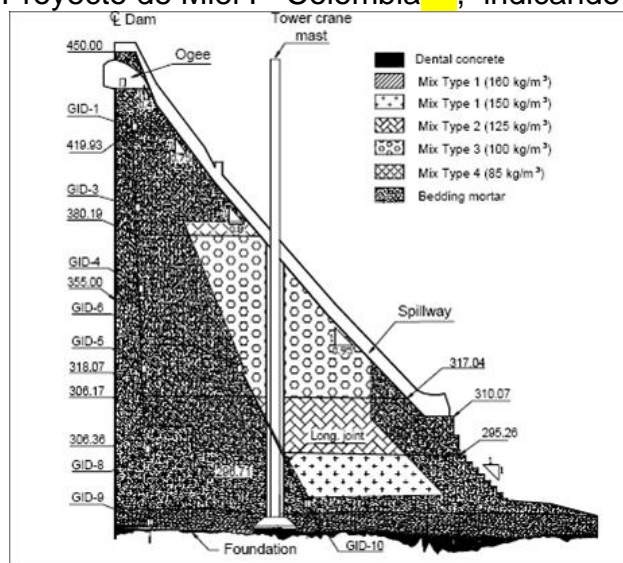
Como complemento, hay que destacar que las máquinas (Trituradores) contemporáneas para producción de agregados, son capaces de producir granos arredondados de arena artificial, y por eso mismo, producen una cantidad mayor de finos. O sea, además que los Finos son un “by product” hay una relevante utilidad y a bajo costo.

Además de eso, en función de las características mineralógicas de la matriz de la roca, que se utilizará para la producción de los agregados, esos finos pueden presentar alguna “Actividad Puzolánica”, aumentando las propiedades resistentes en edades mas avanzadas, hasta 12 años de edad, como fue demostrado en Capanda-Angola<sup>[17]</sup> donde se utilizó Cemento Portland Comun con “Polvo de Roca” de Meta-Arenisca, y, en las Presas de Salto Caxias y Miel I (ver evoluciones de Resistencias en el Cuadro precedente).

De forma semejante, alrededor de 1985 se intentó (Dunstan) crear la tendència de construir Presas de CCR sin Juntas de Contracción y, sin necesidad de un alto Contenido de Cemento<sup>[24; 25]</sup>, lo que resultó en un escenario de fisuramiento sistemático en la Presa de Upper Stillwater, induciendo en las décadas siguientes a elevados costos de mantenimiento-reparación.

A partir de eso, los Estudios Térmicos ganaron atención, como así tambien el Control de Temperatura de Colocación del CCR, como tambien la adopción sistemática de Juntas de Contracción, atendiendo a lo que se indicaba como **Simplicidad.**

En las Presas de grandes volúmenes, se buscó adoptar un “zoneamiento” de Clases de CCR (como siempre se hizo en Presas de CVC Masa), como se puede mostrar en el Proyecto de Miel I - Colombia<sup>[20]</sup>, indicando las siguientes Clases de CCR:



RCC Mix	Cement Content (kg/m <sup>3</sup> )	Volume Used (m <sup>3</sup> )	% Related to the Total RCC Volume
1. A	160	29.930	1,7%
1	150	255.480	14,6%
2	125	438.100	25,1%
3	100	709.800	40,7%
4	85	311.450	17,9%

**Class Zoning of RCC at the Miel Dam– Colombia<sup>[20]</sup>**



Todos los Profesionales participantes del Proyecto Miel I consideraron que esa era una de las mas altas Presas de CCR del Mundo, y todo su volumen fue prácticamente colado con CCR de **Bajo Tenor de Aglomerante**.

Pero con los cambios de conceptos de aceptar la concepción de Bajo y Alto Tenor de Aglomerante, Miel I puede ser considerada como de **Bajo**, pero tambien de **Medio** y hasta de **Alto Tenor** de Aglomerante.

👉 **Pura Filosofía o Vaidad Semántica?**

Los conceptos de Análisis de Estabilidad y de Tensiones en el cuerpo de La Presa de CCR son los mismos utilizados desde hace mucho tiempo en las Presas de CVC.

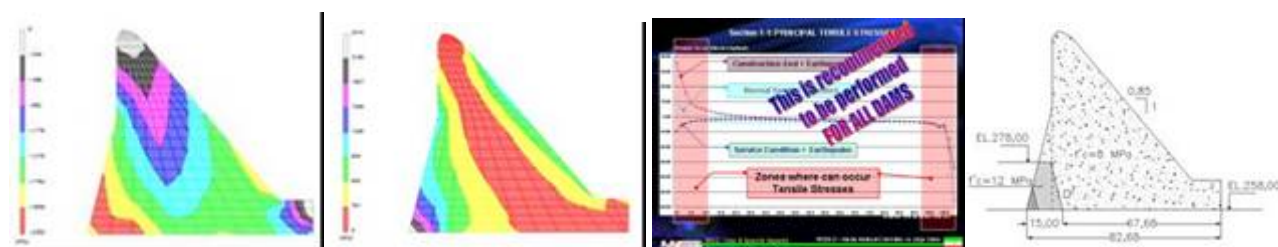
Cuales deberian ser las atenciones especiales **ORIUNDAS DE LA METODOLOGIA? Hay alguna debilidad inducida? Cuales? Que Defensas deben ser adoptadas?**

- 👉 Las condiciones decurrentes de un mayor número de Juntas de Construcción son las características del CCR?
- 👉 Mas eso tambien es una condición para las Presas de CVC Masa!
- 👉 O sea **Donde está el Problema?**
- 👉 Es importante Generalizar o Buscar Remedio o Terapia para un determinado Síntoma?

Esse es el análisis que del punto de vista del Autor, debe ser adoptado!

Los conceptos de Análisis de Estabilidad y de Tensiones es decurrente del Aspecto Térmico (Generación de Calor), solamente deben ser ajustadas las variaciones temporarias y por inducción decurrente de la velocidad de construcción, y aquí, el desarrollo de las propiedades del CCR con la edad es bastante relevante. Eso es lo que debe ser considerado!

La cantidad de aglomerante (cemento y materiales com características puzolánicas) resultan de la necesidad de atender los requisitos del Proyecto en determinadas edades, no necesariamente a los 28 dias.



**Diagramas de Tensiones de un Proyecto de Presa en CCR, con mas de 100m de Altura, em región de alta Sismicidad**

Casi siempre se obtienen ventajas al “zonear” el cuerpo de la Presa con distintas Clases de CCR. Pero algunos Costructores pueden argumentar:

👉 **Oh! Pero eso reducirá la Productividad!**

**“Nonsense”** – Ese tema no puede ser generalizado (ver ejemplo de Miel –I). Eso depende claramente de cómo ese “zoneamiento” es “Ingeniado”! Eso puede ser simplificado, creando ventajas de costos.

Eso puede facilmente ser comprendido, aun para Regiones Sísmicas y de que un simple “zoneamiento” no reduce la Velocidad de Construcción,

### **Y el Aspecto Térmico?**

Ese es tambien un aspecto que no debe ni puede ser generalizado.




De una forma genérica, el fenómeno de **“Restricción”, (“Restraining”)** (fundamentalmente debido a la diferencia entre Módulos de Elasticidad entre capas sucesivas entre Roca de Fundación y la capa de concreto), como así tambien las propiedades del concreto y de los materiales deben ser conocidas y entendidas. Sabiendo como ellas son afectadas y como ellas son influenciadas!

El Fenómeno de **“Restricción”,** de la estructura, con relación a la base de fundación (**“Restricción Plena”**) deben ser comprendidas por los Profesionales que Proyectan y Especifican requisitos para los Proyectos.

La difusión y el cambio de Calor Generado (durante la hidratación del “Alto” o “Bajo Tenor de Aglomerante”, con el ambiente en las construcciones de CCR es bastante importante.

Aun que las Presas de CCR tengan el mismo concepto que las estructuras de CVC masivo, la Metodología de Construcción, en capas sucesivas de pequeña altura, facilita el inter-cambio de calor, de una forma mas rápida y eficiente de que en las estructuras masivas en CVC, con capas de 1,5 a 2,0 m de altura.

Entonces, es necesario y conveniente entender :

-  Sobre la variación del Fenómeno de la “Restricción” en función de la altura del concreto sobre la fundación (o debido a la diferencia del Módulo de Elasticidad entre las capas sucesivas sobre la base, sobre la cual es colado o colocado).
-  Sobre la Difusión – Cambio de Calor con el Ambiente, cuando las capas de cerca de 30 cm de altura es adoptada para el CCR, o de 0,5 a 1,0 m cuando es utilizada para o CVC, y;
-  Sobre las Propiedades Térmicas de los Materiales y Concretos, tanto para CCR como para CVC.

Así como el tercer ítem (arriba) tiene la misma importancia para las estructuras masivas de CVC como las de CCR, los dos primeros ítems tienen una repercusión mayor para el CCR que para el CVC masa.

Con relación al desarrollo de la Restricción, es importante recordar que cuando comienzan los colados de CCR en las construcciones, la curva de aprendizaje y la inercia inicial de producción difícilmente posibilita que se construya mas que una capa de CCR por día. La efectiva y plena producción, normalmente se consigue a partir del 10 % de la altura total de la estructura, sobre la fundación, entonces, el proceso de fisuramiento es menor.

En la misma situación, al construirse solamente una capa de CCR por día, en esa región, el área de exposición es grande en la parte superior de la capa de CCR y la pequeña altura de la capa de CCR facilita el intercambio de calor (disipación) con el

ambiente, y, en pocas horas la temperatura media de la camada de CCR se asemeja a la temperatura del ambiente.

Y, si esa camada de CCR es colada (colocada) con una temperatura inferior a la del ambiente, de la misma forma se obtendrá el equilibrio de temperatura de la camada con la temperatura del ambiente. Y, en esa situación habrá una Pérdida de Energía y de Costo de Pré- Enfriamiento, pues en pocas horas se establece el equilibrio térmico.

Esa situación es prácticamente general en estructuras macizas de gravedad, con base grande junto a la fundación.

En los Proyectos de Presas en Arco con Doble Curvatura, con bases pequeñas en las fundaciones, en esos casos puede suceder que se construya mas que una camada de CCR por dia y el referido beneficio de Disipación no sea eficiente.

O sea, el Programa de Construcción idealizado por el Constructor deberá ser ajustado, generando ventajas (al Constructor, Ofertante de la Licitación) o para el Cliente-Propietario, en su presupuesto, con base en el análisis del Proyecto y Cronológico, con relación a los detalles técnicos y de conceptos.

## 3.2 Contrato y Normas de Medición

Las Normas de Medición y de Pagos pueden condicionar los aciertos-premios y los errores-multas.

Los contratos deben tener Atribuciones – Competencias – Responsabilidades bien definidas y claras.

### 3.2.1 Especificaciones Técnicas

- ¿ Hay necesidad de Especificar un Cemento o Material Puzolánico que no se encuentre disponible en un País o Región, solamente con el objetivo de ser utilizado en el CCR ?
- ¿ Hay necesidad de establecer condicionantes para La utilización de una Metodología y no para el **Producto**, por el hecho de ser CCR ?
- ¿ Hay necesidad de indicar un determinado tipo de encofrado o colocación de material en la Junta de Construcción de una Presa de Gravedad, apenas por la razón de ser construída en CCR?

El CCR es una Metodología de Construcción que llegó con el objetivo de simplificar la construcción y no para complicarla.

- ¿ Las Especificaciones Técnicas deben tener por objetivo el **Proceso** o el **Producto**?

La cantidad de juntas de construcción que se generan por esa metodología, comenzó a generar una mayor preocupación, cuando se comparan con las tradicionales construcciones de concreto, evidenció la infiltración y adherencia dudosa, lo que reduciría la seguridad de la estabilidad, en algunas de las primeras presas de CCR.



Esa situación hizo surgir un número elevado de alternativas para la concepción de un sistema de impermeabilización y del tratamiento de las juntas de construcción en las presas mas recientes.

Ante esos dos puntos básicos, viene la discusión:

- ❖ Mantener la practicidad de la metodología de construcción de los macizos y garantizar un sistema de impermeabilización y,
- ❖ Mantener los niveles de las propiedades del concreto tradicional y garantizar un proceso que proporcione juntas de construcciones con propiedades para no perjudicar la estabilidad.

Las especificaciones técnicas, en el transcurso de los años, probablemente en la ansiedad de atender las preocupaciones emergentes, haya enfocado en varios puntos el Proceso y no el Producto, siendo que el proceso hace parte de las responsabilidades-actividades del Constructor y los Requisitos hacen parte del Proyecto.

El conocimiento de **todas** las propiedades de los materiales componentes y utilizables en el Proyecto-Construcción debe ser dominado, en una escala que no facilite el riesgo o la duda.

Las construcciones de CCR posibilitan ser desarrolladas rapidamente, con velocidades cuyas propiedades elásticas y mecánicas deben ser conocidas y dominadas.

El desarrollo de las propiedades de los concretos – CVC o CCR – a lo largo del tiempo, con la edad, debe ser conocido o, por lo menos tomado en consideración.

## 4- MATERIALES

### 4.1-Cemento

#### 4.1.1- Ejemplo de Requisito Inconveniente

Para una determinada Presa de CCR en un cierto País la Especificación Técnica exigía para la obra lo siguiente:

*“... El Constructor debe emplear como aglomerante para el CCR, cemento tipo Portland, producido en el País con las características aprobadas por la Inspección....además de lo Especificado en este Capítulo, el cemento deberá tener bajo calor de hidratación (máximo de 70 cal/g a los 7 días) y bajo tenor de álcalis (máximo de 0,4 %) y debe tener.....SiO<sub>2</sub> ≥ 20%; C3A ≤ 8%...; Residuo Insoluble ≤ 0,75%...”*

A pesar de todo lo Especificado, en ese País no consiguió cumplir con todas las exigencias simultaneamente. Los cementos producidos en ese País son de elevada calidad, con gran cantidad de CaO (superior a 60%), lo que induce a que, cuando molido en Finezas deseadas, va a producir índices de Calor de Hidratación superior a los requerimientos. Por otro lado al inhibir ese calor (y el C3A) hay la necesidad de incluir un cierto porcentaje de Sílice o Mineral de Hierro, donde la Sílice aumentaría el Residuo Insoluble, que llegaría a cerca de 2,8%, lo que obligaría a importar Mineral de Hierro para completar la corrección. Entonces, cual es la razón para especificar para el CCR un cemento que no existe en ese País, siendo que varias obras presas de concreto ya habían sido construídas allí ?

#### 4.1.2- Debates de Interés Técnico

Para el mejor uso del Cemento para una Presa se puede optar por :

Disponibilidade na região	Uso de Interesse	Tipos Mais adequados	Disponibilidade de Materiais Pozolânicos	Ensaio recomendáveis
Todos os Tipos de Cimento	Somente Cimento	Pozolânico, Alto Forno	Necessidade de avaliar vantagens de outra adição	Atividade Pozolânica a várias idades (de preferência até 365 dias), a diversos Teores e Finura Variável
Somente Tipo Comum	Única	Opção	Necessidade de avaliar vantagens de uso	Atividade Pozolânica a várias idades (de preferência até 365 dias), a diversos Teores e Finura Variável
Possibilidade de ter atendimento Especial do Fornecedor	Indicar Índices Específicos	CaO, Finura, Calor de Hidratação	Necessidade de avaliar vantagens de uso	Atividade Pozolânica a várias idades (de preferência até 365 dias), a diversos Teores e Finura Variável
Somente Tipo Comum	Única	Opção	Disponibilidade apenas de ter "Rock Flour"	Atividade Pozolânica a várias idades (de preferência até 365 dias), a diversos Teores e Finura Variável
Somente Tipo Comum	Única	Opção	Indisponibilidade de qualquer tipo de material Pozolânico	Avaliar aspectos Técnicos e Econômicos para a Importação. Magnitude da Obra e Característica

### 4.2- Material Puzolánico

## 4.2.1- Ejemplo de Requisito Inconveniente

En una obra de un determinado País, la Especificación Técnica decía:

*“...La ceniza volante o la puzolana natural debe cumplir con los siguientes requisitos de la Norma ASTM – C – 618, y la escoria granulada de alto horno con la Norma BS – 6699...”*

Sucede que en ese País donde se iba a construir la Presa, no hay material puzolánico que atienda integralmente las Normas indicadas, y, en el caso que algunos de esos productos pudiesen ser utilizados, necesitaría de ser realizada una trituración exagerada.

En otro País, en la región del Mundo Árabe, donde la Energía Eléctrica es generada principalmente por Termo-Eléctricas con derivados de petróleo y no por carbón (que produce cenizas volantes) se especificó la adición de una gran cantidad de Cenizas Volantes (que nos existen en el País) para construir el CCR.

Entonces, nuevamente se pregunta, cual es la razón para especificar para el CCR un material puzolánico que no existe en ese País?, solamente para justificar el título de **Alto Tenor de Pasta**, siendo que varias obras de Presas en concreto ya habían sido contruídas allí.

Si por lo menos los estudios hubiesen sido realizados con el objetivo de inhibir una posible Reacción Alcalis-Agregados, ya sería una buena justificatiba técnica.

Para otra Presa en otro País se requería lo siguiente:

*“...El CCR para este Proyecto es una combinación de agregados pequeños y grandes, cemento, ceniza volante y aditivo químico que será mezclado con agua de tal forma que se ontenga una consistencia...”*

*...La ceniza volante debe estar de acuerdo con la ASTM C 618, en la Clase F...”*  
uma moagem intensa.

Sucede que en ese País, de esa obra, también no hay Material Puzolánico que atienda plenamente las Normas indicadas como así también ceniza volante (Fly Ash). Aquí nuevamente se llega a una conclusión, para que ese material pudiese ser utilizado, habría que efectuar una intensa trituración.

## 4.2.2- Debates de Interés Técnico

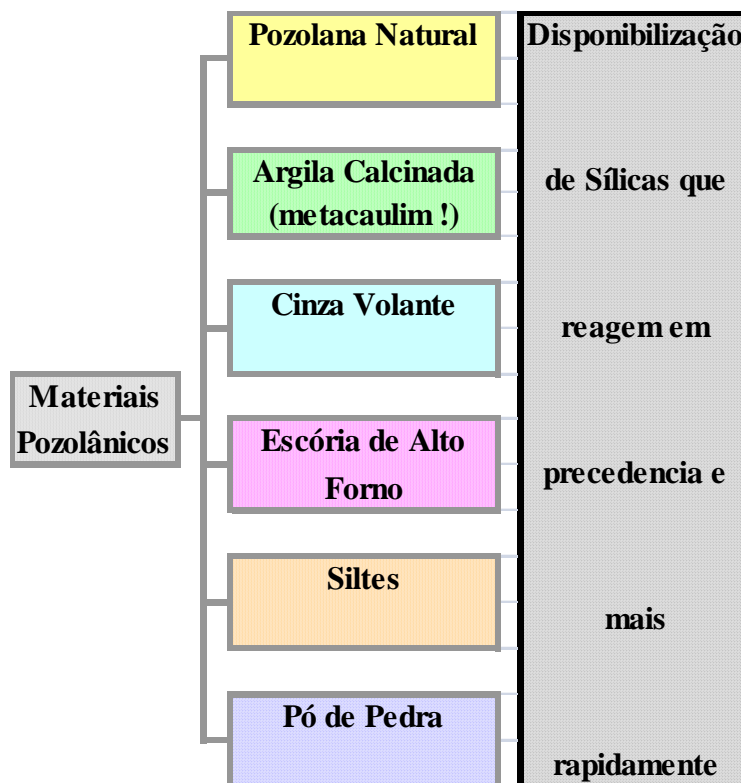
Para o melhor uso de Material Pozolânico para uma Barragem pode-se optar:

Para el mejor uso del Material Puzolánico para una Presa, se puede optar por lo siguiente:

Disponibilidade na região	Uso de Interesse	Tipos Mais adequados	Disponibilidade de Materiais Pozolânicos	Ensaio recomendáveis
Todos os Tipos de Cimento	Somente Cimento	Pozolânico, Alto Forno	Necessidade de avaliar vantagens de outra adição	Atividade Pozolânica a várias idades (de preferência até 365 dias), a diversos Teores e Finura Variável
Somente Tipo Comum	Única	Opção	Necessidade de avaliar vantagens de uso	Atividade Pozolânica a várias idades (de preferência até 365 dias), a diversos



				Teores e Finura Variável
Possibilidade de ter atendimento Especial do Fornecedor	Indicar Índices Específicos	CaO, Finura, Calor de Hidratação	Necessidade de avaliar vantagens de uso	Atividade Pozolânica a várias idades (de preferência até 365 dias), a diversos Teores e Finura Variável
Somente Tipo Comum	Única	Opção	Disponibilidade apenas de ter "Rock Flour"	Atividade Pozolânica a várias idades (de preferência até 365 dias), a diversos Teores e Finura Variável



Las Adiciones Minerales son materiales con sílice finamente divididos que se agregan al cemento. El uso de materiales puzolánicos en los concretos masivos es una práctica vieja y renombrada, que usa porcentajes de alrededor de 15 y 25%, predominantemente (Don Cascón- para sus consideraciones, utilizando buenas cenizas). El advenimiento del CCR llevó al uso de volúmenes más altos de materiales puzolánicos. En un porcentaje adecuado, puede colocarse escoria de Alto Horno, que también presenta las características del puzolánico.

Algunos aditivos minerales pueden mostrar la actividad del puzolánico (ceniza volante, puzolánico natural y la arcilla calcinada), algunos otros son los cementos con escoria de Alto Horno granulada, considerando que otros son cementos puzolánicos con ceniza volante.

Se aconseja una prueba previa de las fuentes potenciales de material puzolánico en la mezcla de CCR, para todas las estructuras. Si ninguna otra fuente de aditivos minerales está disponible, es posible obtener una cierta actividad puzolánica usando un relleno silíceo, mediante el molido de las piedras con cierta cantidad y condición mineralógica de matriz silícea. Aun cuando, estos dos últimos materiales generalmente son menos eficaces que otros tipos de materiales, ellos se han usado en presas de CCR, particularmente en Brasil [10 hasta 17], y en algunos otros países [26 hasta 28].

El uso de aditivos minerales o rellenos en las mezclas de CCR puede servir para uno o más de los propósitos siguientes:

- como un propósito técnico para minimizar la Reacción Alkali-Agregado;
- como una proporción del volumen de cementados para reducir la generación de calor;
- como un aditivo para proveer finos adicionales al funcionamiento de la mezcla e impermeabilidad, y
- como una proporción del volumen de cementados para reducir el costo.

La conveniencia de adoptar la curva de tipo cúbico de graduación como se mencionó previamente, implica tener alrededor de 10 a 15% de finos (material inferior a 0.075mm). Para que esto sea posible hay que confiar en el uso de "Sedimentos", obtenidos en depósitos naturales o por la producción de finos usando roca molida, arena gruesa o escoria de Alto Horno. En estos casos la roca molida, que produce la "Harina de Roca", puede aun traer más beneficios, si, además de componer la curva granulométrica deseada, los agregados tienen volúmenes y condiciones mineralógicas ( $\text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) que tengan actividades puzolánicas satisfactorias.

El uso indistinto e irracional de volúmenes altos de material puzolánico no es aconsejable bajo dos aspectos:

- ☞ La indisponibilidad ocasional de compuestos de Calcio, presentes en el Cemento, para que reaccione totalmente con los componentes del material puzolánico.
- ☞ Los costos

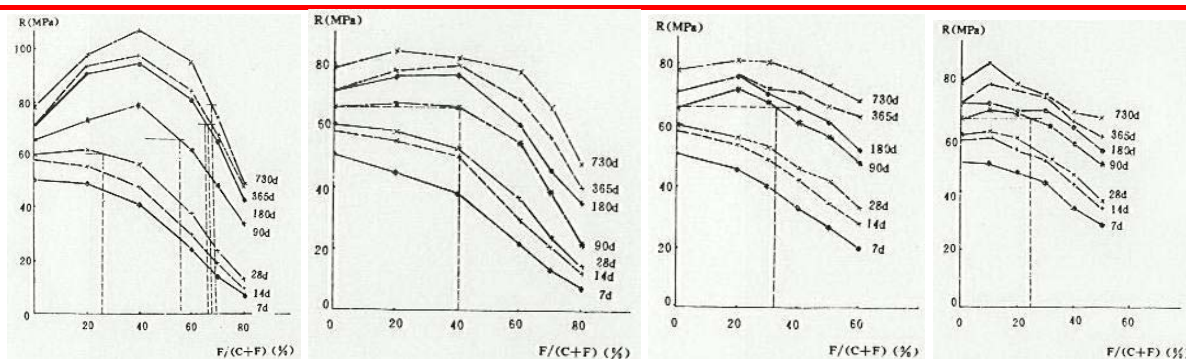
Es decir que el volumen adecuado de material puzolánico a ser usado depende de la Actividad Puzolánica, a ser mostrado junto con el cemento y pruebas con volúmenes de combinación diferentes de cemento y material puzolánico.

Un buen ejemplo sobre esta evaluación puede observarse en estudios japoneses, chinos, y brasileños, donde queda en evidencia lo siguiente:

*• Los estudios japoneses - "...Como resultado, se aclaró que mezclando el relleno en cantidad apropiada, los valores de VC (Valor de Compactación por Vibración) de cantidad de hormigón derramado, y fácil compactado, y la resistencia de compresión se incrementó. Es más, se cree que la piedra molida no lavada es posible..." ;*

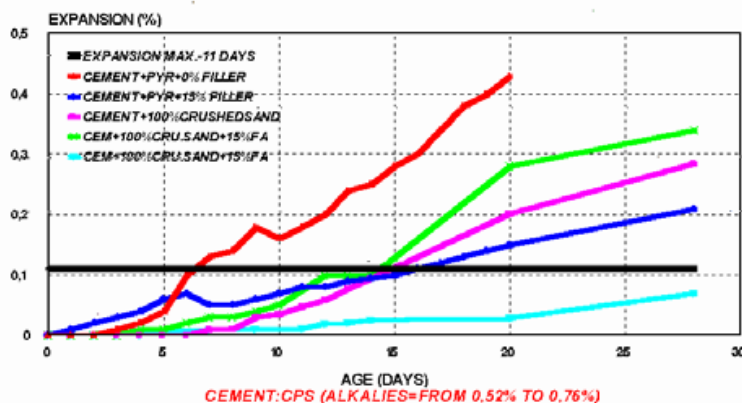
*\* Los estudios japoneses - "...Como resultado, se esclareció que mezclando cementos y puzolanas en cantidades adecuadas, los VC (Valores de Compactación por Vibración) de los concretos (hormigones) colados facilitan la compactación y aumentan la resistencia a la compresión. También se es posible usar la roca molida y no lavada...." ;*

*Reverendo, esta parte do texto está meio confuso, vou tentar interpretar e fazer um texto para vc analisar,,,,*

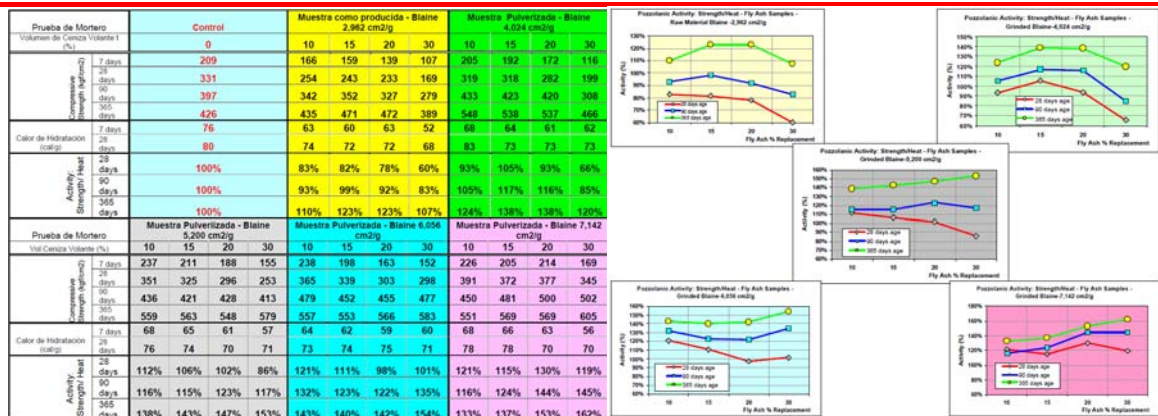


- Los estudios chinos - "...El volumen óptimo de Ceniza Volante debe determinarse según la calidad de la misma, resistencia y diseño de resistencia del hormigón, variedad y graduación de la fuerza del hormigón, proporción del precio del hormigón para la Ceniza Volante y para que ...";
- Los estudios brasileños- "...La resistencia mejorada se obtuvo con el uso de Relleno en el CVC, más la mejora observada en la reducción de la permeabilidad del CCR demuestra que el uso de este material es valioso..."

POTENTIAL REACTIVITY OF CRUSHED POWDER FILLER  
ACCELERATED MORTAR BARS METHOD OF TEST (A.S.T.M.-C-1260)



"...Los Indices de Actividad Puzolánica con varios cementos han demostrado aumentar con la edad y Finura (Blaine) del relleno incorporado; Los rellenos probados han demostrado una eficacia sustancial para reducir las expansiones que son el resultado de la Reacción Alkali-Sílice que demuestra otra acción importante del puzolánico; el conjunto de datos analizados en este informe deja evidente una característica puzolánica sustancial de los Rellenos estudiados, que establece la validez de su uso en el CCR y también en los tipos de cocretos (hormigones) convencionales, lo que corrobora la expectativa teórica mencionada en el texto...";



El uso de material puzolánico ha obligado a los diseñadores a revisar las propiedades que controlan la edad que, alrededor de los años 70 estaban entre 28 y 90 días, con muy pocos países usando las edades de 180 días y un año. La situación actual es la de controlar las propiedades con más de 90 días.

El uso de altos volúmenes, hacen que parte del material puzolánico actúe como "Relleno" y esto debe evaluarse económicamente (como mencionado anteriormente).

Se debe llamar la atención para determinados tipos de rocas, como las calcáreas, con características mineralógicas específicas y que pueden presentar Actividades Puzolánicas moderadas y que fueron descritas en [29] donde está demostrado.

*..."Limestone has rich reserves in china, and is widely distributed, easily available and easy to pulverize into limestone powder with low energy consumption. Using limestone powder as supplementary mineral fines for RCC can greatly expand the development in the area where it is lack of fly ash..."*

### 4.3- Aditivos

El uso de aditivos en RCC es un hecho relativamente nuevo. El uso de aditivos químicos ha aumentado desde mediados de los 90, apuntando a controlar la colocación y ampliando el margen operacional para el transporte y compactación del CCR. Su uso ha propiciado, además del control del conjunto, ganancias en las propiedades de resistencia y eso se convierte en un parámetro técnico con implicaciones económicas, que debe ser analizado. La elección de cualquier aditivo debe confirmarse por las mezclas de ensayo de laboratorio y lo ideal sería después de ensayos, durante la producción industrial. Algunos aditivos, trabajan bien con algunos materiales cementantes y con deficiencias cuando se utilizan otros materiales (agregados).

### 4.3- Agregados

#### 4.3.1- Ejemplo de Requisito Inconveniente



Con respecto a los agregados, analizando las diferentes Especificaciones Técnicas de varias Presas de CCR, en diferentes locales, se nota lo siguiente:

País	Barragem	Volume Aproximado de RCC (m3)	Requisitos das Especificações Técnicas	Estoque Antecipado de agregado
A	1	> 1,000,000	<i>"...O Construtor deverá enviar à Inpeção, um ano antes de começar a construção da barragem a análise e resultados de ensaios de agregados propostos... ....os agregados para o RCC serão obtidos a partir da exploração das Jazidas "A" e "B", estudadas pela Inspeção. Entretanto qualquer mudança nas características dos agregados... não será causa de reclamação ....O Construtor deverá ter armazenado antes do início da obra o equivalente a 5 a 10% do agregado necessário para a construção da Barragem..</i>	5 a 10 %
A	2	> 1,000,000	<i>....O Construtor deverá ter armazenado antes do início da obra o equivalente a 50% do agregado necessário para a construção da Barragem...</i>	50 %
B	1	> 1,000,000	<i>... O Construtor deverá manter a qualquer momento da obra um volume de agregado equivalente a um mês de produção, sobre um piso de concreto, e o agregado miúdo deverá ser protegido por uma estrutura metálica...</i>	15%
C	1	> 1,000,000	<i>...A colocação do RCC na barragem somente será iniciado após se ter pelo menos 40% de todo agregado para o RCC processado e estocado...</i>	40%

Se nota que no hay unanimidad conceptual para ese requisito y sí una exigencia de cierta cantidad.

Por otro lado y de una manera general, se ha observado en las obras tradicionales de presas, que el acopio mínimo deseado, debe ser dimensionado para atender la demanda, durante el período de mantenimiento y reparaciones de los equipamientos o de piezas de reposición mas demorado, que es de alrededor de una semana. O sea, va depender de la localización de la obra y de la logistica de la misma.

Se pude entonces cuestionar :

- ¿ Cual es la razón por la cual se requiere un almacenamiento anticipado de agregados?
- ¿ Será que el Constructor no sabe planificar?

Imaginemos si para la construcción de la Presa de Itaipú, una de mayores Presas de concreto de los últimos 40 años, si hubiese una exigencia de acopiar 60 % de los agregados necesarios antes de iniciar la construcción ?



**Histogramas previstos (amarillo) y realizado (rojo) durante la ejecución de la Obra de Itaipú**

Volume de Concreto (m3)	60% do Volume (m3)	Agregado/m3 de Concreto	Volume e Agregado requerido para os 60%	Área de estocagem considerando uma altura de 12m (exemplo)
13.000.000	8.400.000	2,2 t/m3	12.000.000m3	1.000.000m2
Área total usada durante a construção			Cerca de 60.000m2 nas duas instalações	
Diferença entre o Exemplificado e o real uso			1.000.000-60.000= 940.000m2 ou seja 16 vêzes o realmente necessário	



**Areas de los Sistemas de Producción e Beneficiamiento de Agregados e de Pré-enfriamiento de los Agregados, en ambas márgenes del Rio Paraná, para la ejecución de la Obra**

es importante recordar :

- La obra nunca tuvo discontinuidad por falta de agregados;
- El Pico de colado de concretos fue estimado en cerca de 250.000 m<sup>3</sup>/mes y fue superado, llegando a cerca de 340.000 m<sup>3</sup>/mes, o sea 36 % mayor;
- La superación de lo Estimado para el Real, fue perfectamente contornado por los criterios conceptuales del dimensionamiento de las instalaciones y equipamientos para la construcción de las obras.

Otra particularidad exigida era :

*...La Inspección podría ordenar al Constructor una aspersión continua de agua para mantener uniforme la humedad de los agregados, reducir la segregación y producir un enfriamiento por evaporación...*

En una región con mas de 80 % de humedad relativa, como era en el local de implantación de la obra, queda muy claro que el efecto de enfriamiento por evaporación será prácticamente nulo ¡!

Se puede tambien mencionar de otra Especificación citada en el cuadro de arriba que :

*...El Constructor debe mantener en cualquier momento de la obra, un volumen...sobre una superficie (piso) de concreto y el agregado pequeño debe ser protegido por una estructura metálica...*

Cual es la necesidad de tener un piso de concreto? Podria ser un piso protegido con el mismo material granular que, constituye un elemnto de drenaje y protege el material principal.

O requisito de cubrir o estoque pode ser válido para o agregado miúdo em regiões de intenso regime de chuvas, entretanto não precisa ser metálico, pode ser simplemente de lona.

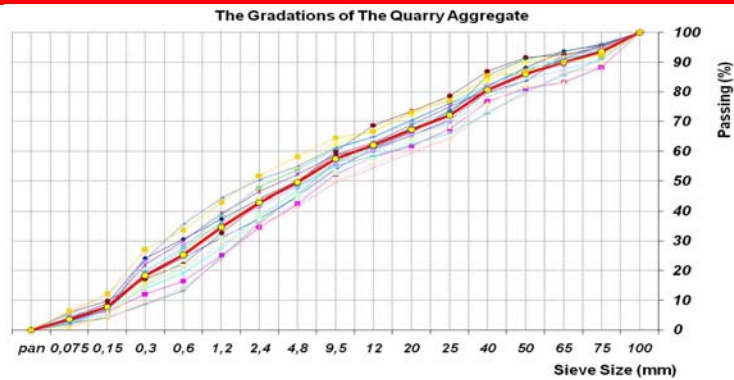
El requisito de cubrir el acopio puede tener importancia para el agregado pequeño en regiones con un intenso régimen de lluvias, pero tambien no necesita ser metálico, puede ser una cobertura con lonas, por ejemplo.

#### 4.3.2- Ejemplo de Alternativa Técnica-Económica Adaptada a la Disponibilidad Local

Durante la construcción de la Presa de Beydag – Turkia, fue utilizada una única graduación de agregados (pequeños y grandes) , por la disponibilidad de un material aluvionar bastante uniforme, como se cita en <sup>[30]</sup>:

##### *"...4.1 Aggregate*

*The borrow area investigation for the concrete aggregates have been performed along the river valley at various alluvial deposits located both at downstream and upstream of the dam axis. The investigated alluvial deposits have yielded comparable aggregate quality. From the environmental point of view, the upstream alluvial deposits have been preferred. The river alluvium was used with an adequate process. According to the test results a large alluvial deposit has been found relatively well graded for the RCC mix. The grading test results are shown in the figure below:*



Then the grading curve is compared with the cubic curve based on the formula below:

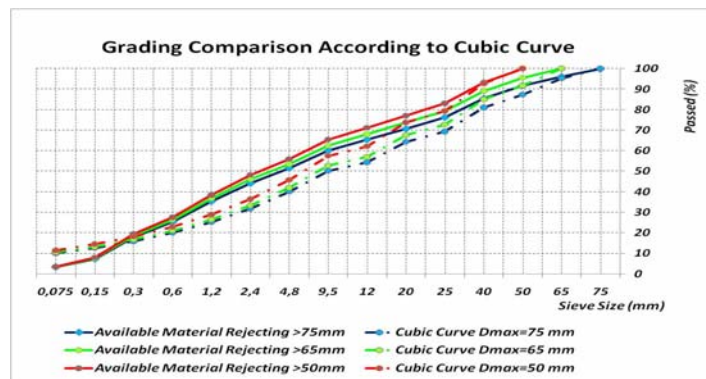
$$p = (d/MSA)^{1/3} \times 100\% , \text{ where}$$

*p*: The % finer than "d" size of mesh

*d*: Screen opening size (mm)

*MSA*: Maximum size of aggregate

Selection of 50 mm maximum aggregate size has been fitted the best to the cubic curve. According to the grading conditions of the aggregates, many comparative mixes prepared and finally 0-50 mm smoothly graded aggregate has been decided to use for RCC.

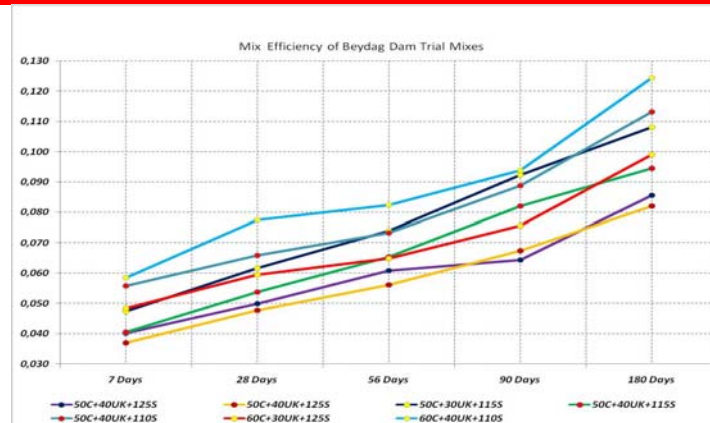


#### 4.2 Cementitious materials

Type I 42.5 MPa cement has been used for the RCC. The fly ash obtained from the Yatagan lignite burned power plant has been used as pozzolanic material in the mix.

Prior to the selection of the material proportions more than 100 mixes have been prepared and tested with various amount of cementitious materials and water contents. The mix efficiency values of the some selected mixes are shown figure below:





Finally, a RCC mix composed of 60 kg/m<sup>3</sup> cement, 30 kg/m<sup>3</sup> fly ash and 125 l/m<sup>3</sup> water has been selected to satisfy the parameters established in the design criteria.

## 5. CONCLUSION

*The simple construction method has been chosen for the construction of the Beydag Dam. The alluvial deposits have been used in the RCC mix without crushing, cooling etc. On the other hand the obstructions like huge mass concrete or reinforced concrete structures in the dam body or at the middle portion of the dam body which cause the interruption of the RCC placement have been eliminated at the design stage. At the end a rapid construction has been provided...."*

## 5- DOSAJE Y PROPIEDADES

En el aspecto de Dosajes y Propiedades Requeridas se pueden citar las siguientes:

*“...Los dosajes deben cumplir con las características decurrentes del Proyecto Estructural y Térmico de la Presa...El Constructor será responsable por proveer los materiales componentes de la Mezcla, con las características definidas en estas Especificaciones y del dosaje con las proporciones definidas por la Inspección...”*

*“...Los dosajes pueden ser alterados por la Inspección dentro de una faja de valores indicados y con base en estudios propios...”*

Aquí cabe una pregunta:

- ¿ Si alguna de las propiedades requeridas no es y/o son atendidas, de quien será la responsabilidad?

Esa cuestión se hace necesaria, pues:

- ❖ El **Constructor** provee los materiales;
- ❖ La **Inspección** realiza los dosajes y los ajustes que juzga necesarios,
- ❖ El **Constructor** produce, transporta, cola (coloca), compacta y cura el CCR.

- ¿ En el caso que no cumpla alguna de las propiedades, quien será el Responsable?
- ¿ Puede ser falla del material?
- ¿ Del dosaje?
- ¿ Del proceso?

- ¿ No es más práctico que el Constructor sea Responsable por el Dosaje, para satisfacer las Propiedades Requeridas y la Inspección efectuar - realmente - la INSPECCIÓN?

En algunas especificaciones han sido observadas situaciones del tipo :

*“...para dosaje de las mezclas de CCR, fueron adoptados criterios en base a los requisitos de densidad mínima, permeabilidad, consistencia, entre otros y los requisitos de cargas estáticas, térmicas y sísmicas, siendo determinado lo siguiente:*

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

*Y adicionalmente también se puede mencionar que la relación Pasta/Mortero deberá ser como mínimo de 0,42...”*

De otra forma también se puede mencionar, como es visto en [B- Schrader]:

*“...despite the fact that it been clarified for years, the terms “high paste” and “low paste” are still erroneously used to describe types of RCC. All good RCC has a paste content of about 19% to 21% by volume, regardless of the cement and pozzolan or fly ash content. Paste includes all material finer than 75 microns-cement, slag, pozzolan (fly ash), aggregate fines, admixtures, water, and air.*

*A review of RCC mixes shows that essentially all good and efficient RCC mixes, and almost all RCC in dams, meet the 19% to 21% criteria. Mixes with less paste are harsh and tend to segregate, whereas mixes with excess paste tend to produce less strength per kilogram of cementitious material. Therefore, low cementitious content RCC requires aggregates fines in order to provide adequate paste without excessive water, and high cementitious content mixes require aggregates. Instead of using the term “paste”, RCC mixes can be described as having high or low “cementitious contents”. Both types of mixes have been very successful. Both are common. Both types of mixes have advantages and disadvantages. The RCC cost of high cementitious content mixes tends to be greater due to the cost of increased cementitious material and increased cooling or thermal considerations, but low cementitious content mixes may require special lift joint treatment or other effort to provide total watertightness . It is incorrect to state that either type of mix is “best” for all applications. Each project should be fully evaluated based on its own needs and conditions.*

*RCC can also be described as having high, low, or no pozzolan. Fly ash is the most common pozzolan, but manufactured and commercial natural pozzolans are also used. Slag is also effective where available. Because of the paste requirement, aggregate fines are an essential part of low cementitious content RCC...”*

Como ya fue mencionado por otros:

*“...There are a number of methods that have been used for the design of the mixture proportions of an RCC. For a determined design, structural element, environment and placement, the composition of a concrete is defined in such a way that the evolution of its behavior conforms to what was asked of it.*

*It could be said that the mix design of a concrete is a process by which can be obtained an adequate and economic combination of binder, aggregate, water and admixtures producing a concrete which performs to the required specifications throughout its service life. There are many ways of reaching an objective, in this case the design of a RCC concrete*

*It is the author's opinion that design features should take advantage of the economies of RCC construction, looking for simplicity, quality, and be economical. A mix design process must assure the required property values, no segregation occurs by handling operations and performance requirements are met using the proper materials...”*

## 6- EQUIPAMIENTOS

Entre los requisitos exigidos para los equipamientos, se ha observado una serie de inconsistencias, como las que se enumeran a continuación:

De una forma general, las Especificaciones mas elaboradas indican que:

- ❖ Situación en que se requiere un plazo para la ejecución de la obra
  - El Constructor deberá presentar un Programa de Construcción para atender los plazos previamente determinados y;
  - El Constructor deberá presentar para aprobación de la Inspección, la capacidad de cada uno de los equipamientos, plantel de profesionales, de forma a cumplir con el Programa de Construcción propuesto, considerando las condiciones del local, climáticas, disponibilidad de materiales y ambientales.
- ❖ Situación en que no se requiere un plazo para la ejecución de la obra
  - El Constructor deberá presentar, para aprobación de la Inspección, el Programa de Construcción junto con la capacidad de cada uno de los equipamientos, plantel de profesionales de forma tal que ese Program de Construcción sea cumplido, considerando las condiciones del local, climáticas, de disponibilidad de materiales y ambientales,

Pero, en varias obras de Presas de CCR se ha observado lo siguiente:

Obra	Exigencia	Crítica
$\alpha$	<i>....A Central de concreto deberá tener un número adecuado de mezcladores contínuos tipo (referencia comercial!) ouequivalente, de ejes duplos, del tipo de mezcla continua...</i>	a) Ref. del tipo; b) Ref. comercial
$\beta$	<i>... El Constructor deberá proveer, instalar, operar, e mantener una central totalmente automática para la producción del CCR. ... .. deberá tner una capacidad efetiva mínima de X00m3/hora</i>	Ref. de una capacidad sin conocer el cronograma del Constructor
$\delta$	<i>...El Constructor deberá transportar el CCR inmediatamente después de producido, desde la Central de Mezclado hasta la Presa, utilizando correas transportadoras que controlen la segregación, contaminación y cambios de humedad.... .. las correas deberán operar con velocidad elevada (4 m/s) ... ..los sistemas de correas transportadoras serán del tipo (referncia comercial!) y deberá ser proyectadas por profesionales con mucha experiencia en.....</i>	a) Especificación en el Proceso; b) Ref. comercial

Desde el punto de vista del autor, las Especificaciones Técnicas deben presentar requisitos sobre el PRODUCTO (Propiedades, limitaciones de desempeño) y no sobre los PROCESOS, en que se insieren las atribuciones, competencias y responsabilidades del Construcyor para satisfacer el Programa de Construcción y atender las Especificaciones del Producto.



## 7- PROGRAMA DE CONSTRUCCION

Como fue mencionado precedentemente, el Programa de Construcción puede servir para atender un Plazo definido o para requerir del Constructor una visión programática y de organización de las actividades, siendo que algunas veces la libertad del Constructor para establecer un programa, pueda quedar condicionada a un programa de desembolso de recursos financieros.

Hay situaciones pintorescas, como la que se cita en los Documentos de una obra:

*...El plazo total para la ejecución del CCR de la Presa, deberá ser presentado por el Constructor i deberá estar comprendido entre 10 y 20 meses.... ...El Constructor deberá demostrar que dispone equipamientos, personal y metodología necesaria para atender el plazo propuesto.*

La obra fue contratada en 1955, pero el CCR solo fue ejecutado entre los años 2001 y 2002 !

¿ De que sirvió determinar un período de 10 a 20 meses?

## 8- METODOLOGIA DE CONSTRUCCION Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

EN ESTE ITEM, TAMBIÉN COMO EN LOS RAQUISITOS DE LOS EQUIPAMIENTOS, EL CONCEPTO ES DE QUE EL CONSTRUCTOR DEBE PRESENTAR PARA APROBACIÓN DE LA INSPECCIÓN, LA METODOLOGIA DE EJECUCIÓN, CONSIDERANDO LAS CONDICIONES LOCALES, CLIMÁTICAS, DE DISPONIBILIDAD DE MATERIALES Y AMBIENTALES. PERO LA LECTURA DE DIFERENTES ESPECIFICACIONES MUESTRA QUE:

### 8.1- Criterio para Tratamiento de la Superficie de la Junta de Construcción

Obra	Exigencia	Crítica
ω	"...El Constructor puede aplicar o proceso "Sloped Layer Method" para un máximo de $X_m$ de altura..."	a) Inducción al uso de un PROCESO; b) Proporciona implicaciones al comportamiento térmico, que puede no estar previsto
π	"..cuando la superficie de la camada de CCR está con mas de 600° C o tratamiento deberá	El concepto de maduración no cubre todas las variables ambientales que afectan la propiedad ( <b>Inicio del Fraguado</b> ) del concreto
λ	"...El Constructor deberá conformar las juntas verticales de contracción, como se muestra en los diseños. El Constructor puede optar por una de las siguientes Alternativas: I. Esas Juntas deberán ser conformadas con el uso de encofrados; II. Esas Juntas deberán ser conformadas dejando láminas metálicas inseridas verticalmente..."	Cual es la necesidad de ser lámina metálica? No puede ser plástica?
ξ	"...las faces de aguas arriba y de abajo deberán ser construídas utilizando encofrado y o GE-RCC ( <b>G</b> ROUT <b>E</b> NRICHED RCC)	Se especificó el PROCESO y no el PRODUCTO!

Se nota, por las exigencias que hay una carencia plena de conocimiento del comportamiento del CCR, con respecto a la característica de iniciación del Fraguado.

En este punto hay que recordar, como se mencionó anteriormente, que la cantidad de juntas de construcción generadas con el uso del CCR creó una mayor preocupación, cuando se compara con las tradicionales construcciones de concreto, se evidenció una mayor infiltración y una adherencia dudosa, lo que redució la seguridad en la estabilidad de las primeras presas construídas en CCR.

Esa situación generó un gran número de alternativas para la concepción del sistema de impermeabilización y del tratamiento de la superficie de las juntas de construcción en las presas construídas recientemente.

### 8.2- Uso o No de las Camadas Inclínadas (Slope Layer Method)

En la ejecución de capas horizontales de CCR, de un extremo a otro de la presa el intervalo de tiempo entre el fin de una capa e inicio de otra, normalmente supera las 6 horas, lo que invariablemente genera una "junta fría", que debe ser limpia y tratada con la colocación de un concreto o mortero que sirve para adherir las capas.

El gran número de juntas horizontales de construcción, conducen a la estratificación de la estructura, lo que es un factor crítico en los Proyectos de Presas de CCR. El procedimiento ejecutivo en capas inclinadas reduce significativamente esas discontinuidades, aumentando la integridad estructural de la Presa.

Otra situación típica que ocurre, es la necesidad de desmontar y montar los encofrados del paramento de aguas arriba en aproximadamente 2 metros de altura, lo que implica en la paralización de las actividades que se desarrollan próximas al paramento de aguas arriba y en una demanda concentrada de guindastes para la colocación de los encofrados.

El método de esparcimiento en capas inclinadas o "Método Chino" es una solución creativa que permite una reducción sustancial en el tratamiento de juntas de construcción y en el volumen de concreto o mortero de adherencia entre las capas. Permite también optimizar mano de obra y equipamientos para el manejo de encofrados.

En el Brasil, este método fue utilizado por la primera vez, para el CCR, al final del año 2000 en la Usina Hidro-Eléctrica de Lajeado y después en Cana Brava y Peixe, esa metodología ya se utilizó con suceso en Obras de Concreto Masa, en las construcciones de Itaipú y Tucuruí, alrededor de los años 70.

La configuración en rampas entre 5 y 20% en este método resulta en "sub-capas" cortas y de pequeño volumen, lo que permite un rápido recubrimiento – en un máximo de 4 horas – tiempo que no caracteriza una "junta fría", razón por lo cual se había utilizado en Itaipú y Tucuruí, para concretos convencionales.

La inclinación de la rampa varía de obra para obra. Rampas más suaves tienden a aproximarse del esparcimiento horizontal, lo que exige mayor velocidad de producción para evitar "juntas frías". El esparcimiento y compactación de los concretos convencionales en los paramentos externos son facilitados con rampas más suaves, lo que también es válido para la ejecución de las juntas de construcción. Ya las rampas con más inclinación e cortas requieren menor productividad de CCR, pero la compactación de los concretos convencionales requieren mayor atención debido al desconfinamiento de la "cabeza" del concreto que está siendo esparcido. La operación de los compactadores en el CCR muy inclinado también genera problemas, como también para la ejecución de las juntas.

Otra limitación del Método Chino es que el ancho de la zona de esparcimiento no debe ser muy grande, pues en ese caso sería necesario una productividad enorme para evitar la conformación de "juntas frías".

## 9-ERRORES

### 9.1 Composición Granulométrica e Importancia de los Finos ( $\leq 0,075\text{mm}$ )

Las primeras colocaciones de CCR (alrededor de 1982-1984) confirmaron las previsiones de la necesidad de adoptar cuidados especiales con respecto a la Permeabilidad del paramento de aguas arriba, como prevía [02] y el Próprio Tender Document for Willow Creek [23] y en otras publicaciones. Otros estudios realizados confirmaron esa elevada Permeabilidad.

Esa alta Permeabilidad observada inicialmente en el CCR, era oriunda de la tendencia que los técnicos tenían de utilizar composiciones granulométricas originarias y consagradas para los Concretos Convencionales Masa, que utilizaban mayor cantidad de fracciones gruesas de los agregados grandes y poca cantidad de finos.

A partir de esa época se comenzó a dar atención a la cantidad de Finos (material de tamaño menor que 0,075 mm), lo que permitió establecer una nueva práctica, lo que algunos comenzaron a llamar de **Segunda Generación de Presas en CCR.**

Esa práctica mostró que la Reducción de la Permeabilidad, **no depende necesariamente del Tenor de Cemento en la Mezcla,** de esa forma se llegaron a Coeficientes de Permeabilidad de  $10^{-11}$  a  $10^{-12}$  m/s con tenores de aglomerantes alrededor de  $100\text{ kg/m}^3$ . O sea, la práctica de incorporar finos (no cohesivos y no arcillosos) a la mezcla se consagró, con ventajas evidentes.

### 9.2- Sistemas de Impermeabilidad y Drenaje

Otro aspecto que se imputó a los **Errores** fue, la poca importancia que se dió a la necesidad de tener un sistema de impermeabilización mas consistente con la técnica. Se agregaba a eso el mayor número de Juntas de Construcción (eventual camino para la infiltración) en esa Metodología, en comparación con la de CVC Masa, tradicionalmente utilizado en esa época. Ese binomio de hechos – *alta permeabilidad (de los CCR de la primera generación)* y *un mayor número de Juntas de Construcción* - llevó a la necesidad de tomar atención a los sistemas de Impermeabilización y de Drenaje de las Presas de CCR,

### 9.3- Planificación

Ese es un punto vital, donde reside, un número mayor de errores y fallas. La visión “simplista” y algunas veces de quien está comenzando, son vectores en una técnica que se consagra por la Rapidez.



## 10- CONTROL DE CALIDAD

### 10.1- Aspectos Generales y Conceptuales

Con el transcurrir del desenvolvimiento del CCR algunos hechos llevaron a la necesidad de llamar la atención de los Profesionales y Empresas que están ligadas a la Calidad.

Dentro de ese aspecto, varias veces se ha preguntado sobre :

¿ **Que es mas dificil entender cuanto al uso del CCR ?**

Desde nuestra forma de ver, la respuesta se traduce así:

***Es hacer entender que le CCR es SIMPLE!***

Pero, en esas obras algunos errores o fallas llevaron a una afirmación adicional:

***Usted nos convenció de que el CCR era simple, pero no se hizo entender que debemos controlar detalles?***

Hay una tendencia errada y desproporcionada, de que el concreto de obras masivas, como lo son las Presas se destacan por la resistencia de las Probetas! Se dá una importancia muy grande, apoyada en las ISOs, sobre el tema.

***“Nidos de Piedras” dificilmente ocurren en Probetas!***

**Control de Calidad no es apenas el Registro de Datos! Es acción correctiva de hechos o un conjunto de medidas, adoptadas anticipadamente para que los errores sean minimizados!**

Entonces vale la pena preguntar:

¿ **Que es fundamental para llegar a obtener una buena Calidad en una Obra de CCR, o, mas ampliamente, en una Presa?**

Un conjunto de medidas puede ser citado:

- ✚ Siendo el CCR una Metodología de Construcción, un Proyecto bien “Ingeniado”, que reduzca interferencias, que contemple medidas de buen sentido para el lado de la Seguridad, es bien venido!
- ✚ **Especificaciones Técnicas** – ESPECÍFICAS – y no generadas por el proceso “Copy” y “Paste”, considerando el uso de los Materiales del Local, Parámetros y Propiedades REALMENTE requeridas y no inferidas, tambien es muy recomendable;
- ✚ **Planificación del Emprendimiento** – El CCR llega a la plenitud de ventajas cuando dispone de todos los recursos adecuados para el **Inicio – Medio y Fin del Emprendimiento!** Cualquier Obra que se desarrolla en el proceso “Pare” y “Siga” huye de las previsiones!;

- ✚ **Planificación de la Construcción** – Elaborado por Profesionales con Experiencia, que conozcan la diferencia de **SIMPLE** y **NO HACER**, de forma tal que se tengan providencias precedentes, para que no ocurran hechos errados o, no pensados;
- ✚ Equipamientos no sofisticados, pero efectivamente capaces de producir a tiempo y uniformemente los productos requeridos;
- ✚ Sistema de Calidad que contemple no solamente el Registro y Archivo de datos, mas y mucho mas, que permita y ejerza el análisis sistemática, tome acciones compatibles con la dinámica de la obra;
- ✚ Profesionales entrenados para hacer con conocimientos y no simplemente obedeciendo órdenes!
- ✚ Profesionales que en cada actividad conozcan lo que HACEN y como lo que hacen afecta a otras intervenciones;
- ✚ Jóvenes Ingenieros que no queden atrás de los escritorios de la obra, pero si, que efectivamente cooperen con los Encargados, Capataces y otros Colaboradores, y, que busquen darles apoyo y entrenamiento mas allá de sus límites.
- ✚ Entrenamiento sistemático y la búsqueda del conocimiento facilitan el desarrollo técnico.
- ✚ La búsqueda del **Porqué, Cuando, Donde, Cuanto?**

Como se citó precedentemente, la Inspección tiene la función de asegurar los requisitos mínimos y que las intenciones de los documentos contractuales sean plenamente atendidos.

Volviendo al ejemplo del sistema de impermeabilización y drenaje, el establecimiento de rutinas de verificación sistemática de puntos vitales, haciendo que el Constructor participe de esas acciones (estando en las Especificaciones y haciéndole atender a los costos estimados) con correcciones sistemáticas, crea el hábito y reduce la incidencia de puntos problemáticos.

Es importante destacar que en varios casos, la inspección se desenvuelve sin la colecta y manoseo de números, de valores, pero si con observaciones visuales y decurrentes de acciones.

En las construcciones de CCR, mucho más que en las construcciones de CVC, la necesidad de mantener la uniformidad es muy importante. Hay entonces que aplicar el buen senso a ese respecto.

## 10.2- Custos Inerhentes

Un plan e programa de inspección y control de calidad mejora-aumenta el resultado del Constructor, a medida que reduce la inversión necesaria para las correcciones o la reposición de materiales.

Teniendo o no un programa-plano de control de calidad, cada Proyecto debe tener un componente de costo debido a la calidad. El Constructor tiene una oportunidad de gozar o no de ese beneficio o perjuicio. Puede actuar en las etapas de forma sistemática o tener que formar un equipo grande (fuerza tareas) para hacer correcciones al final de las obras.

De forma general, como fue citado anteriormente, el Constructor establece la cronología de considerar esa actividad al fin de los trabajos, contando con la tolerancia o a veces la buena voluntad o la incompetencia de la Inspección, en esas oportunidades es que se desarrollan o se generan las fallas funcionales en las estructuras o en el Proyecto, y de esa forma se incrementan los costos.

***“La calidad abre nuevos negocios”***

En términos generales se puede citar que el binomio costo-calidad engloba:

***(a) Garantías para no haber falla en los costos debido a la calidad:***

- ❑ Establecer programas de entrenamiento para los trabajadores
- ❑ Eliminar el uso de materiales de baja calidad;
- ❑ Adelantarse a los problemas, de tal forma a no dejar ocurrir o resolver en el momento cierto
- ❑ Establecer rutinas de verificación y garantizar el funcionamiento de las acciones;
- ❑ Verificar la funcionalidad y control de los equipamientos de medición;

***(b) Costos agregados***

- ❑ Costos debido a la aplicación del concepto de no conformidades;
- ❑ Costos debidos a ensayos y certificaciones;
- ❑ Costos debidos a verificaciones de tolerancias, ensayos y super-visión;
- ❑ Costos debido a ensayos “in situ”.

***(c) Costos debidos a fallas e re-trabajos::***

- ❑ Costos de reparaciones, materiales y rechazos
- ❑ Correcciones
- ❑ Equipamientos para correcciones
- ❑ Tiempo

## 11- COMENTARIOS

Por medio de los ejemplos mencionados, se intentó traer para la discusión y posibilitar la comprensión de varios puntos , entre ellos vale la pena destacar:

Es importante entender que la técnica del HCR es camaleónica y se adapta al terreno. El camaleón no deja de ser camaleón donde esté! (como habla Don Cascón!!!)

La Metodología del CCR es simple, y puede ser utilizada por Profesionales de diversos niveles prácticos y de conocimiento, pero el entendimiento de su comportamiento requiere la asociación de conocimientos de los CVC's masa y de la velocidad de construcción. No es solamente pensar que conoce la velocidad!

### 11.1- Materiales

Las Especificaciones Técnicas para los Materiales para el CCR, necesariamente no son diferentes de los materiales para los CVC y, con base en los padrones normales, no necesitan inducir a preocupaciones adicionales solamente por la Metodología.

### 11.2- Equipamientos

En ese punto se llama la atención para que, las especificaciones queden atentas a los Requisitos de los **Productos** y no a las características del **Proceso** que son inherentes a la competencia y responsabilidad del constructor.

### 11.3- Métodos y Detalles

Deben estar dentro de las responsabilidades del Constructor y eso debe ser destacado, y no a la inducción o exigencia de determinada metodología o proceso.

### 11.4- Proyecto

Es aconsejable y conveniente que, siempre, el Proyecto considere la posibilidad de acciones y como ellas puedan ser realizadas para eventuales correcciones. O sea, el Proyecto debe embutir dentro de sus detalles los aspectos de Seguridad, como así también las condiciones y aspectos de DONDE el Proyecto está siendo construido, considerando el grado de capacitación de la Mano de Obra, Velocidad de Construcción y eventual potencialización de errores,



## 12- REFERENCIAS

- [01]- RAPHAEL, J.M.- **“The Optimum Gravity Dam- Proceedings of the Rapid Construction Concrete Dams”**- ASCE- Asilomar- California-USA- March-1970
- [02]- CANNON, R.W.- **“Concrete Dam Construction Using Earth Compaction Methods”**- Anáís do Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;
- [03]- RAPHAEL, J.M.- **“Construction Method for the Soil- Cement Dam”**- Anáís do Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;
- [04]- **Year Book 2007**- International Water Power & Dam Construction- United Kingdom- 2007
- [05]- SHIMIZU, S.; TAKEMURA, K.- **“Design and Construction of a Concrete Gravity Dam on a Weak Bedrock”**- Anáís do XIII ICOLD Congres- New Delhi – November 1979;
- [06]- HIROSE, T.; SHIMIZU, S.; TAKEMURA, K.- **“Studies on Construction of Dams by the RCD Method”**- Anáís do Japan Society of Civil Engineers- Tokyo-Japan- 1980;
- [07]- **Multipurpose Dams in Japan- State of the Integrated River Development Projects**- River Development Division- River Bureau- Ministry of Construction- Tokyo-Japan-May-1984
- [08]- **RCC Dams in China**- Department of Science and Technology- China Electricity Council- China
- [09]- ANDRIOLO, F.R.; GOTTARDO, G.; PEÑA D.F.- **“Urugua-i: Uma Barragem em Concreto Rolado”**- Anáís do XVII Seminário Nacional de Grandes Barragens- Brasília- Brazil- August-1987;
- [10]- ZANELLA, M. R.; BRAGA, J. A.; ROSÁRIO, L. C.; AYALA, A. G. C.; ANDRIOLO, F. R.; GOLIK, M.A. -**“Concreto Rolado – Ensaios Especiais”**, nos Anais do XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Foz do Iguaçu, Brasil, Abril 1989
- [11]- GOLIK, M. A.; ANDRIOLO, F. R. - **“Urugua-i (C.C.R.) - Controle de Qualidade do Concreto Lançado no Tramo Principal da Barragem”**, Anais do XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Foz do Iguaçu, Brasil, Abril 1989
- [12]- BRAGA, J.A.; ROSÁRIO, L.C.; DUARTE, J.D.C.; LACERDA, S.S.- **“Utilização de Finos-Sub-Produto de Britagem nos Concretos Rolado e Convencional”**- XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens - Foz do Iguaçu- Brazil-1989
- [13]- ANDRIOLO, F.R.; BRAGA, J.A.; ZANELLA, M.R.; ZALESKI, J.M.- **“Uso do Concreto Rolado; Projeto Capanda - Angola; Ensaios Especiais”**- XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens - Aracaju- Brazil-1991
- [14]- ANDRIOLO, F.R.; SCHMIDT, M.T.- **“The Capanda RCC Dam in Angola”**- International Water Power & Dam Construction - February 1992
- [15]- KREMPEL, A.F.; CREVILARO, C.C.; PAULON, V.A.- **“Adição de Pó ao Concreto como Fator Econômico e de Durabilidade”**- 34a. Reunião do Ibracon - Brazil-1992
- [16]- CARMO, J.B.M.; NASCIMENTO, J.F.F.; FONTOURA, J.T.F.; SANTOS, M.C.; TRABOULSI, M.A.-” **Aplicação de Concreto Compactado a Rolo com Adições”**- 35a. Reunião do Ibracon - Brazil-1993

- [17]- TAVARES, M.A.; ORIGA, M.A.; FONTOURA, J.T.F.; HOLANDA, E.R.; PACELLI, W.A.; ANDRIOLO, F.R.- **“Capanda - RCC Dam - 12 Years Quality Control Data”**- Anáís do IV International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Madrid- Spain- November- 2003;
- [18]- Relatório CESP- LCEC- Ilha Solteira - C-23-73- **“Verificação de Característica de Concretos Quando Transportados por Esteiras”**- 1973;
- [19]- Relatório CESP- LCEC-Ilha Solteira - C-11-74- **“Concretos Transportados por Esteira - Usina de Ilha Solteira”**-1974;
- [20]- BLINDER, S. TONIATTI, N.B., KREMPEL, A.F.- **“RCC and CFR Dams - Costs Comparison”**- Anáís do International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander-Espanha- Outubro/1995
- [21]- ANDRIOLO, F.R.- **“The Use of Roller Compacted Concrete”**- Oficina de Textos- Rua Augusta 1371- Lj. 107- -1305- 100- São Paulo- Brazil- 1998
- [22]- ANDRIOLO, F.R.- **“RCC Brazilian Practices”**- Oficina de Textos- Rua Augusta 1371- Lj. 107- -1305- 100- São Paulo- Brazil- 2002
- [23]- **Willow Creek Design Memorandum, Supplement to GDM 2- Phase 2- Main Dam, Spillway and Outlet Works**- U. S. Army Engineer District- Wala Wala- Washington- USA- December-1981;
- [24]- SCHRADER, E.- **“Behavior of Completed RCC Dams”**- Anáís do Roller Compacted Concrete II- ASCE- San Diego- California- USA- March-1988;
- [25]- ANDRIOLO, F.R - **“Concreto Adensado com Rolo Vibratório- Sugestões para Projeto e Construção”**- . Anáís do XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens- Belo Horizonte-MG – Brasil – Novembro/1985;
- [26]- N. SUZUKI; T. IISAKA; H. UMEHARA; S. SHIRAMURA AND W. WU – **“On the Characteristics of RCD Concrete by Mixing Filler”**- in: Proceedings of International Symposium on RCC Dams – Chengdu, China, October 1999;
- [27]- Y. AOYAGI AND T. ENDO - **“Laboratory and Field tests on Roller Compacted Concrete Materials with Particular Reference to Increased use of Fly Ash”**- in: Proceedings of The International Symposium on RCC Dams- Beijing, China, November 1991;
- [28]- FANG KUNHE AND ZHENG LI - **“An Investigation in Fly Ash Content of Roller Compacted Concrete”**- in: Proceedings of The International Symposium on RCC Dams- Beijing, China, November 1991;
- [29]- CHEN GAIXIN, KONG XIANGZHI - **“A New Type of Supplement Mineral Fines for Roller Compacted Concrete”**- in: Proceedings of The International Symposium on RCC Dams- Beijing, China, November 1997;
- [30]- S. BATMAZ; N. DEMIRÖRS; Ö. POLAT- **“BEYDAG RCC DAM – Design Philosophy to Simplify the Construction”** in: Proceedings of The Roller Compacted Concrete Seminar- Gold Coast- Australia- April-2008