

**SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PRESAS Y EMBALSES**

# **JORNADA TÉCNICA**

## **UMA VISIÓN INTEGRAL DE LAS PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO**

España – Madrid – 30 de Marzo de 2011

**J. D-Cascón S. & F. R. Andriolo**

- 09:15-10:15 *Conceptualización del hormigón compactado con rodillo (HCR).*  
**D. J. Díez Gascón Sagrado y D. F. Rodrigues Andriolo.**
- 10:15-11:15 *Diseño del hormigón compactado con rodillo (HCR).*  
**D. F. Rodrigues Andriolo y D. J. Díez Gascón Sagrado.**
- 11:15-11:45 *Café.*
- 11:45-12:45 *Diseño y construcción de Presas de hormigón compactado con rodillo (HCR).*  
**D. J. Díez Gascón Sagrado y D. F. Rodrigues Andriolo.**
- 12:45-13:45 *Revisión de la aplicación técnica del hormigón compactado con rodillo (HCR).*  
**D. F. Rodrigues Andriolo y D. J. Díez Gascón Sagrado.**

# Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

- El HCR es una metodología simple o no ? El HCR es un hormigón o no?
- Si ese material es un hormigón y si es simple cual es la razón por la cual en las Especificaciones son solicitados para esa metodología requisitos no solicitados para hormigones masivos utilizados en presas? O hay una tendencia de vanidades y de búsquedas por “marcas registradas” insensatas?
- Como aprovechar las cualidades individuales de los materiales disponibles para el dosaje del HCR? 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 HCR ?
- Es conveniente, y prudente, utilizar la potencialidad de cada material para cumplir con los requisitos del Proyecto?

Ya pasaron cerca de 35 años desde las primeras aplicaciones de HCR o “Rollcrete” (como lo llamábamos al comienzo) en Itaipú (Brasil y Paraguay).

Varios errores fueron cometidos en aquella época, corregidos, sustentados por ensayos, pesquisas, debates, que llevaron, paulatinamente a aciertos y al establecimiento de una práctica de construcción con particularidades brasileñas, y que poco a poco contribuyeron para la aplicación en otros Países del Mundo.

No puede dejar de llamar la atención sobre la ignorancia, la porfía y la ganancia que se unen para inducir al **“MAL HECHO”**. Y contra esto hay una necesidad permanente de llamar la atención para que la Calidad sea mantenida y mejorada constantemente.

En este aspecto hay que cuidar que la Rapidez que la Metodología ofrece, no se torne un factor crítico contra la Calidad y Durabilidad.

## El Desarrollo

## En el Mundo

La idea de la Técnica de Construcción con HCR fue mencionada inicialmente en las Conferencias de Asilomar – California, como puede ser convenientemente 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 sus respectivas discusiones deben ser recordadas:....”

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

De una forma casi simultánea [05,06 e 07], el Japón inició las evaluaciones para la utilización del HCR en 1974, adoptando la nomenclatura de RCD, con tenor de aglomerantes de  $130 \text{ kg/m}^3$ , siendo  $91 \text{ kg/m}^3$  de cemento y  $39 \text{ kg/m}^3$  de Ceniza Volante.

La China, otro País gran constructor, inició los estudios para aplicación del HCR cerca de los años 1980, con un tenor de aglomerantes de 122 a  $152 \text{ kg/m}^3$ , siendo que la Presa de Kengkou inició efectivamente el ciclo de grandes obras de HCR en la China, con un consumo de  $140 \text{ kg/m}^3$  de aglomerantes ( $60 \text{ kg/m}^3$  de cemento y  $80 \text{ kg/m}^3$ , de cenizas volantes)<sup>[08]</sup>.

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 HCR, para una Presa en Arco de Doble Curvatura, o para un Pavimento.

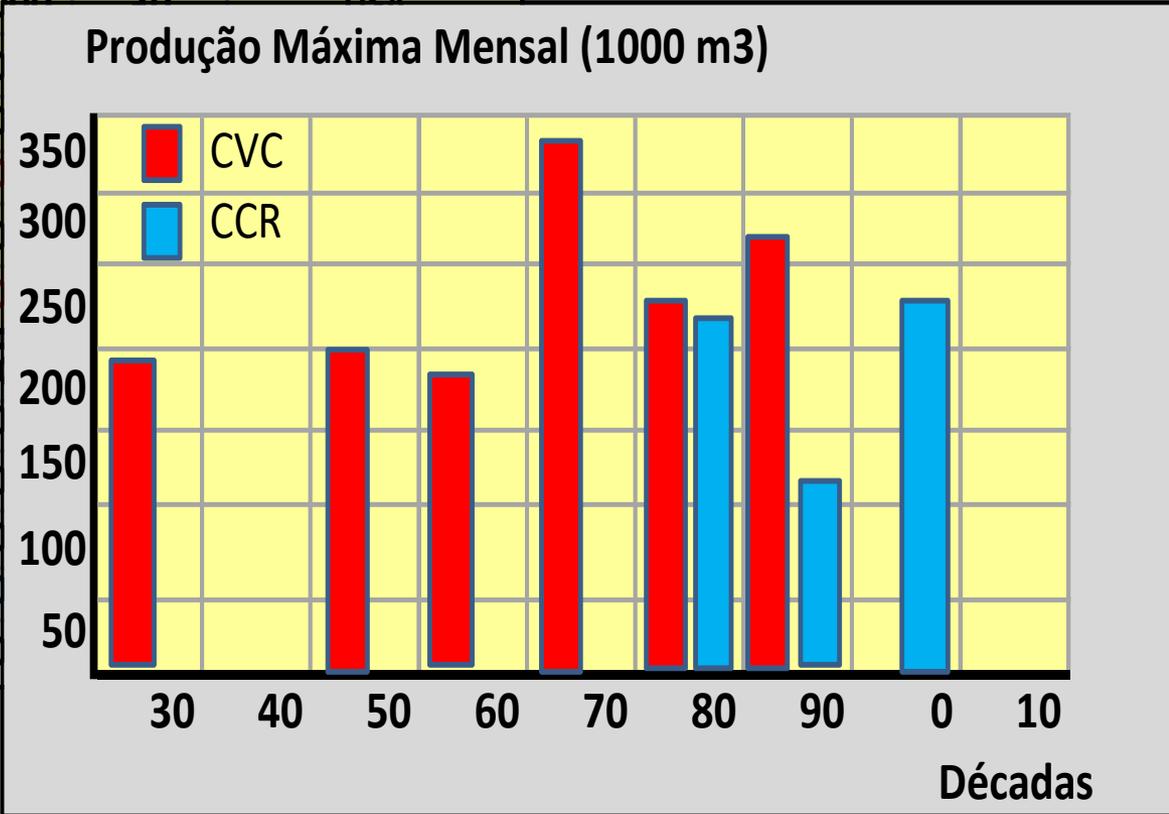
Pero esos hormigones así dosificados y colocados con compactación mediante Rodillo Vibratorio es un HCR, o sea son **HORMIGONES !**

Existe una gran tendencia , por no decir un “ufanismo” en establecer record de producciones de HCR, pero es importante recordar que obras grandes de HVC 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:

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

**Aplicações Máximas Mensais (Aproximadas) de Concretos [m3/mês]**

Projeto	Concreto	Produção	Década	País
Hoover	CVC Massa	190.000	30	USA
Grande Dixence		200.000	40	Francia
Dworshak		180.000	50	USA
<b>Itaipu</b>		<b>335.000</b>	55	Brasil/Paraguay
Tucuruí		215.000	60	Brazil
<b>Huites</b>		<b>285.000</b>	65	Francia
Shimajigawa	CCR	30.000	30	Japón
Urugua-i		100.000	40	Uruguay
Upper Stillwater		204.000	50	USA
Miel - I		118.000	60	Francia
Ollivenhain		225.000	70	Francia
Beydag		150.000	80	Turkey



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

Los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

**En Brasil**

La técnica del HCR en el Brasil comenzó a ser desarrollada en 1976 a partir de algunos estudios y aplicaciones durante la implantación del Proyecto de Itaipú, entre Brasil y Paraguay.

Esas aplicaciones iniciales fueron fundamentadas en informaciones obtenidas en el “Corps of Engineers – División de Portland” en 1975. En esa época el Autor cooperaba con la implantación del Proyecto de Isla Soltera – CESP – San Pablo - Brasil.

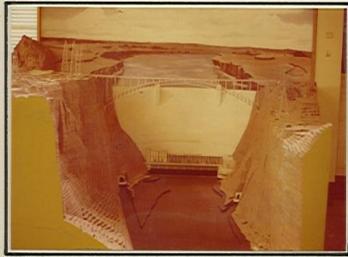


CENTRAIS ELÉTRICAS DE SÃO PAULO S.A.  
CESP

SETOR DE LABORATÓRIOS - ILHA SOLTEIRA

RELATÓRIO DE VIAGEM - ESTADOS UNIDOS

MAIO - 1.975



ENGº FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO  
CHEFE SETOR DE LABORATÓRIOS - I.S.

SETOR DE LABORATÓRIOS - ILHA SOLTEIRA.	DES.:	ESC.:
RELATÓRIO DE VIAGEM-ESTADOS UNIDOS-MAIO 1975	VER.:	FL. 64 de
	DES. Nº	



F.109 - Rolo compactador usado para adensamento. Segundo informações do Prof. Raphael (Berkeley) e Dr. Borge (Corps - Portland) está se estudando a possibilidade de uso desse tipo de concreto, na construção de uma pequena barragem de regularização.



F.110 -

**TESTEMUNHO DE CONCRETO ADENSADO  
COM ROLO VIBRATÓRIO (NOV/78)**

**APLICAÇÃO :**  
RAMPA DE ACESSO DA EL. 63,00 À EL. 85,00  
A J. SANTE DA ESTRUTURA DE DESVIO

**VALORES MÉDIOS OBTIDOS :** (IDADE 110 dias 180 dias)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL... (kg/cm <sup>2</sup> )	130	149
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DIAMET. (kg/cm <sup>2</sup> )	13,4	15,0
MÓDULO DE ELASTICIDADE..... (kg/cm <sup>2</sup> )	~300.000	~300.000
COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE... (cm/seg)		~ 10 <sup>-5</sup>
VOLUME TOTAL DE ROLLCRETE..... ( m <sup>3</sup> )		~ 26.000
PICO DIÁRIO..... (21/05/78)( m <sup>3</sup> )		3.504

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

XIII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS  
RIO DE JANEIRO  
ABRIL 1980

"CONCRETO ADENSADO COM ROLO VIBRATÓRIO"

TEMA: II

ENGº IDEVAL BETIOLI  
Divisão de Controle de Qualidade de Campo

ENGº LUERCIO SCANDIUZZI  
Divisão de Laboratório e Instrumentação do Concreto

ENGº FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO  
Assistência Construção de Concreto

ITAIPU BINACIONAL



General view of rollercrete placement at the Itaipu project.

## Use of Roller Compacted Concrete in Brazil

by Francisco Rodrigues Andriolo, Gustavo Reis Lobo de Vasconcelos, and Humberto Rodrigues Gama

Roller compacted concrete (RCC) has been used in Brazil since 1979 and has been subjected to a number of studies. RCC allows continuous placement with the possibilities of true and use economies in the construction of concrete gravity dams in that South American nation. This article also deals with laboratory studies, mix proportioning, placement procedures, and test methods.

Keywords: compacting; concrete dams; costs; gravity dams; mix proportioning; placing roller compacted concrete; tests; vibration.

With the construction of large projects in Brazil, mainly hydroelectric power structures, technologists have continually searched for materials and new construction methods for greater concrete placement in shorter periods of time.

This research has been directed at materials such as cements with low heat of hydration, use of coarser aggregates, use of pozzolanic material, and concrete cooling methods to minimize or even totally avoid the cracking of concrete.

In recent years, attention has also been directed at new mix techniques for the construction of rock fills and embankments often necessary for mass concrete projects. The result of this attention has led to roller compacted concrete, commonly referred to as RCC or rollercrete.

RCC, in which a no slump concrete is used with a sandy aspect, permits the use of equipment in the construction of rock fills at a continuous placement. This leads



Rollercrete was applied to a permanent structure for the first time in Brazil at the Tucuruí Dam navigational lock.

CONCRETE INTERNATIONAL/MAY 1984



Comitê Brasileiro de Grandes Barragens

# XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS

Comparações de Características e Propriedades de Concreto Rolado Aplicado no Brasil e em Outros Países

ANAIS

Belo Horizonte, novembro de 1985

As dimensões estimadas para a solução de envelopamento foram calculadas a partir de critérios conservadores, sendo adotada a equação desenvolvida por Bazant para a determinação da espessura de concreto de paramento e de fundação.

$$e = \sqrt{2 \cdot p \cdot k \cdot \frac{t}{\alpha}}$$

Onde: e = espessura de paramento; p = pressão da coluna d'água; k = coeficiente de permeabilidade; t = tempo de vida útil considerado; α = volume de vazios após a hidratação (?).

Considerou-se para esse cálculo, que o coeficiente de permeabilidade do monolito fosse igual ao de juntas de construção tratadas de maneira convencional (10<sup>-10</sup> cm/s) e um tempo de 100 anos para que a água percolasse através apenas do concreto de impermeabilização. Desta maneira, foi dimensionada a colocação de concreto massa convencional no paramento de montante e no contato com a fundação, sendo obtida uma espessura de 4,5 m junto ao pé de montante na seção de maior altura.

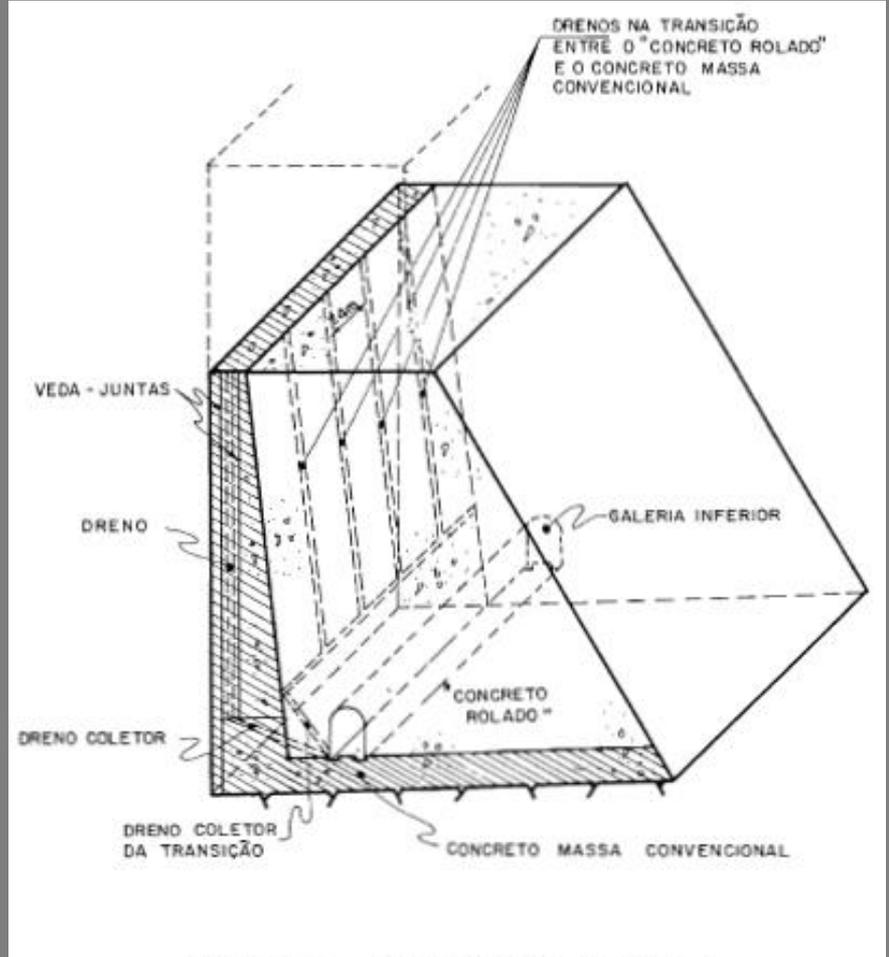


FIGURA 5 - SISTEMA DE DRENOS

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



FIGURA 6 - CRONOGRAMA

CUSTOS DAS ALTERNATIVAS SELECIONADAS  
DATA-BASE - JUNHO/83 (US\$ 1,00=Cr\$ 516,82)

DESCRIÇÃO	ALT. I (EPC)	ALT. II (CR)
	Cr\$ x 10 <sup>6</sup>	Cr\$ x 10 <sup>6</sup>
1- Terrenos e Serviços	3 790	3 790
2- Reservatório	888	888
3- Desvio e Controle do Rio	4 234	3 591
4- Barragem e Diques	95 051	92 581
5- Vertedouro	11 876	5 321
6- Tomada d'Água e Canal de Fuga	2 768	2 674
7- Túnel e/ou Conduto Forçado	3 502	3 502
8- Casa de Força e Canal de Fuga	6 557	6 557
9- Equipamento de Geração e Acessórios	54 412	54 412
10- Estradas, Pontes e Aeroportos	2 504	2 504
11- Benfeitorias e Vila dos Operadores	3 591	3 591
<b>Custo Direto c/Eventuais</b>	<b>189 173</b>	<b>179 411</b>
<b>Custo Indireto</b>	<b>52 893</b>	<b>44 743</b>
<b>Custo Total s/Juros Durante a Const.</b>	<b>242 066</b>	<b>224 154</b>
<b>Custo Total c/Juros (10%) Durante a Const.</b>	<b>319 185</b>	<b>282 378</b>

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

CBGB

XV

M

Concreto R

Belo Hor



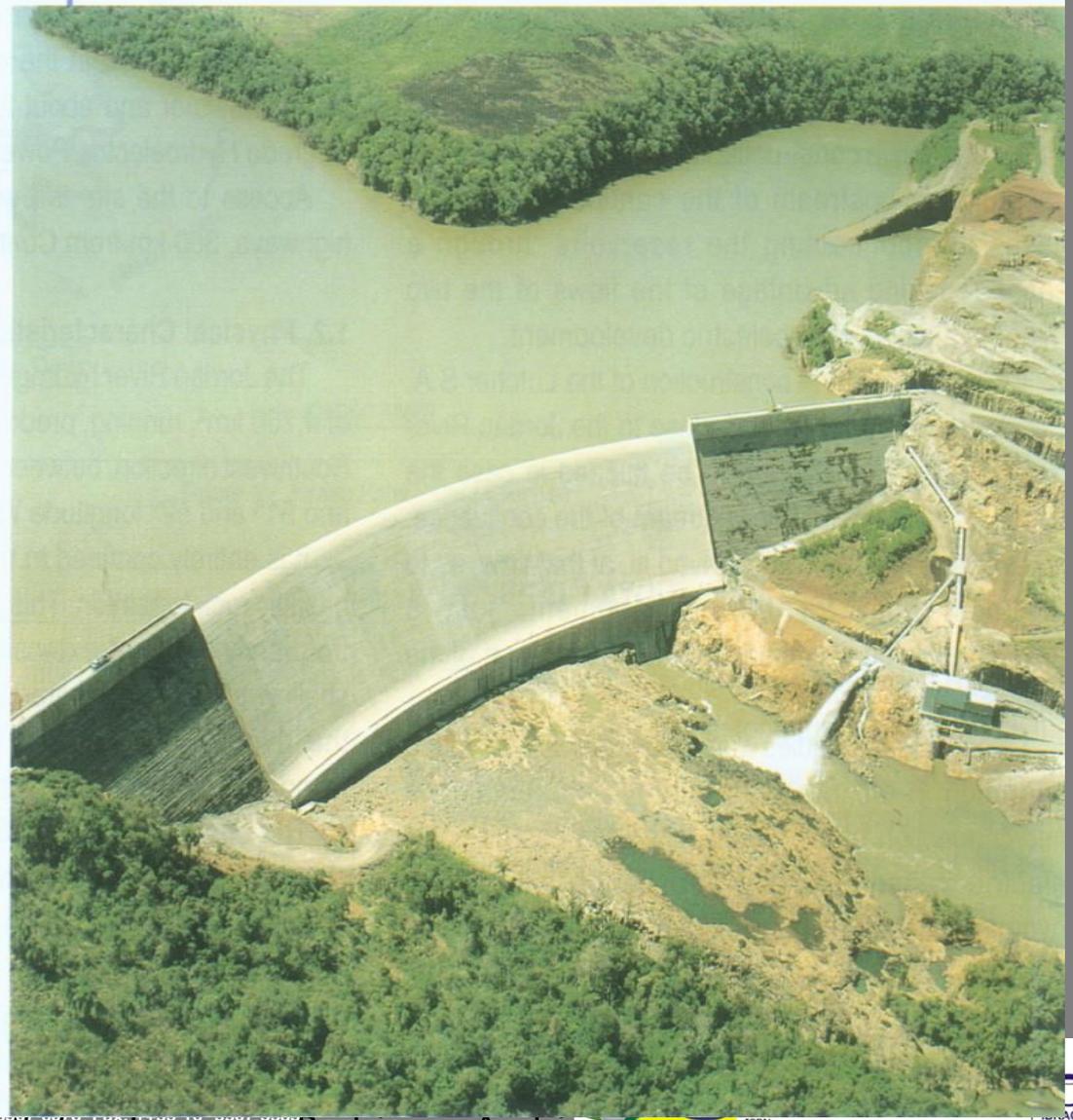
Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



# Principio

Aquí quedo importante el papel de la **COPEL**

Eso fue el divisor de aguas em el encenário Brasileño de construcción de Presas de HCR



## Estudios

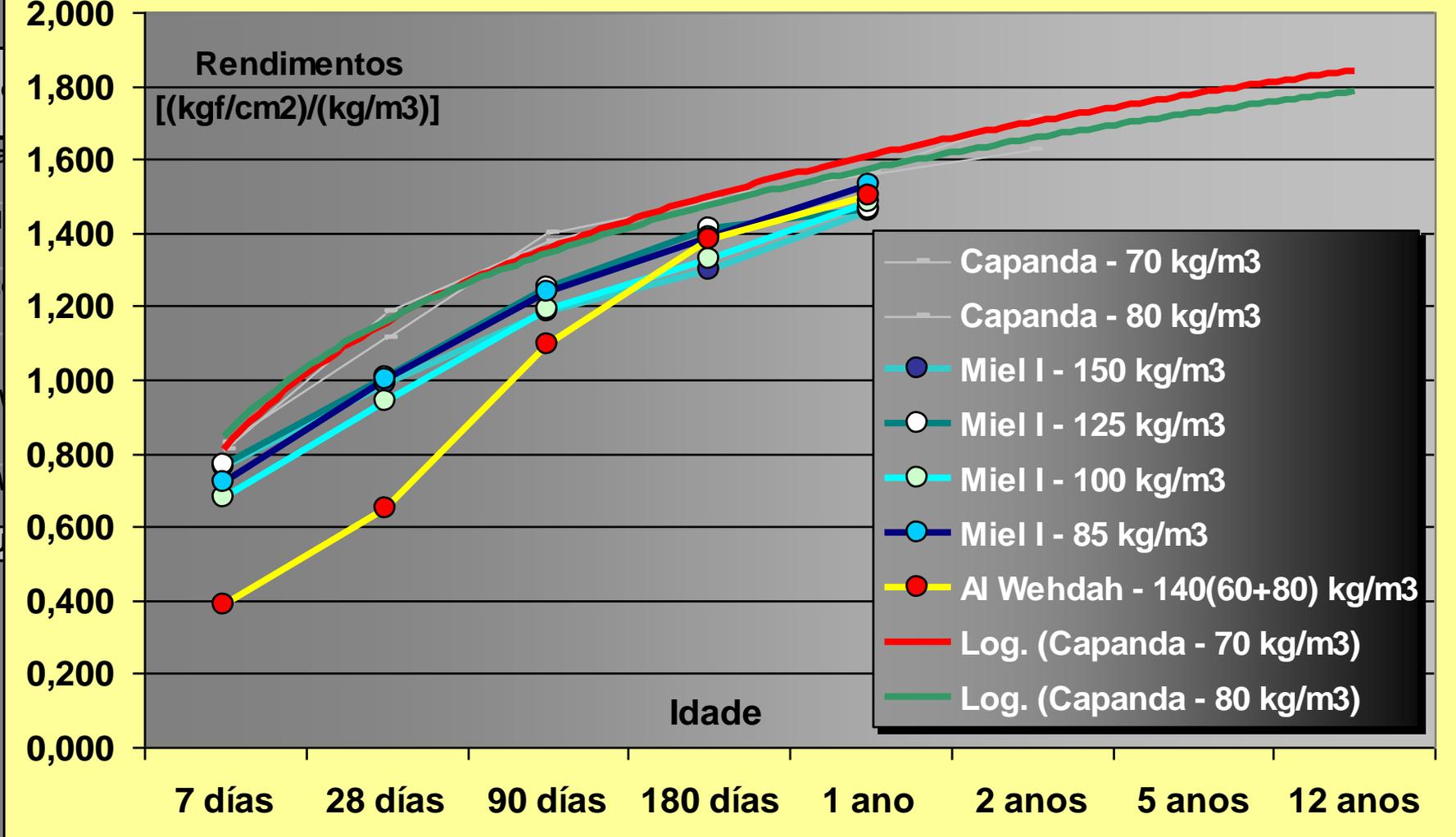
Los estudios del HCR en el Brasil, fueron realizados principalmente por las Empresas del Sector Hidro-Eléctrico Brasileño (**ITAIPÚ, CEMIG, FURNAS, ELETRONORTE, COPEL e CESP**), siendo que el Laboratorio de **Itaipú** prácticamente comenzó con los estudios técnicos para el conocimiento de las diferentes propiedades, cuando realizó los estudios iniciales de los materiales y HCR de las Obras de los Proyectos de **Urugua-í** (Argentina) y **Capanda** (Angola). En el Proyecto de Capanda, después se junto **FURNAS**, cuyo Laboratorio dió una colaboración relevante.

## Estudios

Hay que destacar que en Uruguay la contribución Brasileña fue fundamental para el desarrollo del HCR en el Brasil y en el Mundo. Principalmente por el uso inédito del Polvo de Piedra o Arena Artificial para “cerrar” las curvas granulométricas de las mezclas y la demostración, que el uso de ese material industrial descartable, posee propiedades aglutinantes, por la evidencia satisfactoria de la Actividad Puzolánica<sup>[09-10 e 11]</sup>. Esa mejora técnica y la ventaja económica ya había sido pesquisada entre 1978 y 1982 en el Laboratorio de Hormigones de **Itaipú**, para Hormigones Masivos Convencionales<sup>[12]</sup>.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

**Eficiencia de Dosagens (Rendimientos) - Obras de CCR**



## **Errores**

### **Composición Granulométrica y la Importancia de los Finos ( $\leq 0,075$ mm)**

Las primeras utilizaciones de HCR (alrededor de 1982-1984) confirmaron las previsiones de la necesidad de adoptar cuidados cuanto a la Permeabilidad del Paramento de Aguas Arriba, como fue previsto (Referencia [02]) y en el Propio Tender Document for Willow Creek <sup>[23]</sup> y lo que sucedió en la Presa de Willow Creek<sup>[24]</sup> y en otras. Luego otros estudios confirmaron esa elevada Permeabilidad.

Esa alta Permeabilidad observada inicialmente en el HCR tenía su origen en la tendencia de los tecnólogos de utilizar composiciones granulométricas semejantes a las ya consagradas para los Hormigones Masivos Convencionales, que utilizaban mayor cantidad de fracciones gruesas de agregados grandes y poca cantidad de agregados finos. Este punto fue debatido con énfasis por el autor y colaboradores en la época de los primeros estudios y colocaciones en Itaipú.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

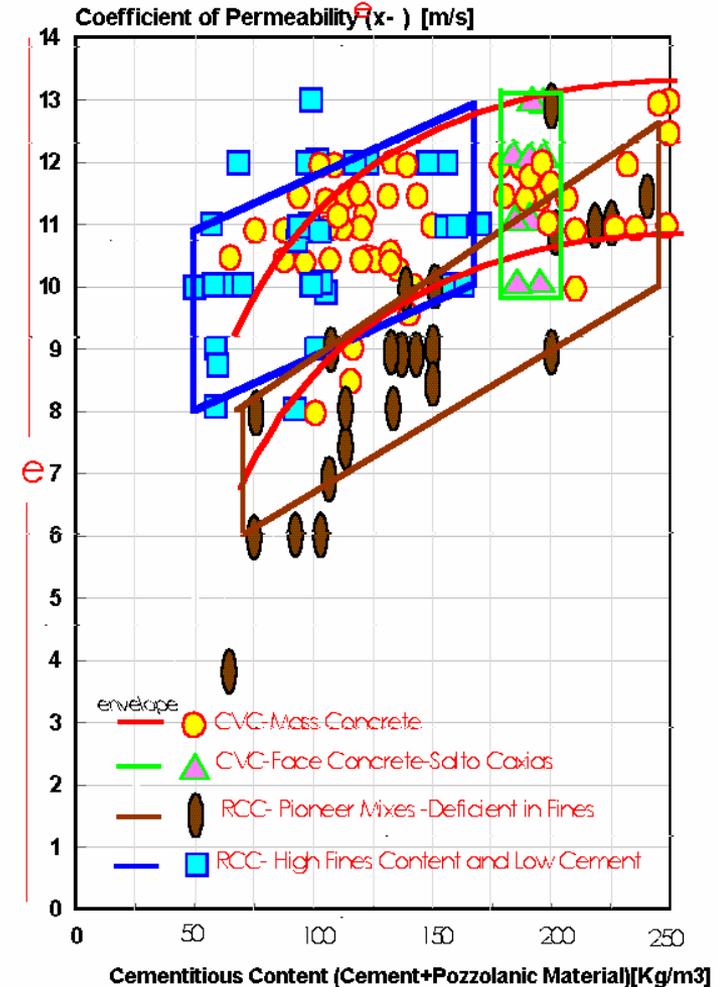


Willow Creek Dam  
USA

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

A partir de esa época se comenzó a dar atención a la cantidad de finos (material de tamaño inferior a 0,075 mm), lo que permitió establecer una nueva práctica; lo que llevó a que algunos Técnicos denominaron de “Segunda Generación de Presas de HCR”.

Esa práctica demostró que la Reducción de la Permeabilidad, no depende necesariamente del Consumo de Cemento y que se pueden obtener Coeficientes de Permeabilidad de  $10^{-11}$  a  $10^{-12}$  m/seg. con tenores de materiales cementicios alrededor de 100 Kg/m<sup>3</sup>. O sea esa práctica de usar Finos (primordialmente No Cohesivos y No Arcillosos) se consolidó con ventajas incuestionables.



## **Sistemas de Impermeabilidad y Drenaje**

Otro aspecto que se debe incorporar a los **Errores** provenía de la poca importancia que se daba a la necesidad de tener un sistema de impermeabilización mas consistente con la nueva técnica que se estaba consolidando. También había que sumar a eso el aumento del número de Juntas de Construcción (y eventual camino preferencial para la infiltración de agua) en esa metodología, comparando con la de los Hormigones Convencionales, tradicionalmente utilizada en esa época.

Este binomio de hechos-*elevada permeabilidad* (de los HCR de la primera generación) y *un número mayor de juntas de Construcción* – llevó a la necesidad de llamar la atención sobre el Sistema de Impermeabilidad y Drenaje en las Presas de HCR.

As dimensões estimadas para a solução de envelopamento foram calculadas a partir de critérios conservadores, sendo adotada a equação desenvolvida por Bazant para a determinação da espessura de concreto de paramento e de fundação.

$$e = \sqrt{2 \cdot p \cdot k \cdot \frac{t}{\alpha}}$$

Onde: e = espessura de paramento; p = pressão da coluna d'água; k = coeficiente de permeabilidade; t = tempo de vida útil considerado; α = volume de vazios após a hidratação (?).

Considerou-se para esse cálculo, que o coeficiente de permeabilidade do monolito fosse igual ao de juntas de construção tratadas de maneira convencional (10<sup>-10</sup> cm/s) e um tempo de 100 anos para que a água percolasse através apenas do concreto de impermeabilização. Desta maneira, foi dimensionada a colocação de concreto massa convencional no paramento de montante e no contato com a fundação, sendo obtida uma espessura de 4,5 m junto ao pé de montante na seção de maior altura.

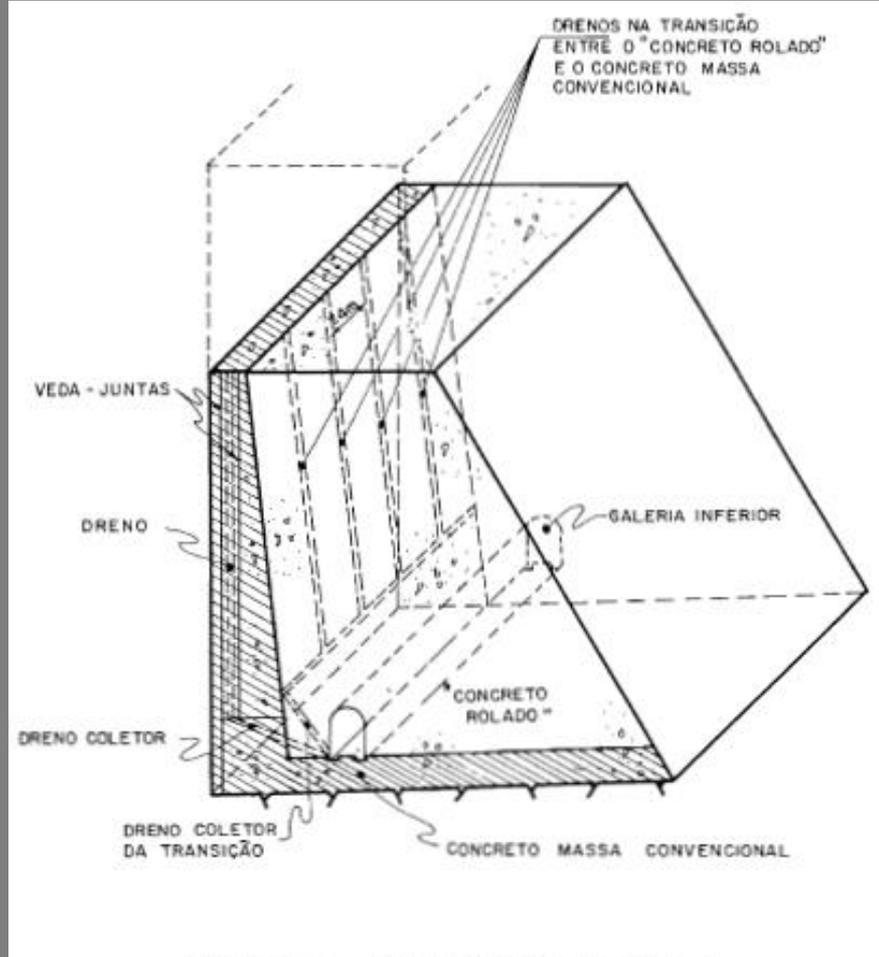


FIGURA 5 - SISTEMA DE DRENOS

## **Aciertos**

### **Conceptos Sobre el Cuerpo de la Presa**

👍 Uso de Hormigón Convencional en el Paramento de Aguas Arriba (con un consumo máximo de materiales cementicios alrededor de  $200 \text{ kg/m}^3$ ) construido simultáneamente con el HCR, con Juntas de Contracción a cada 20 metros aproximadamente, selladas con una línea doble de Juntas de PVC de ancho alrededor de 35 cm.;

👍 Adopción de una Mezcla de Adherencia o Asiento (Bedding-mix) entre las camadas, como seguridad adicional (ya que prácticamente el Angulo de Fricción entre las camadas es suficiente para las Cargas Recomendadas por el Código Brasileño) en cerca de 25 a 30 % de la superficie del Paramento de Aguas Arriba.

👍 Galerías de Drenaje;

👍 O sea, un cuerpo masivo, con Sistema de Impermeabilización en el Paramento de Aguas Arriba,

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



# Algunos de nuestros ERRORES



Col... on la Construcción de Presas



INTEGRAL DE LAS PRESAS  
COMPACTADO

Instrucción de Presas



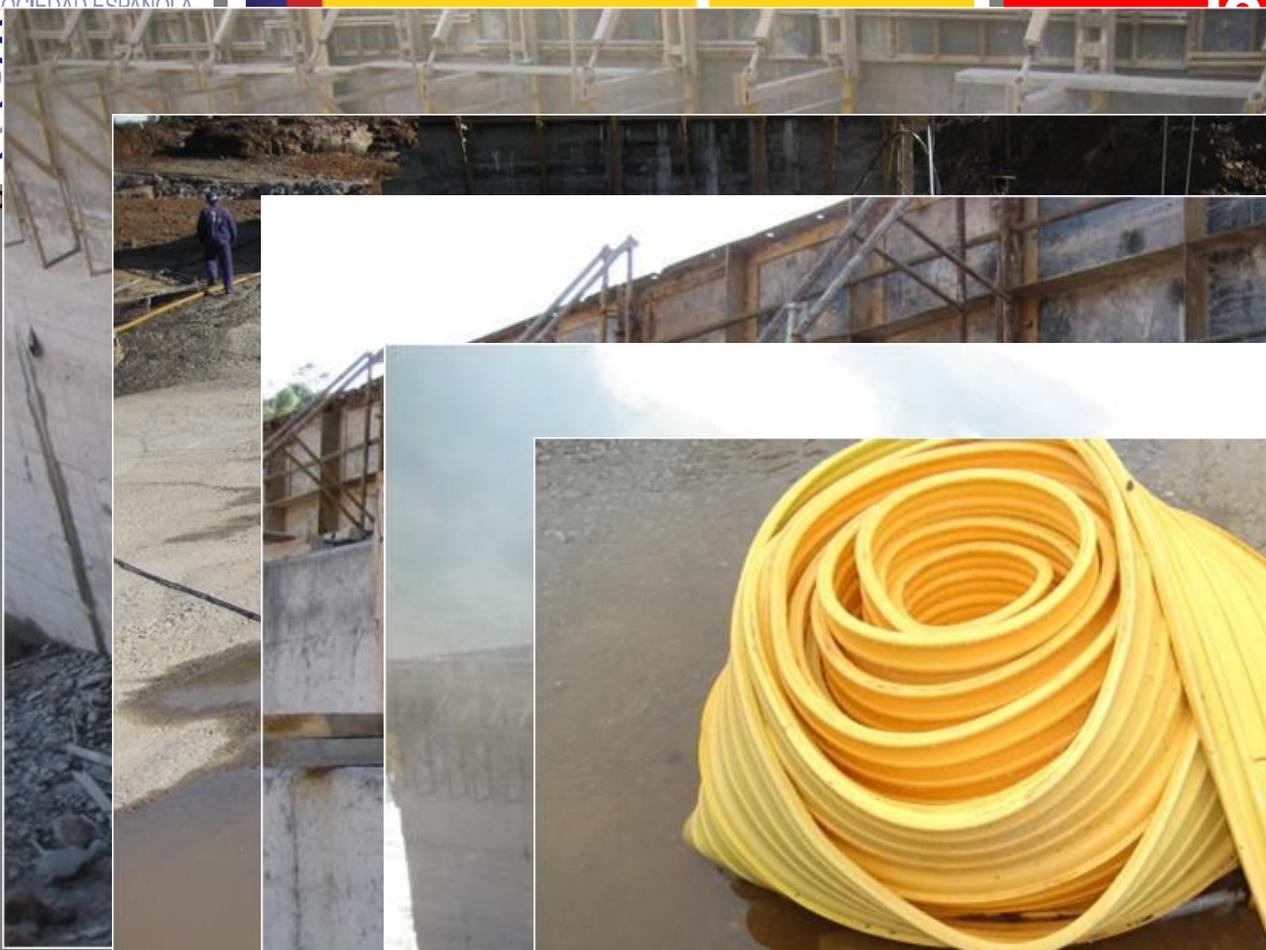
Con

ón de Presas



## CONSTRUCCIÓN INTEGRAL DE LAS PRESAS CON PAVIMENTO IMPACTADO

Construcción de Presas



➔ In Brazil, the adoption of RCC technique was not only based on cementitious consumption reduction. Since the 60's, concrete class zoning has become very popular (CVC-ConVentonal ConCrete mass), as well as resistance control at one year age or at least 180 days. These concepts were intended as a way of emphasizing the material's potential. In fact, Brazil's vast territorial extent obliged optimization of materials found near the job site and reduction of the chances of materials being rejected on arrival. On account of this, a series of control procedures evolved and were adopted on the largest concrete dams in the country like Ilha Solteira, Itaipu, Tucuruí and others.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

÷ Another consequence of the country's vastness is the installation of laboratories in certain strategic locations with the purpose of understanding and pre-qualifying materials, techniques and technologies, as well as labor training and quality control support. The following important events exemplify these actions:

Hydroelectric-CVC Concrete Volume	Period	Event
Ilha Solteira- 3,680,000m <sup>3</sup>	1970- 1972	Use of CVC Mass with an 84kg/m <sup>3</sup> of cementitious consumption (61 cement + 23 Pozzolan). Concretes controlled at 180 days age.
Itumbiara- 2,080,000m <sup>3</sup>	1975- 1980	Concrete class zoning, with age control from 90 to 180 days.
Itaipu- 13,000,000m <sup>3</sup>	1977- 1982	Concrete class zoning, with age control from 180 and 360 days. 90 kg/m <sup>3</sup> of cementitious content. Production rate above 750m <sup>3</sup> /h
Tucuruí- 6,000,000m <sup>3</sup>	1978- 1984	Concrete class zoning, with age control at 180 days. Up to 95 kg/m <sup>3</sup> of cementitious content. Production rate above 500m <sup>3</sup> /h

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCP en la Construcción de Presas

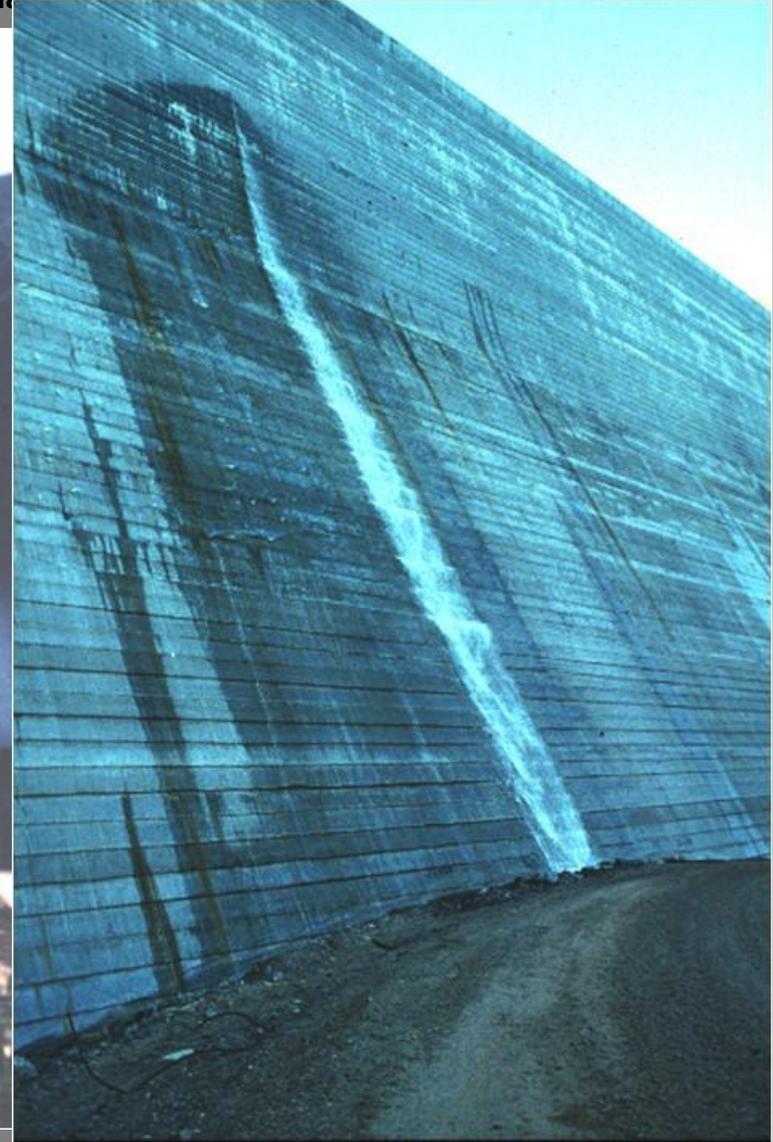
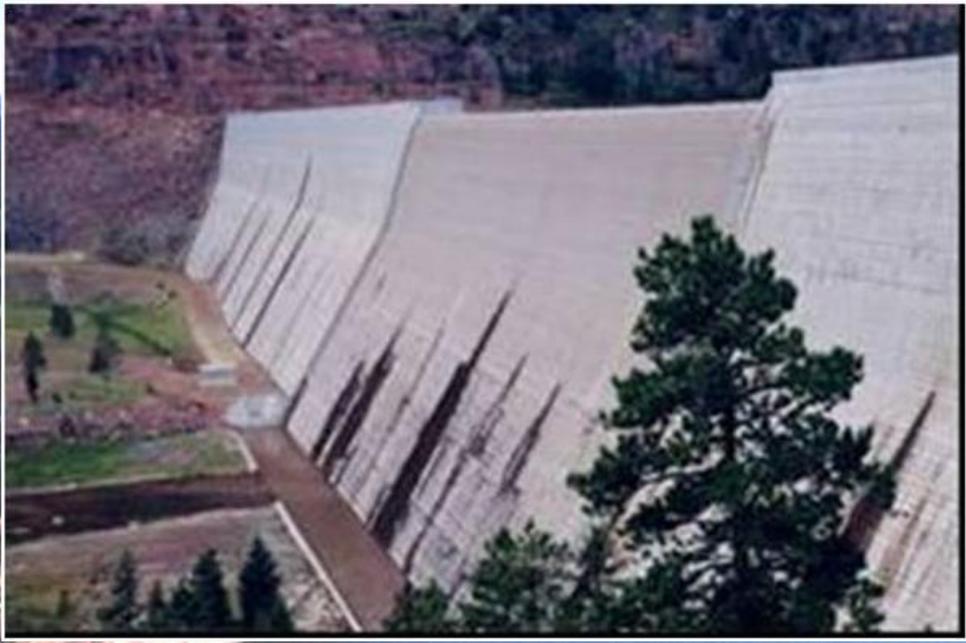


# Algunos ERRORES de otros

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCP en la Construcción de Presas



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas





# JORNADA TÉCNICA

## UMA VISIÓN INTEGRAL DE LAS PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



**22nd USSD Conference**

**Dams — Innovations for Sustainable Water Resources**

### DESIGN OF ROLLER-COMPACTED CONCRETE FEATURES FOR THE OLIVENHAIN DAM

Robert A. Kline, Jr., P.E.<sup>1</sup>  
Glenn S. Tarbox, P.E.<sup>3</sup>

Rodney E. Holderbaum, P.E.<sup>2</sup>  
Randall J. Hartman, P.E.<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

The Olivenhain Dam will be a new roller-compacted concrete (RCC) gravity dam located near San Diego, California. At 318-feet-high (97 meters), the Olivenhain Dam will be the largest RCC dam in North America and the first RCC dam in the state of California. The Olivenhain Dam will create a 24,000 acre-ft reservoir as part of a 12 year, Emergency Storage Project (ESP) for the San Diego County Water Authority. The ESP is being developed to protect the residents in the San Diego region against a disruption in water deliveries from outside the County, including earthquake and drought.

This paper presents the design approach and results for RCC-specific features for this record-setting project. These features include upstream and downstream facing systems, foundation gallery, and thermal stress cracking computer modeling.

#### SELECT RCC DESIGN FEATURES

##### Facing Systems

Prior to RCC dams, the upstream and downstream faces of conventional mass concrete dams were generally not considered as a separate design element, and there was no special costs allocated to the faces of the dam. The introduction of RCC construction techniques sought to reduce the cost of the forming materials for the dam faces and the associated high labor and equipment costs of setting, stripping, and resetting forms. This led to innovations for building both the upstream and downstream faces of RCC dams. A variety of upstream and downstream facing systems have been used on RCC dams with varying degrees of success.

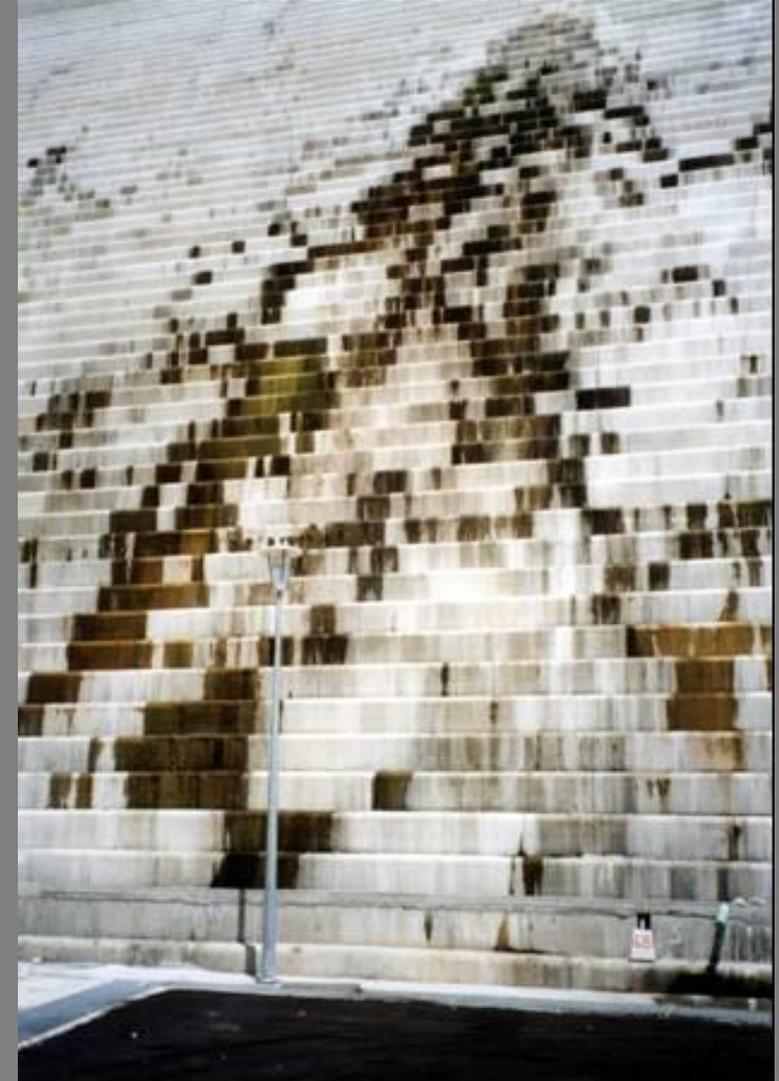
Selection of a facing system for an RCC dam is site specific and must consider the intended purpose of the dam, operation and performance criteria, local climatic conditions, materials availability, structure size, and owner and public perception of the finished product.



the upstream face. Since the early 1990's, geomembrane liners have and are being used on a higher percentage of RCC dams due to these performance characteristics. Some of the advantages of the geomembrane liner are further described below:

1. **Permeability:** Dams constructed or retrofitted with a geomembrane liner system have unit seepage rates per upstream face surface area that are markedly lower than other upstream facing system alternatives.
2. **Contraction Joints:** The liner system eliminates the need to construct cumbersome and sometimes ineffective traditional waterstop systems concurrently with RCC placement operations at contraction joints within the dam. The liner can also span a high degree of differential movement at contraction joints and continue to function as intended.
3. **Crack Propagation Reduction:** Geomembrane liners have a significant impact on minimizing the potential for short and long-term cracking in the dam because of the reduction of reservoir pressure acting on shallow thermal stress cracks in the RCC at the upstream face, commonly referred to as surface gradient cracks.
4. **Internal Drainage:** Internal drainage is incorporated into an external liner system via a geogrid placed behind the liner at upstream face of the dam. This drainage layer is much more effective in reducing uplift pressure within the dam than conventional drilled drain holes positioned within the interior of the dam.
5. **Seismic Stability:** With the risk of horizontal crack development resulting from seismic-induced tensile stresses that exceed the RCC's ultimate tensile strength, the liner system material can elongate as much as 200% to span crack openings. Following a seismic event, the liner will prevent seepage losses through any resulting cracks.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



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

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.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

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 hormigón 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.

# **ASPECTOS Y OCURRENCIAS PARA PROVOCAR LOS DEBATES**

Como fue citado en otras publicaciones el HCR 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 HCR 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 hormigón 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 HCR, o mas ampliamente en Presas?***

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

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

Material	Parâmetro/Índice	Hormigón	
		HVC Massa	HCR
Cemento	Físicos/Químicos/Térmico	S	S
Material Puzolanico	Físicos/Químicos	S	S
Rocas para Agregados	Físicos/Químicos/Térmico/Sanidad	S	S
Agregado Grueso	Granulometria/Forma/ Contenido < 0,075mm	S	S
Agregado Fino	Granulometria/Contenido < 0,075mm	S	S
Água	Calificação Físico/Química	S	S
Aditivos	Calificação Físico/Química	S	S
Hormigones	Dosificación y Ensayos Laboratoriales	S	S
	Terraplen de Prueba	N	S
	Uniformidad em la Producción	S	S
	Manipuleo(Transporte, Colocación, Esparzido, Densificación y Curado)	S	S
	Ensayos de Humedad y Densidad durante y despues de la Compactación	N	S
	Preparo de la superficie de las Juntas	S	Casi siempre
	Colado de Mortero de Pega sobre la Junta de	Despues 60-N	En algunos Países
Vida	Monitoreo y Auscultación	Gran Numero	Algunas

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

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

O sea, contando con un conjunto de herramientas técnicas mucho más actualizado (Registros Fotográficos digitales instantáneos; registros computadorizados, apoyo de instrucciones de ISO's, disponibilidad de referencias técnicas "on-line"), las Presas de HCR presentan un gran número de "No Conformidades".

Destaco también que simultáneamente las presas de CFRD (Enrocado Con Cara de Hormigón) también acusan un número elevado de "no Conformidades".

Debemos hacer aquí una pregunta:

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

Comentario

de Presas



## **ASPECTO CONCEPTUAL**

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 camadas , con las propiedades del hormigón, para obtener una estructura económica y durable.

EL HCR ES UNA METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN  
CONCEBIDA CON EL OBJETIVO DE SIMPLIFICAR LA  
CONSTRUCCIÓN DE PRESAS, Y, NO PARA COMPLICARLA!

## **PROYECTO Y CONTRATO**

### **GENERALIDADES**

AUN QUE EL CCR SEA UNA METODOLOGIA DE CONSTRUCCIÓN, EL PROYECTO QUE CONCIBE O PERMITE SU EMPLEO, PUEDE SER OPTIMIZADO CON EL FIN DE FACILITAR LA ADOPCIÓN DEL PROCESO.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

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 hormigón.

La cantidad de Juntas de Construcción entre las delgadas camadas 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 Projectistas de presas de HCR 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 enrocado, con cara de hormigón.

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 más 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 hormigón tradicional y garantizar un proceso que proporcione juntas de construcciones con propiedades para no perjudicar la estabilidad.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

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 HVC colado contra el encofrado de aguas arriba, en forma simultanea con el HCR;
- China es el principal usuario de la Metodología do Ge-RCC, utilizando o HCR “enriquecido”(???) con lechada de cemento colada en el HCR y vibrado convencionalmente;
- Brasil que desarrolló el HCR rico en finos de “Polvo de Roca” con bajo tenor de aglomerantes y con la cara de aguas arriba materializada de forma semejante a los Japoneses con un HVC con un máximo de  $200 \text{ kg/m}^3$  de aglomerante, pero con una gran cantidad de finos.



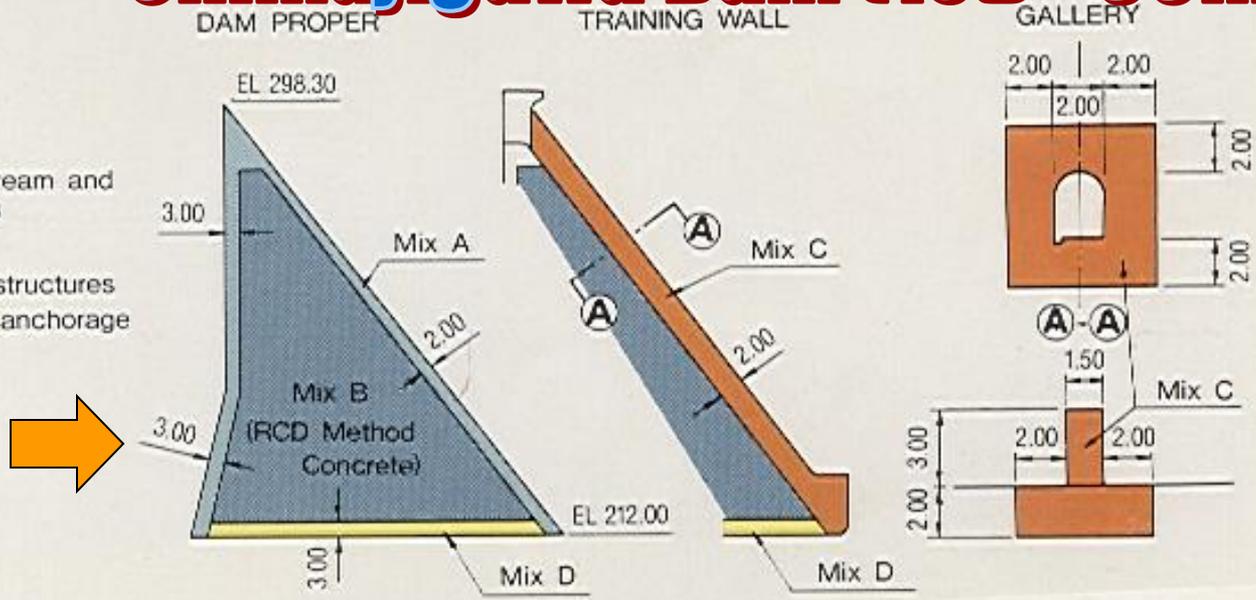
**2 CONCRETE MIX DESIGNS**

Grade	Max. Size Coarse Agg (mm)	Water-Cement Ratio (W/C+F)	Fly Ash Ratio (F/C+F) %	Sand-Agg. Ratio (s/a) %	Slump (cm)	Air (%)	Water (W) (kg/m³)	Cement (C) (kg/m³)	Fly Ash (F) (kg/m³)	Fine Agg. (S) (kg/m³)	Coarse Agg. (G) (kg/m³)	Admixture (kg/m³)	Volume (m³)	Remarks
A	80	0.591	30	34	4 ± 1.5	3.5 ± 1	130	C + F = 220 154	66	670	1377	0.55	76,000	Used at upstream and downstream faces
B-1	80	0.808	30	34	---	1.5 ± 1	105	C + F = 130 91	39	749	1476	0.325	92,000	Concrete by RCD Method
B-2	90	0.875	30	34	---	1.5 ± 1	105	C + F = 120 84	36	752	1482	0.30	73,000	
C	80	0.491	30	31	4 ± 1.5	3.5 ± 1	140	C + F = 285 199	86	593	1341	0.713	40,000	Used around structures
D	80	0.761	30	34	4 ± 1.5	3.5 ± 1	137	C + F = 180 126	64	687	1353	0.45	32,000	Used at rock anchorage

# Shimajigawa Dam (1st) - 89m

Concrete Zoning Diagram

- Grade A Mix: Concrete for upstream and downstream faces
- Grade B Mix: Internal concrete
- Grade C Mix: Concrete around structures
- Grade D Mix: Concrete at rock anchorage



Comentario

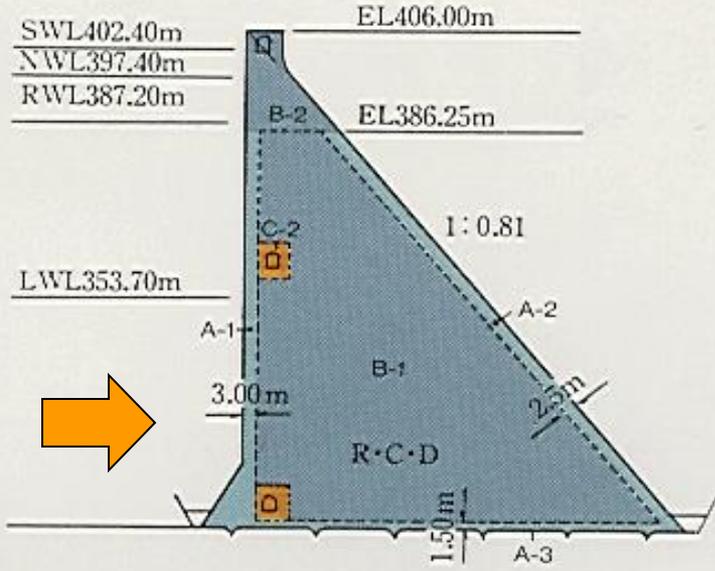
**2 CONCRETE MIX DESIGNS**



Grade	Max. Size Coarse Agg. mm	Water-Cement Ratio W/C+ F	Fly Ash Ratio (F/C+ F) %	Slump cm	Sand-Agg. Ratio (s/a) %	Air %	Water (W) kg/m <sup>3</sup>	Cement (C) kg/m <sup>3</sup>	Fly Ash (F) kg/m <sup>3</sup>	Fine Agg. (S) kg/m <sup>3</sup>	Coarse Agg. (G) kg/m <sup>3</sup>	Admix-ture kg/m <sup>3</sup>	Volume m <sup>3</sup>	Remarks
A-1	150	0.48	30	3+1	22	3±1	115	C + F = 240 168	72	440	1,572	0.600	100,000	Exterior (Upstream face)
A-2	150	0.51	30	3+1	22	3±1	112	C + F = 220 154	66	446	1,592	0.550	90,000	Exterior (down-stream face)
A-3	150	0.60	30	3±1	24	3±1	108	C + F = 180 126	54	497	1,587	0.450	40,000	Exterior (rock anchor)
B-1	150	0.73	30	—	30	1.5±1	95	C + F = 130 91	39	657	1,544	0.325	750,000	Interior (RCD)
B-2	150	0.66	30	3+1	25	3±1	106	C + F = 160 112	48	523	1,582	0.400	40,000	Interior
C-1	80	0.51	30	6+1.5	27	3.5±1	138	C + F = 270 189	81	513	1,397	0.675	90,000	Reinforced section
C-2	80	0.54	30	4-1.5	27	3.5±1	129	C + F = 240 168	72	527	1,436	0.600	30,000	Reinforced section

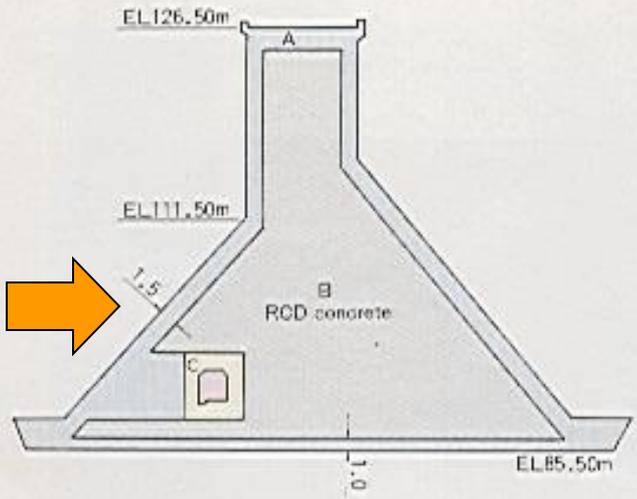
Concrete Zoning Diagram

**Tamagawa Dam  
(2nd) - 100m**



# Pirika Dam (6th) - 40m

● SECTION OF CONCRETE ● SPECIFIED MIX  
MIX PROPORTION



Classification	Maximum size of coarse aggregate (mm)	Water cement ratio W/C+P	Sand percentage S/A %	Slump (cm)	Air content %	Water (M) kg	Cement (C+P) kg	Fine aggregate (S) kg	Coarse aggregate (A) kg	Admixture (A)
A	83	47.1	27.4	3±1.5	4.5±1	98	203	556	1,311	0.53
B	83	75.0	33.0	-	1.5±1	50	153	661	1,548	0.30
C	83	43.8	27.0	4±1	4.5±1	105	240	536	1,488	0.60
D	49	32.1	41.0	10±2	4.5±1	148	280	756	1,316	0.30
M		49.7				248	503	1,355		

F/C+P=32% (by ash percentage)

- mix proportion A : in foundation rock portion and external of dam body
- mix proportion B : RCD concrete in 75cm Lift
- mix proportion C : around reinforcements of structure in dam body, for example, inspection gallery
- mix proportion D : diversion, wall in energy dissipator, pier, overflow section over EL117.50m , and dam toe training wall

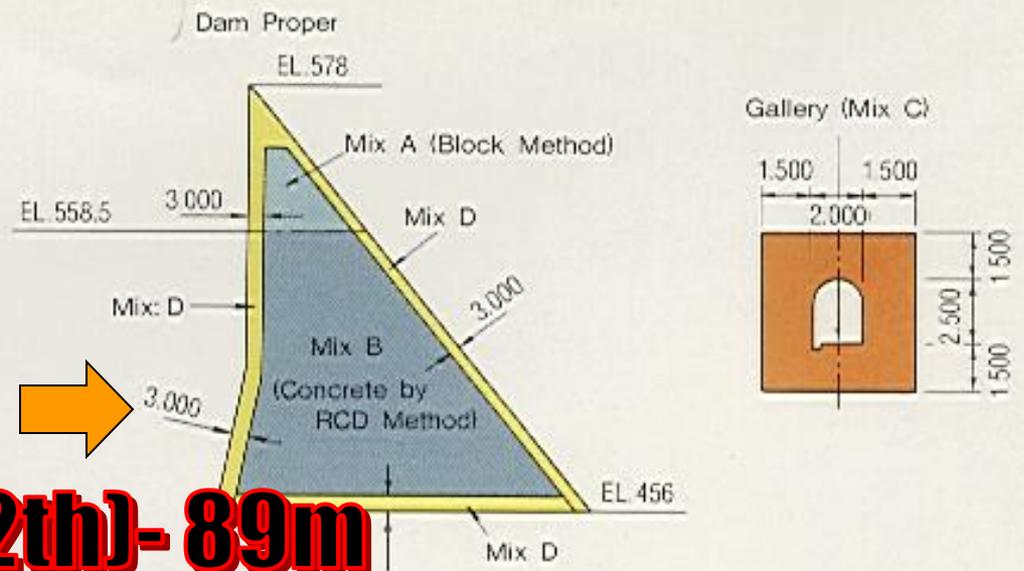
**2 CONCRETE MIX DESIGNS**

Grade	Max Size Coarse Agg. mm	Water-Cement Ratio (W/C+F)	Fly Ash Ratio F/(C+F) %	Sand-Agg Ratio %	Slump cm	Air %	Water (W) kg/m <sup>3</sup>	Cement (C) kg/m <sup>3</sup>	Fly Ash (F) kg/m <sup>3</sup>	Fine Agg (S) kg/m <sup>3</sup>	Coarse Agg (G) kg/m <sup>3</sup>	Admixture kg/m <sup>3</sup>	Volume m <sup>3</sup>	Remarks
A	150	0.61	30	25	4 ± 1.5	3 ± 1	110	C + F = 180 126	54	560	1,561	0.40	15,700	Interior of block
B	80	0.81	30	34	—	1.5 ± 1	105	C + F = 130 91	39	752	1,182	0.70	31,310	Interior RCD
C	80	0.49	30	31	4 ± 1.5	3.5 ± 1	110	C + F = 285 199	86	593	1,341	0.30	26,000	Structures
D	150	0.50	30	25	4 ± 1.5	3 ± 1	100	C + F = 230 170	60	550	1,600	0.50	191,600	Rock anchorage of whole and exterior



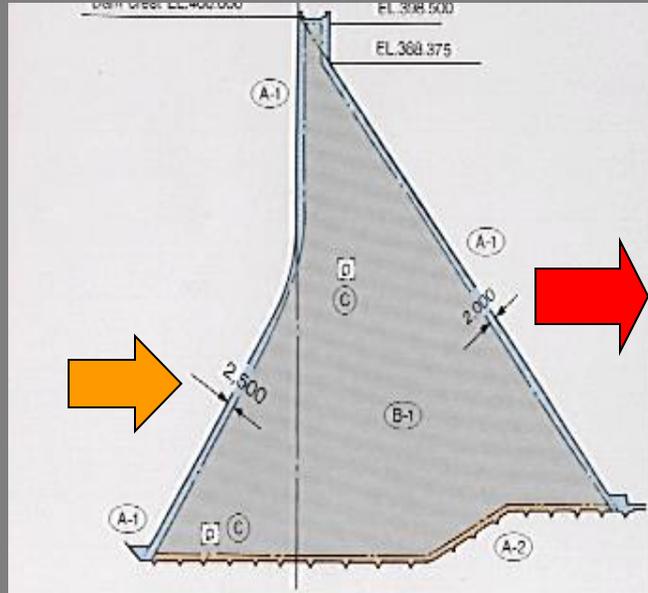
**Concrete Zoning Diagram**

- Mix A: Interior concrete in block method
- Mix B: Interior concrete in RCD Method
- Mix C: Concrete around structure
- Mix D: Concrete at rock anchoring parts and upstream and downstream faces



**Sakaigawa Dam (12th)- 89m**

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



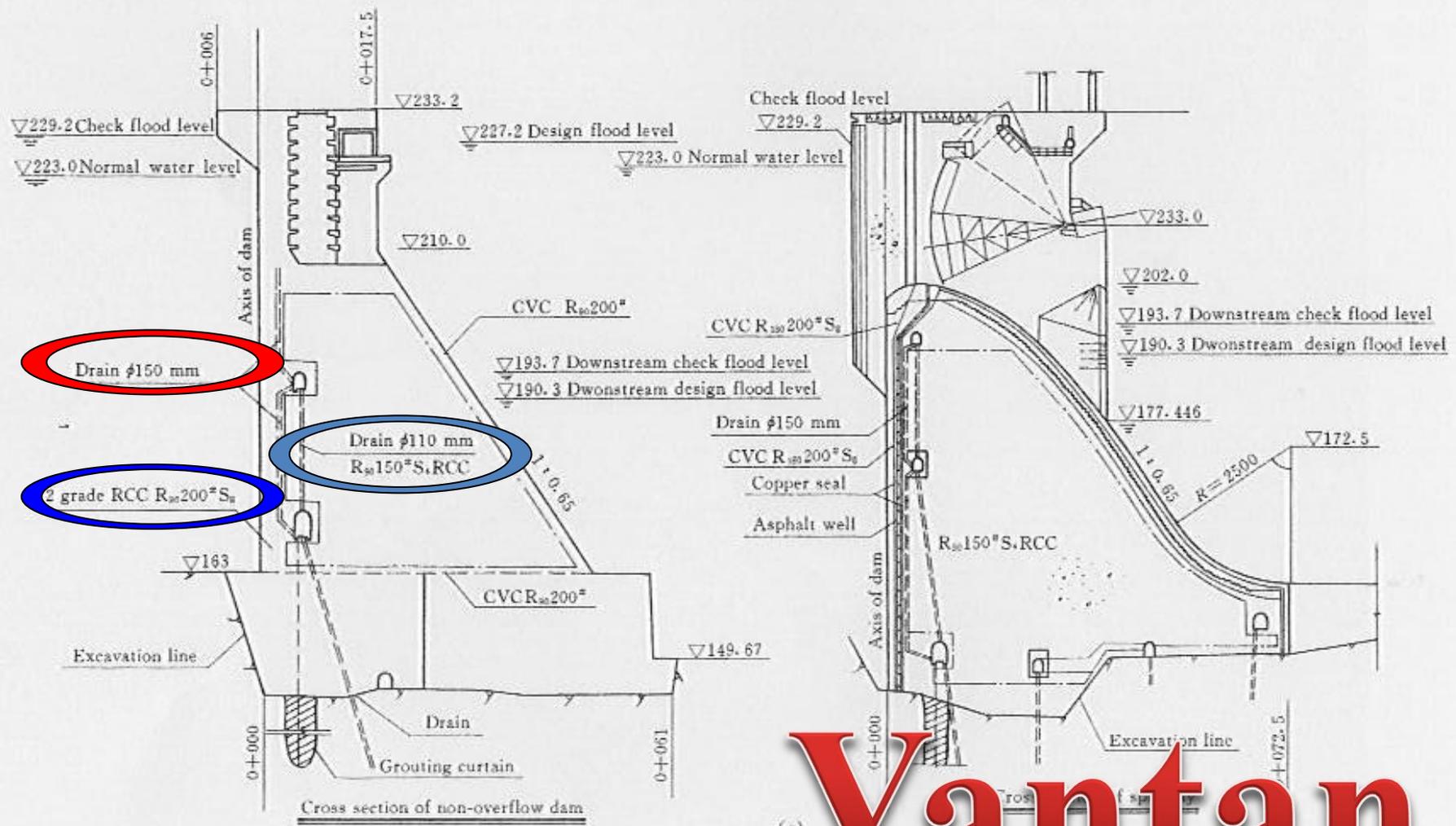
**Mixture Table**

Mixture name	A-1	A-2	B-1	B-2	C	D	M
Maximum size of aggregate (mm)	150	150	150	150	80	40	5
Slump (cm)	3±1	3±1	10~20*	3±1	5±1	8±1	—
Air (%)	3±1	3±1	1.5±1	3±1	3.5±1	4±1	—
Water-cement ratio W/C+F (%)	49.6	58.9	65.4	66.3	54.6	55	60
Fly ash mixing ratio F/C+F (%)	30	30	30	30	30	30	30
Fine aggregate ratio S/G+S (%)	26	27	30	27	36	46	—
Cement C+F (kg)	210	180	130	160	240	280	500
Water W (kg)	104	106	85	106	131	154	300
Fine aggregate S (kg)	541	568	674	573	709	855	1,404
Coarse aggregate G (kg)	150~80mm	308	307	314	—	—	—
	80~40	462	461	472	387	—	—
	40~20	385	384	393	388	504	502
Admixture	20~5	385	384	393	388	387	502
	Fly ash (kg)	63	54	39	48	72	84
	Water-reducing agent (g)	525	450	325	400	600	700
Remarks	External: Upstream/donstream faces, apron	External: Bedding concrete	Internal: RCD concrete	Internal: Stop form	Around structures: Around reinforcement, training wall, end sill	Special mixture: Gate sill, railing, etc.	Base mortar

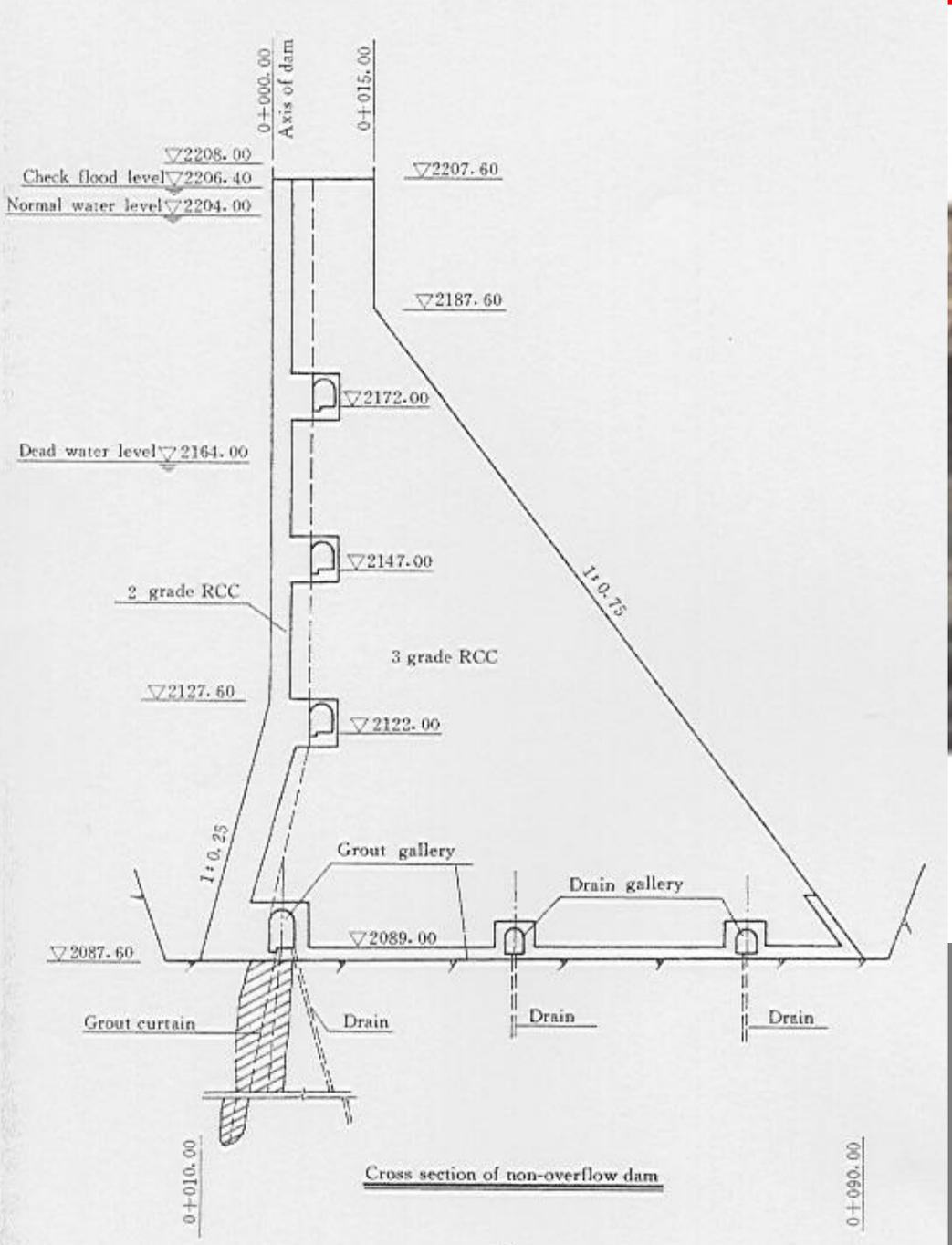
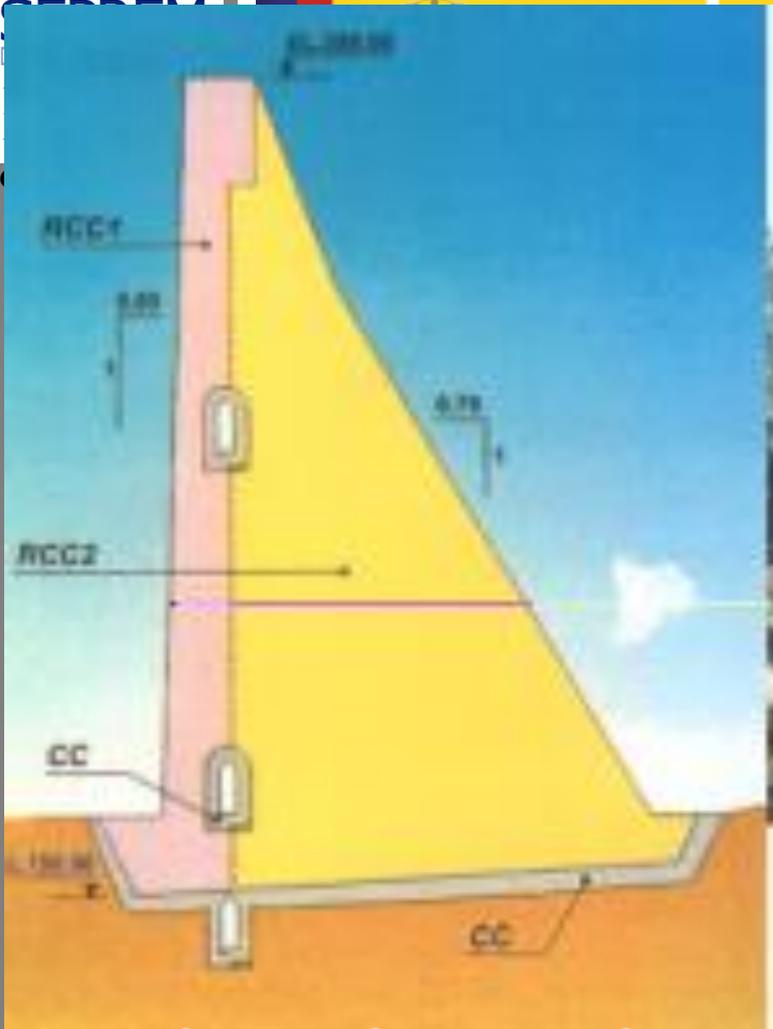
d (upstream cofferdam)

\* VC value

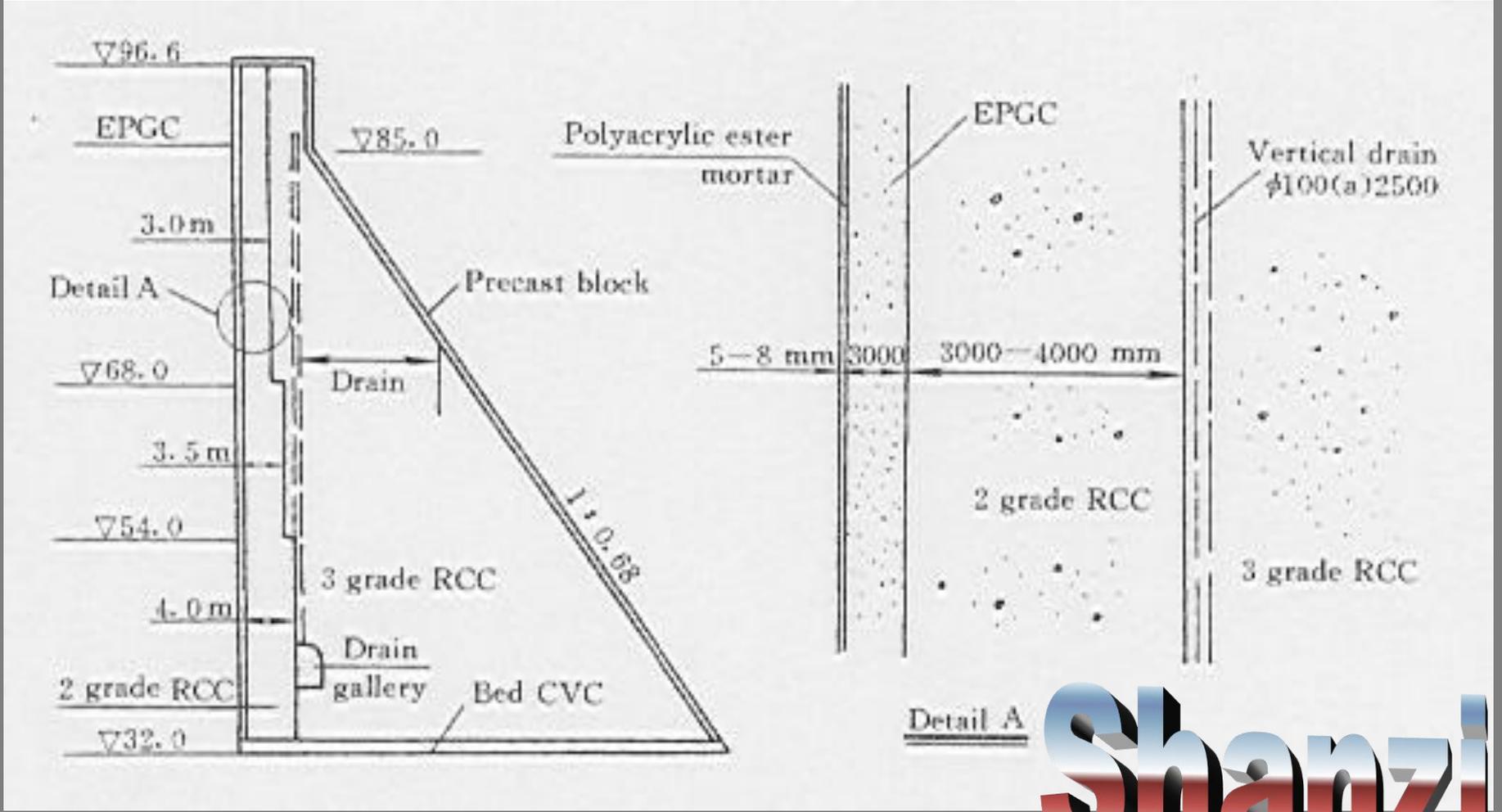
# Urayama Dam (19th) - 156m



**Yantan**



# Jiudianxia



**Shanzi**

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

## **Metodología:**

O GERCC (GROUT ENRICHED RCC) é aplicado simultaneamente com o HCR, contra a forma de montante, após o lançamento do HCR tipo II (mais rico que o de núcleo) com a aplicação de uma calda de cimento ( $A/C \approx 0,8$ ) sobre a superfície do HCR- II. Faz-se a vibração desse HCR e a Calda.



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del



General View



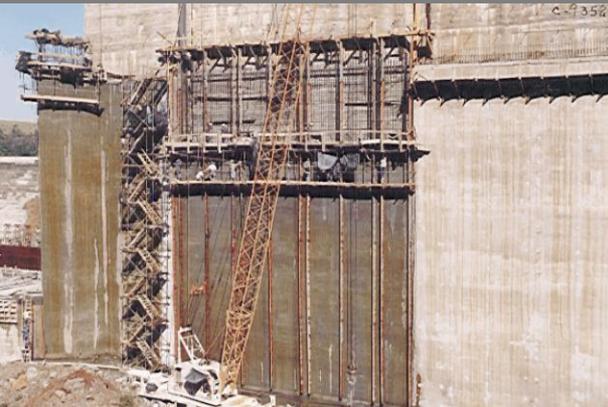
Upstream RCC  
Surface



Reinforcement and Form  
preparation

# Construction - Spillway Section

Sliding and  
CVC Finishing



CVC pouring  
and Sliding  
Form



CVC placement  
starting



on Sagra

niolo



**Curing**

**First phase  
concluded**

Formigones para



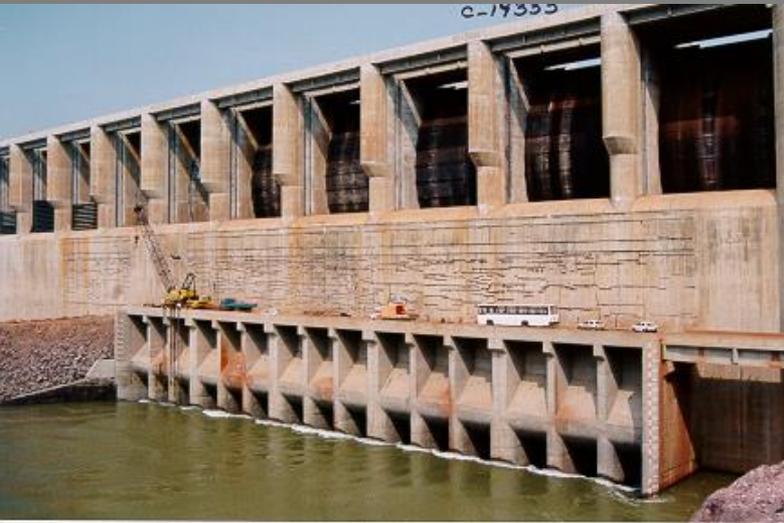
**All steps**

**Checking and  
Repair**



# Performance - Spillway Section

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



The inspection revealed micro-cracks along the face and cracks smaller than 0.3mm on blocks V1 to V5, V7 and V13. These are concentrated above elevation 288.00 and with exception of block V7 did not receive pre-cooled concrete.

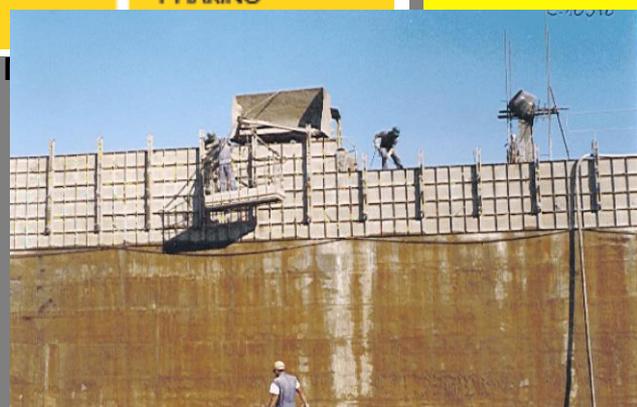


Cracks detected between 0.1 and 0.3 mm were treated with epoxy based sealant (Sikadur 43 enriched with cement), and micro-cracks (thickness < 0.1mm) did not receive previous treatment.

The existence of cracks and micro-cracks were attributed the thermal expansion of the concrete and to the restraint caused by the RCC mass



General View



Form  
preparation



CVC Face placement, vibration  
and RCC interface compaction

# Construction - Dam Section

CVC Face finished



Curing RCC



CVC Face and RCC interface  
compaction



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

El Proyecto, por lo tanto debe establecer las condiciones de funcionalidad y operacionalidad 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 tapa junta (foto anterior) calificado y del hormigón 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.

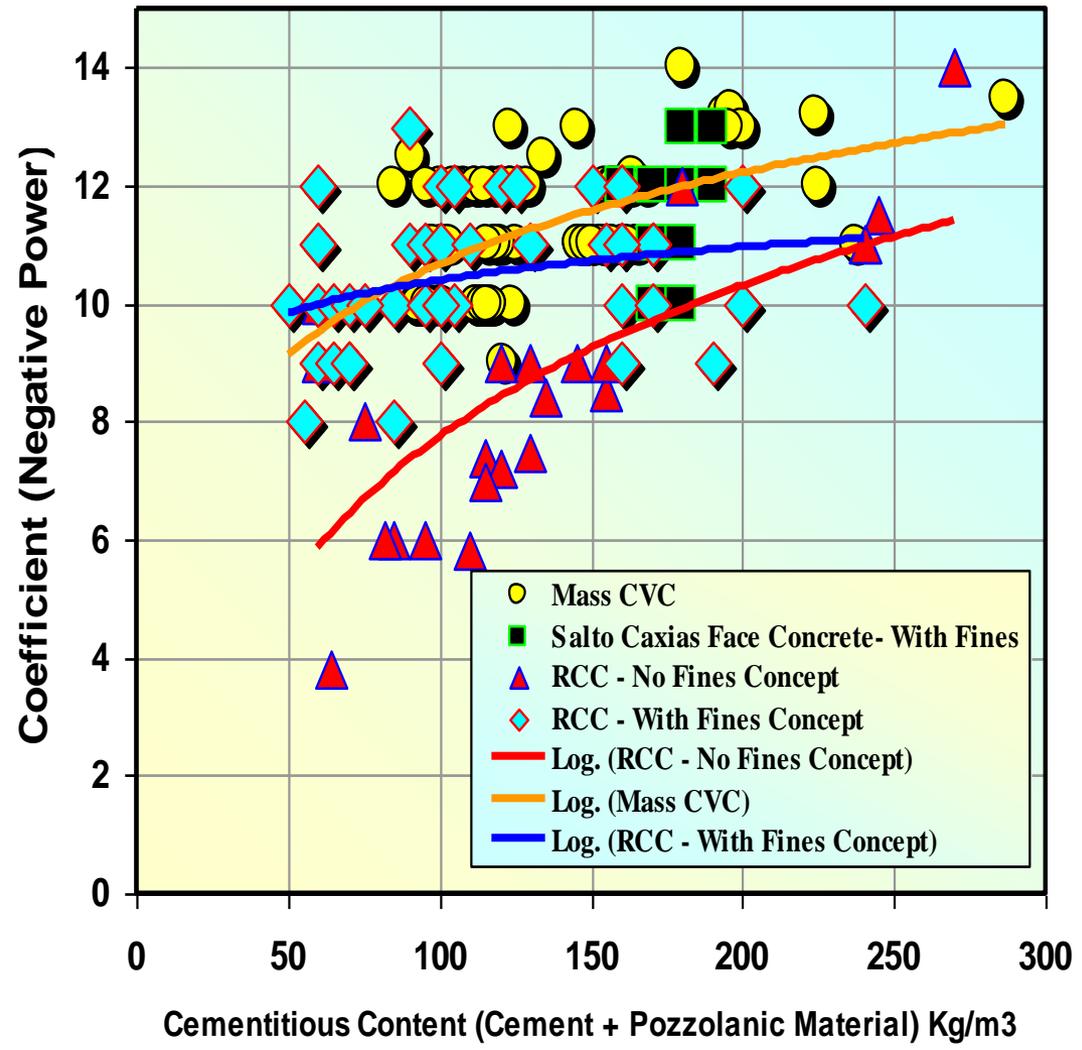
Los conceptos de seguridad, durabilidad y funcionalidad impuestos por el Proyecto deberán estar situados en el ambiente en que se va a construir. Se debe considerar el tipo y calificación de la Mano de Obra disponible, la velocidad de construcción posible de realizar, los avances factibles.

Debe dentro de lo previsible de la Ingeniería, prever las dificultades y las medidas correctivas.

Las primeras utilizaciones de HCR 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 (Coefficient) BUREAU**



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

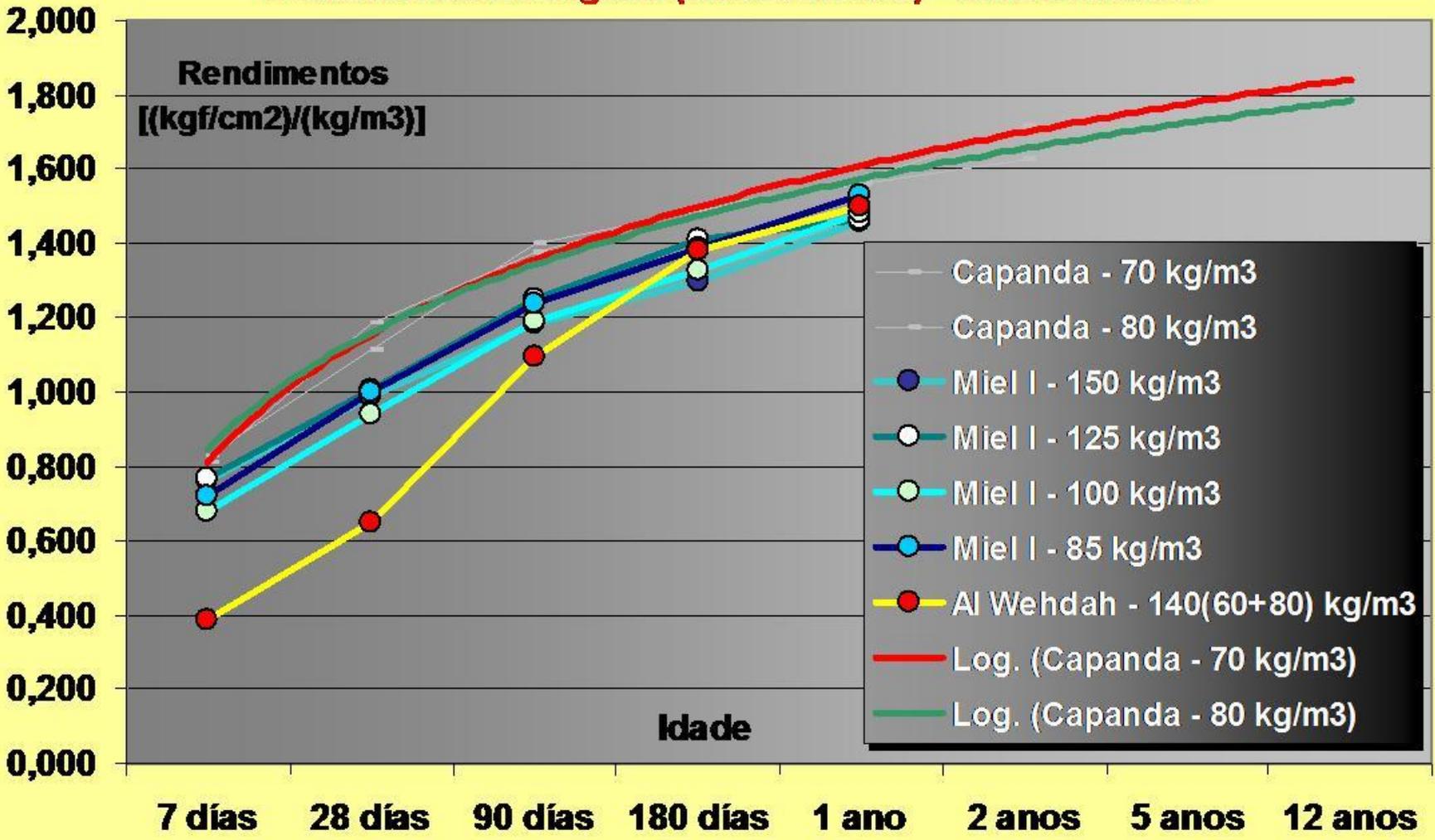
A partir de esos hechos la cantidad de finos (material mas fino que 0,075 mm) , activos o no (no cohesivos), comenzaron a ganar espacio y utilidad técnica, que pueden ser consideradas como la **Segunda Generación de Presas de CCR.**

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  $100 \text{ kg/m}^3$ .

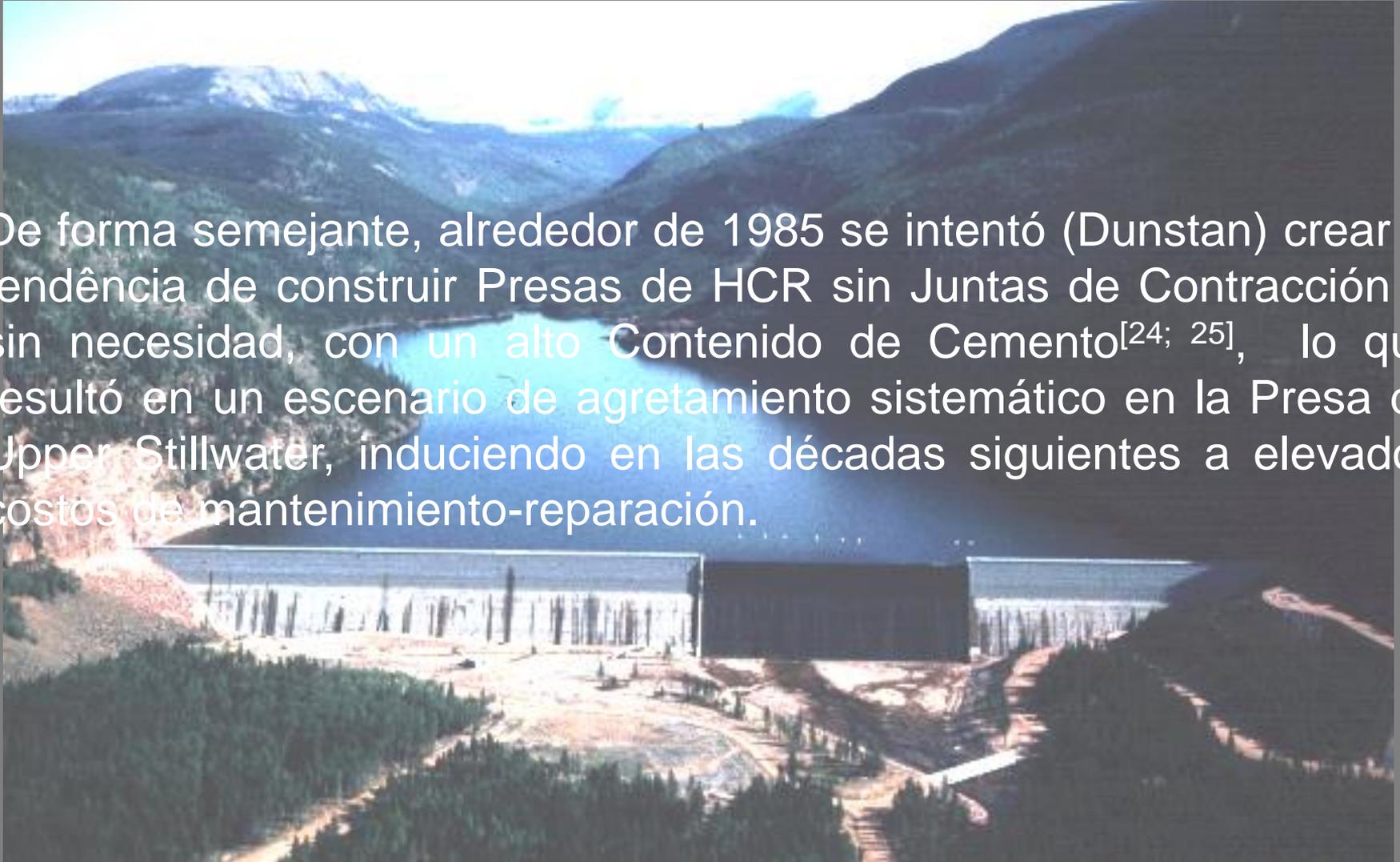
Como complemento, hay que destacar que las máquinas (Trituradores) contemporáneas para producción de agregados, son capaces de producir granos arredondados de arena artificial, y por eso mismo, producen una cantidad mayor de finos. O sea, además que los Finos son un “by product” hay una relevante utilidad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

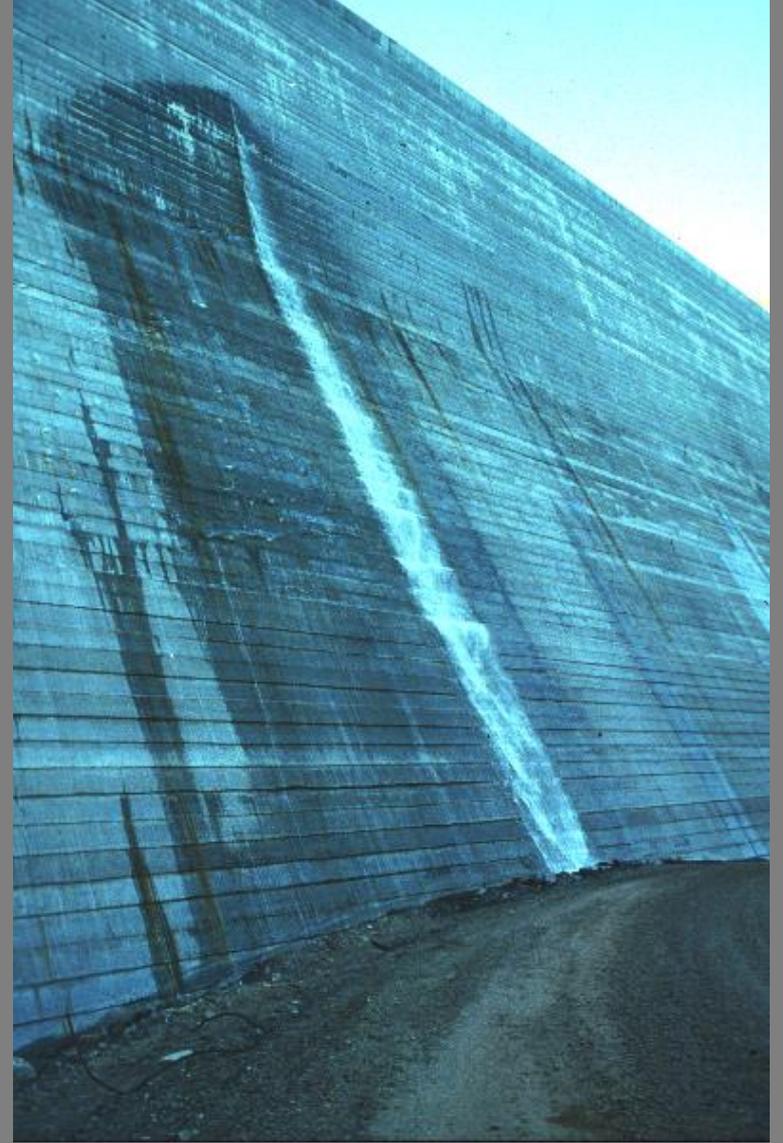
**Eficiencia de Dosagens (Rendimientos) - Obras de CCR**



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



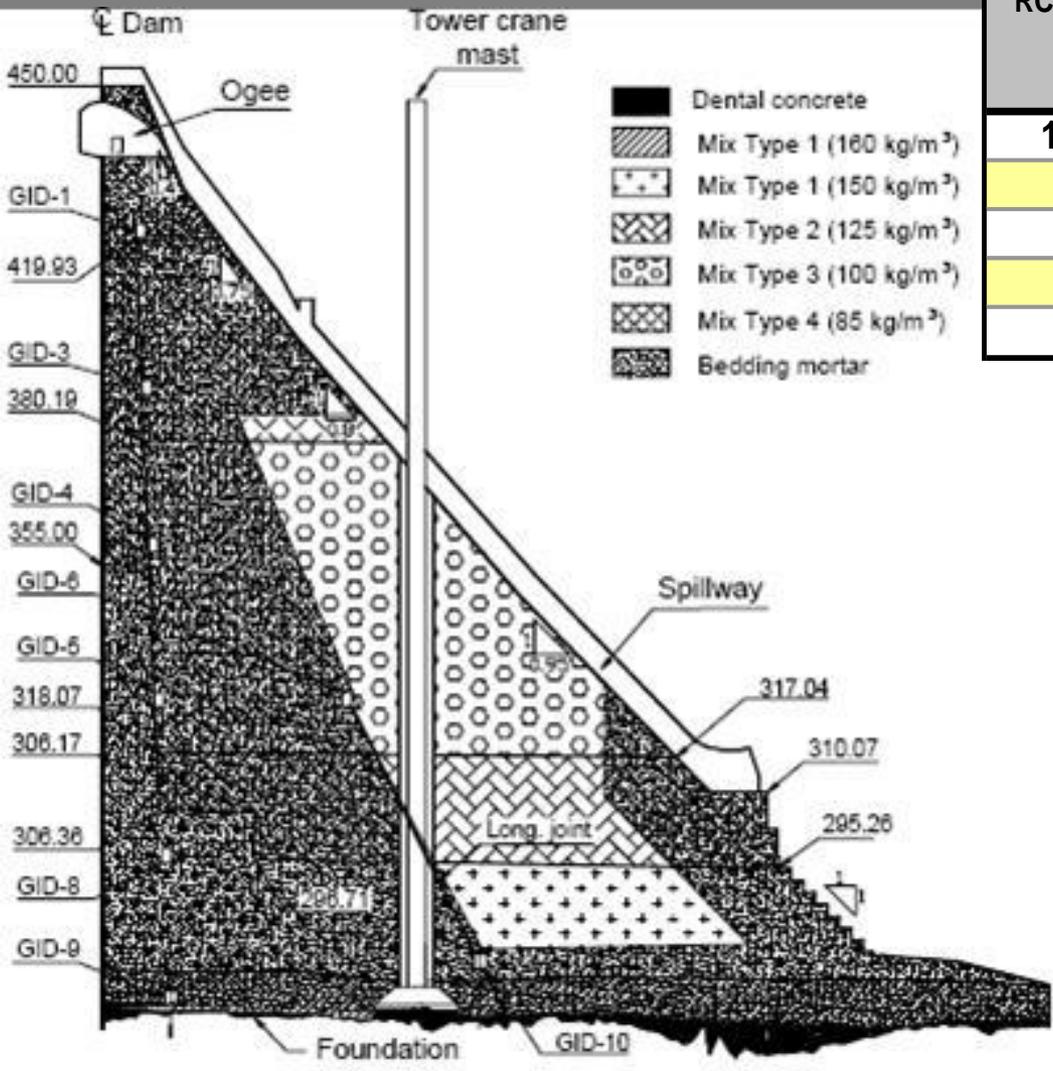
Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



A partir de eso, los Estudios Térmicos ganaron atención, como así también el Control de Temperatura de Colocación del HCR, como también 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 HCR (como siempre se hizo en Presas de HVC Masa), como se puede mostrar en el Proyecto de Miel I - Colombia<sup>[20]</sup>, indicando las siguientes Clases de HCR:

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



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%

Todos los Profesionales participantes del Proyecto Miel I consideraron que esa era una de las mas altas Presas de HCR del Mundo, y todo su volumen fue prácticamente colado con HCR 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 Vanidad Semántica?

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

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 HCR?

•Mas eso tambien es una condición para las Presas de HVC Masa!

•O sea Donde está el Problema?

•Es importante 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 HCR con la edad es bastante relevante. Eso es lo que debe ser considerado!

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

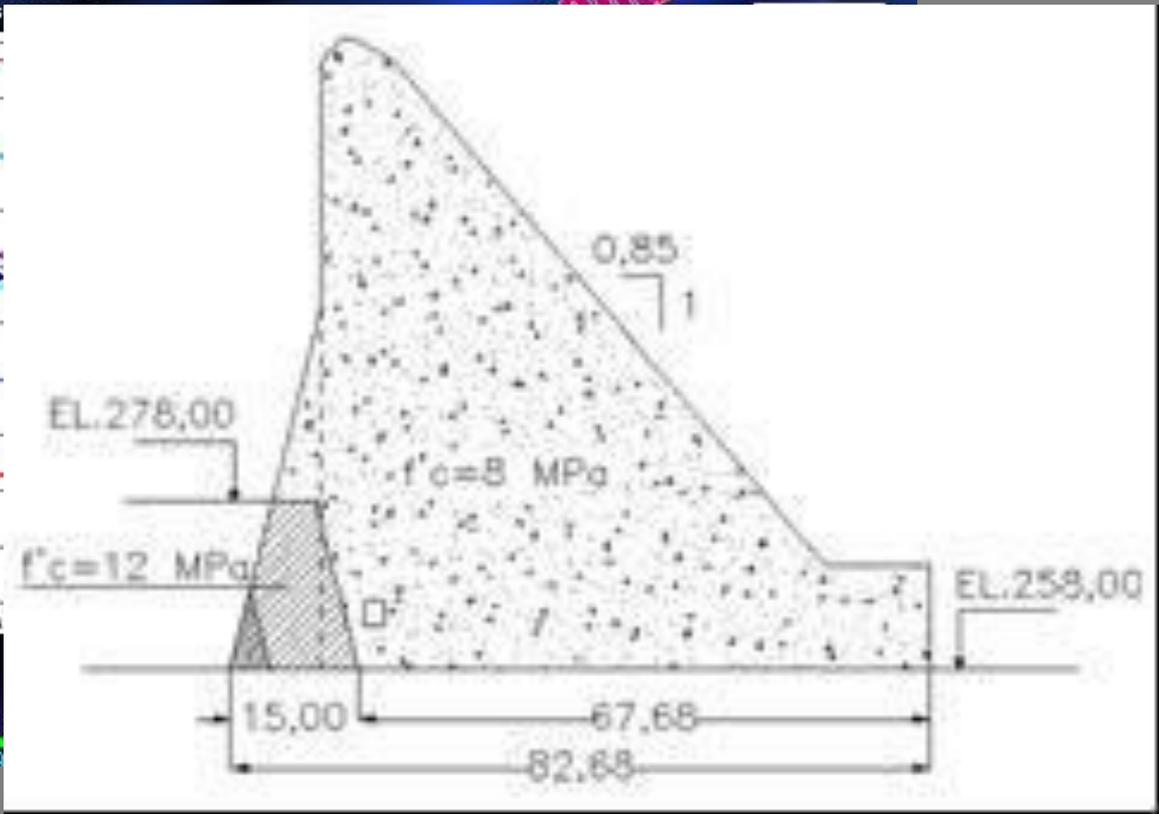
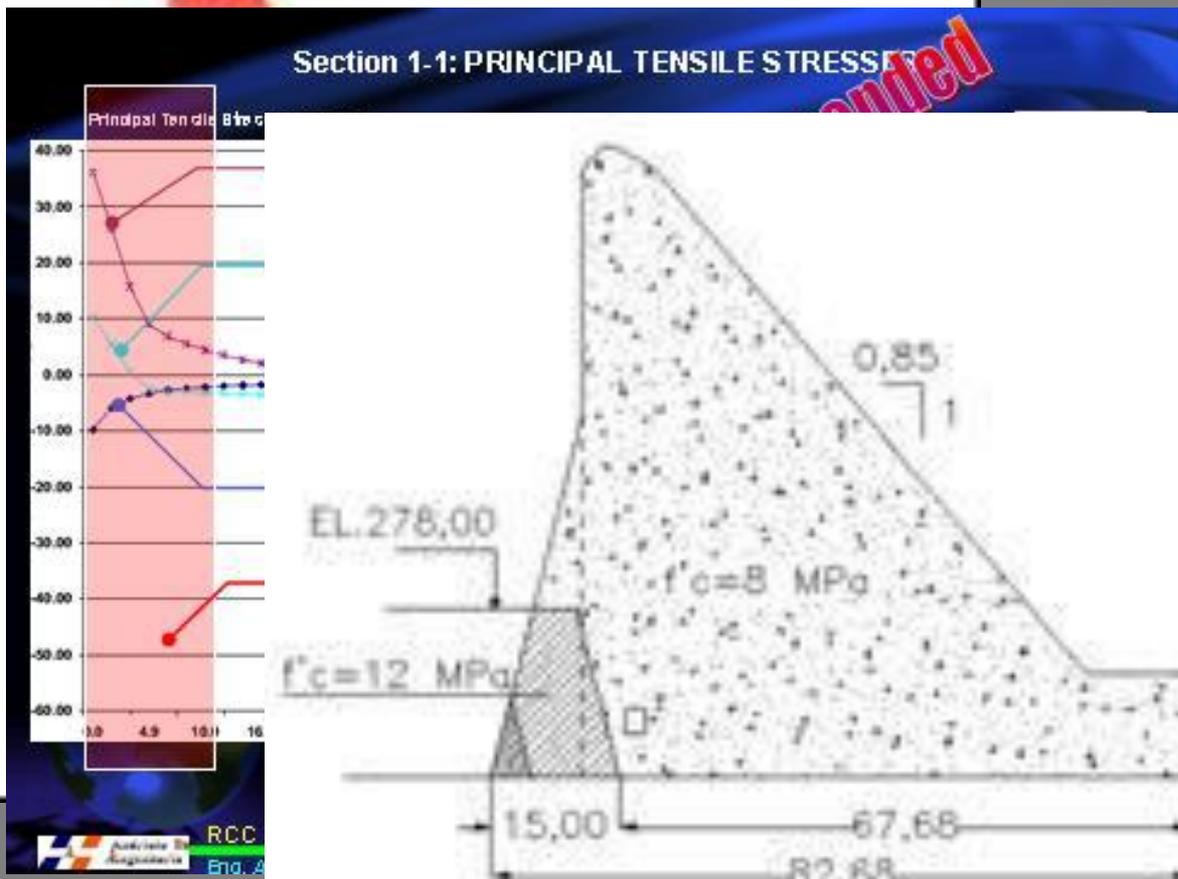
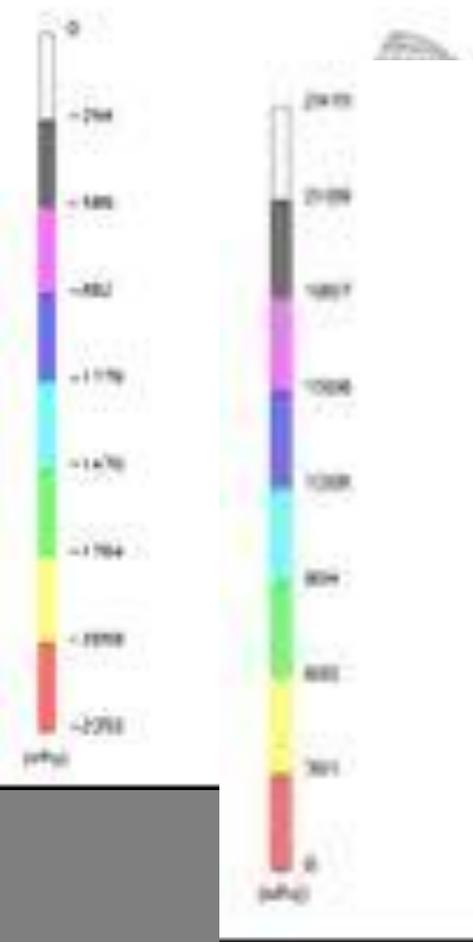
# Diagrams of Stress of an RCC Dam Project with over 100m of height in a highly seismic region



## JORNADA TÉCNICA

### UMA VISIÓN INTEGRAL DE LAS PRESAS DE HORMIGÓN COMPACTADO

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

Casi siempre se obtienen ventajas al “zonear” el cuerpo de la Presa con distintas Clases de CCR. Pero algunos Constructores 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 fácilmente ser comprendido, aun para Regiones Sísmicas y de que un simple “zoneamiento” no reduce la Velocidad de Construcción,

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

## • *Y el Aspecto Térmico?*

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

De una forma genérica, el fenómeno de “**Restricción**”, (“**Restrain**”) (fundamentalmente debido a la diferencia entre Módulos de Elasticidad entre capas sucesivas entre Roca de Fundación y la capa de hormigón), como así también las propiedades del hormigón y de los materiales deben ser conocidas y entendidas.

Conociendo como ellas son afectadas y como ellas son influenciadas!

El Fenômeno 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 HCR es bastante importante.

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

## Relación Básica

$$\varepsilon = Cte * \Delta T * (K_f) * (K_r)$$

$\varepsilon$  = Strain induced in RCC

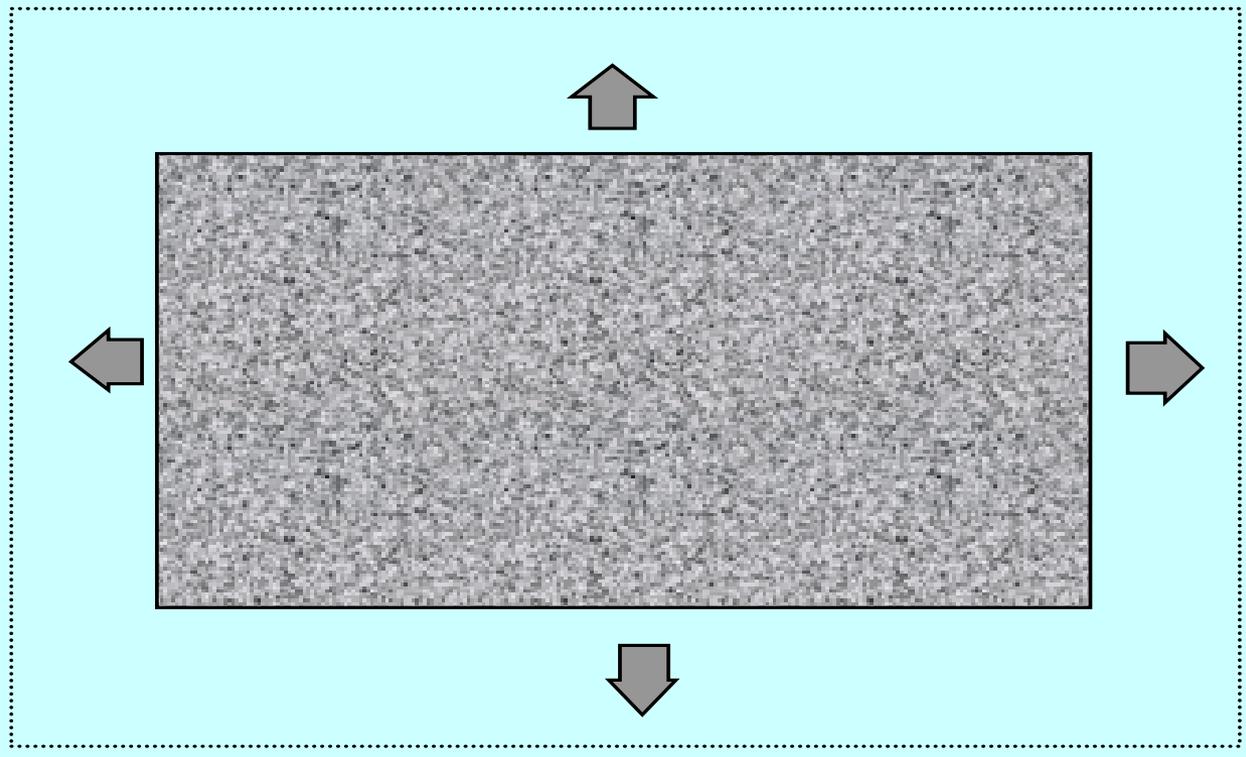
Cte = Coefficient of thermal expansion

$\Delta T$  = Temperature change of RCC

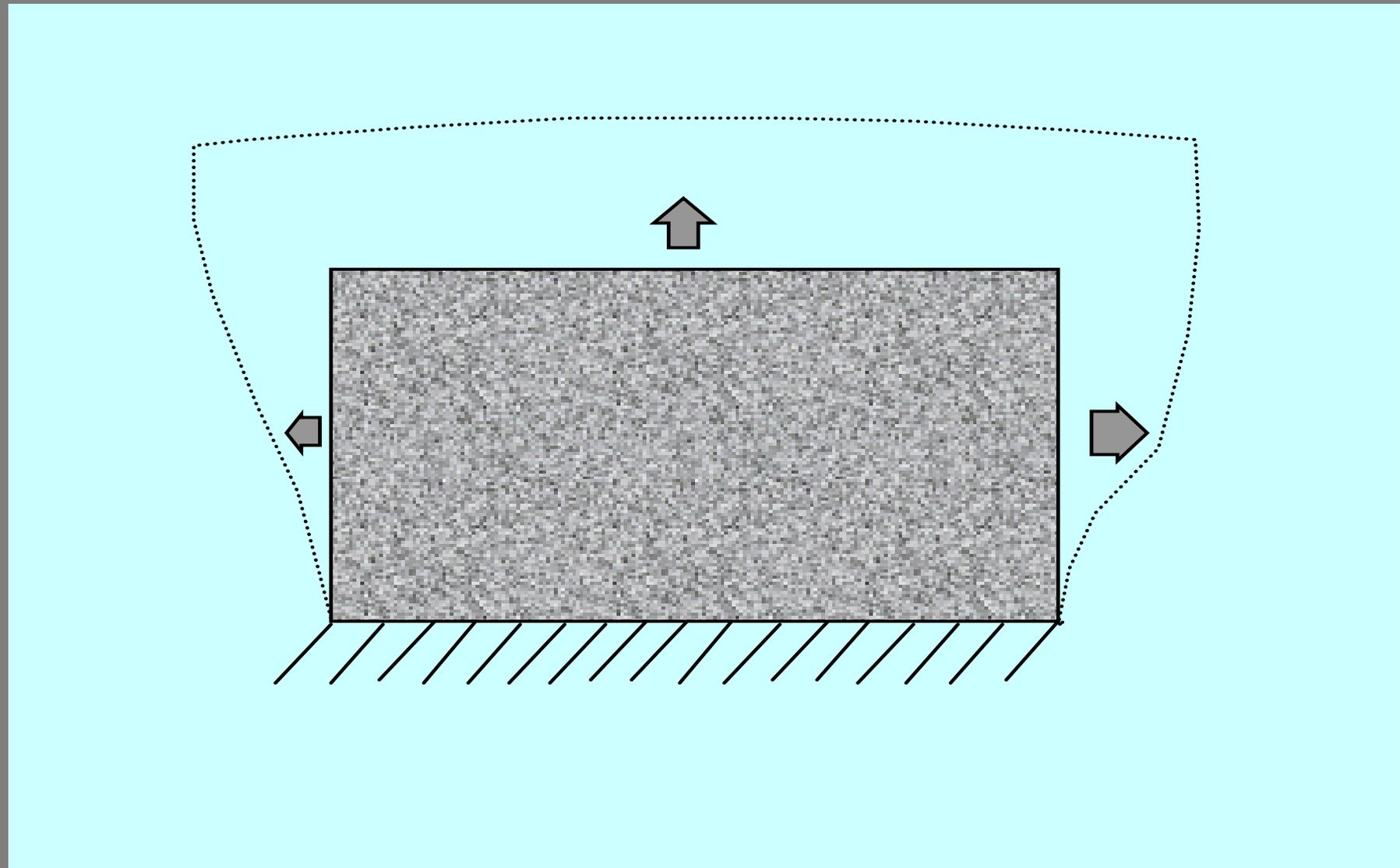
$(K_f)$  = Foundation restraint factor

$(K_r)$  = Structure restraint factor

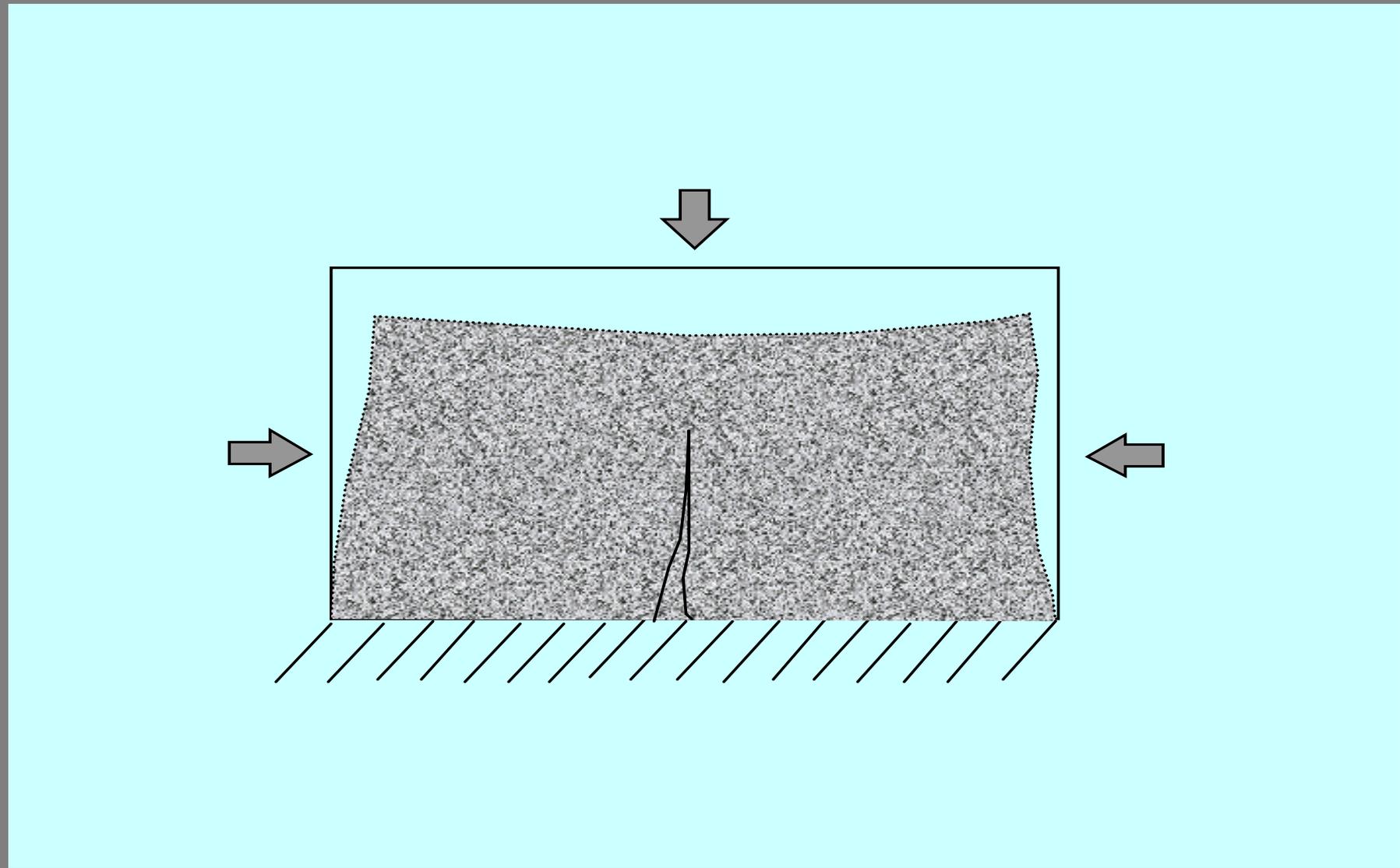
Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



If

$[\Theta_A + \Delta\Theta_R] - \Theta_M > 0$  - No cracks - concrete can support the total temperature drop

$[\Theta_A + \Delta\Theta_R] - \Theta_M < 0$  - Thermal cracks - concrete can not support the total temperature drop

**Where**

$\Theta_A$  = Average ambient temperature considered for the thermal equilibrium (Concrete structure and Ambient)

$\Delta\Theta_R$  = Equivalent in temperature drop gradient that the concrete can support without crack;

$\Theta_M$  = Maximum temperature reached in the concrete structure, due to the conditions adopted

$$\Delta\Theta_R = \varepsilon_f / \alpha$$

**Where**

$\Delta\Theta_R$  = Equivalent in temperature drop gradient that the concrete can support without crack;

$\varepsilon_f$  = Strain capacity at final load ( tensile strain due to temperature drop) under slow load

$\alpha$  = Coefficient of thermal expansion

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

$$\varepsilon_f = \{[\sigma_{tf}/ E_{cf}] + [(\sigma_{ti} + \sigma_{tf}) * f_c / 2]\}$$

**Where**

$\sigma_{tf}/ E_{cf}$  = Strain Capacity at final load under rapid load test

$\varepsilon_f$  = Strain Capacity at final age under slow load test;

$\sigma_{tf}$  = Modulus of Rupture at final age;

$E_{cf}$  = Modulus of Elasticity at final age under compressive load test;

$\sigma_{ti}$  = Modulus of Rupture at age that start the load;

$f_c$  = Creep coefficient for the period between the initial and final loads

13-136  
26/09/07

**Andriolo Ito**  
Engenharia

Andriolo Ito Engenharia Ltda  
Av. Dr. Paulo Pinheiro Werner, 850- Parque Santa Mônica  
13.561- 235- São Carlos- SP- Brasil  
Fone: ++55-16- 3307 6078 Fax: ++55-16- 3307 5385  
e-mail: [andriolo@andriolo.com.br](mailto:andriolo@andriolo.com.br) site: [www.andriolo.com.br](http://www.andriolo.com.br)



17/01/2007



17/01/2007

Figura 5-I-01- Preparativo para a concretagem de um dos Blocos, através do bombeamento

Figura 5-I-02- Vista geral antes do início da concretagem.



02/02/2007



02/02/2007

Figura 5-I-03- Posicionamento do caminhão betoneira para a descarga do concreto na bomba

Figura 5-I-04- Descarga do concreto do caminhão na bomba



17/01/2007



17/01/2007

Figura 5-I-05- Bombeamento do concreto

Figura 5-I-06- Lançamento no molde do Bloco de Medição de temperaturas

# Ensayo de Simulación de Servicio

**7- MEDIÇÕES DE TEMPERATURAS NOS BLOCOS MOLDADOS**

**7.1- Registros**

As medições das Temperaturas lidas no histórico térmico dos Blocos moldados, bem como da Temperatura Ambiente no instante das referidas leituras de temperatura do concreto, foram registradas em planilhas que se mostram no ANEXO II. A partir dos registros foram elaborados gráficos dos históricos térmicos como se mostram nas Figuras 7-I e 7-II, a seguir.

**7-2- Etapa I**

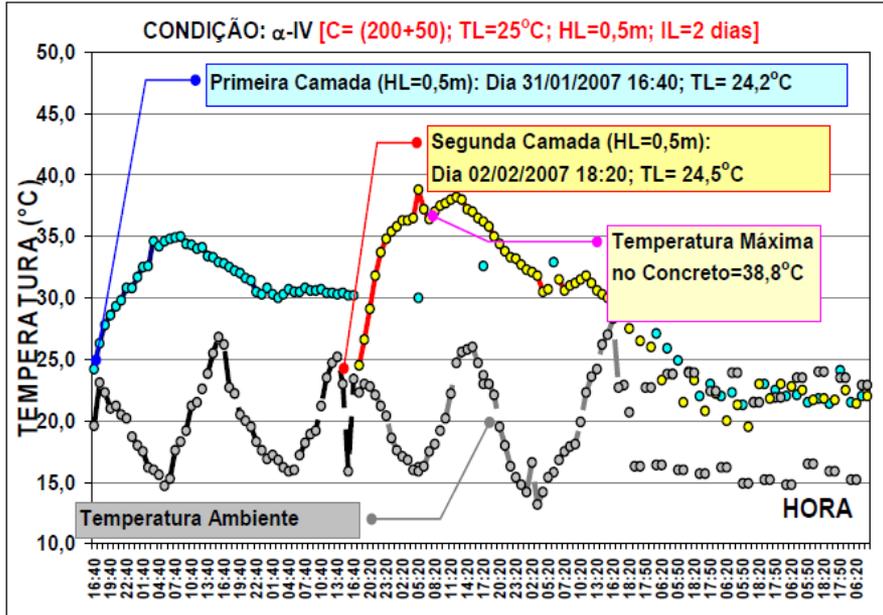


Figura 7-I- 01- Condição  $\alpha$ -IV, com 200kg/m<sup>3</sup> de Cimento e 50kg/m<sup>3</sup> de Pozolana, Lançado a 25° C, em Camadas de Altura de 0,5m, em Intervalos de 2 dias. Temperatura Máxima atingida igual a 38,8° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 40,4° C.

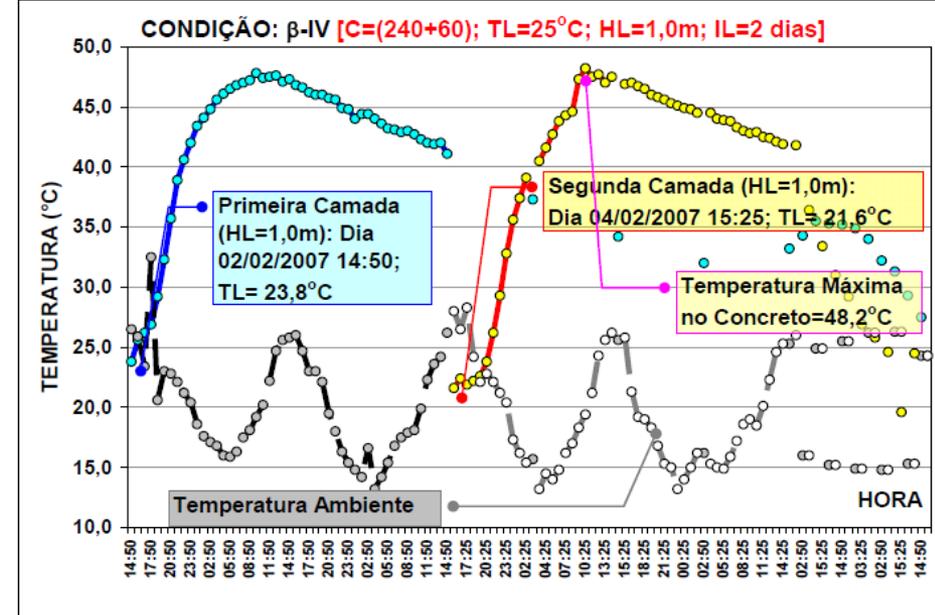


Figura 7-I- 02- Condição  $\beta$ -IV, com 240kg/m<sup>3</sup> de Cimento e 60kg/m<sup>3</sup> de Pozolana, Lançado a 25° C, em Camadas de Altura de 0,5m, em Intervalos de 2 dias. Temperatura Máxima atingida igual a 48,2° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 46,6° C.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

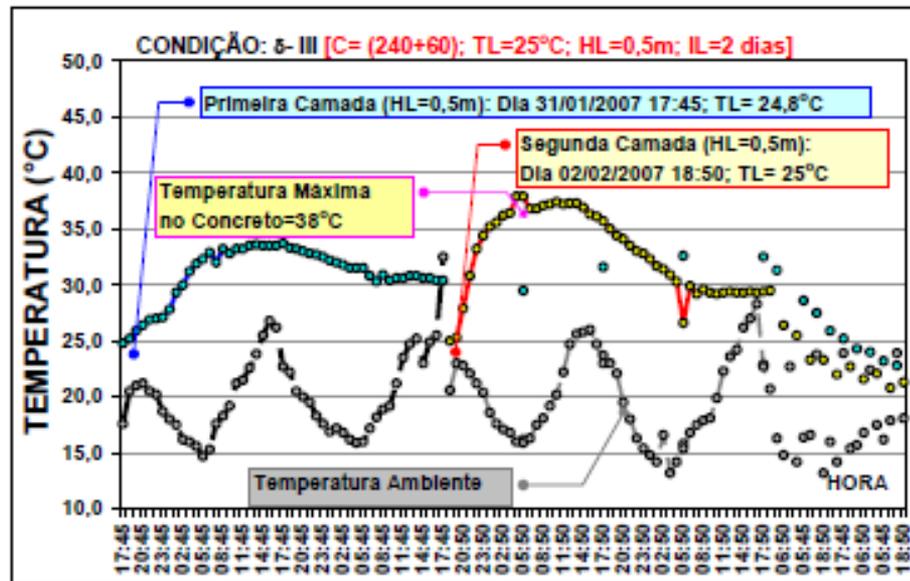
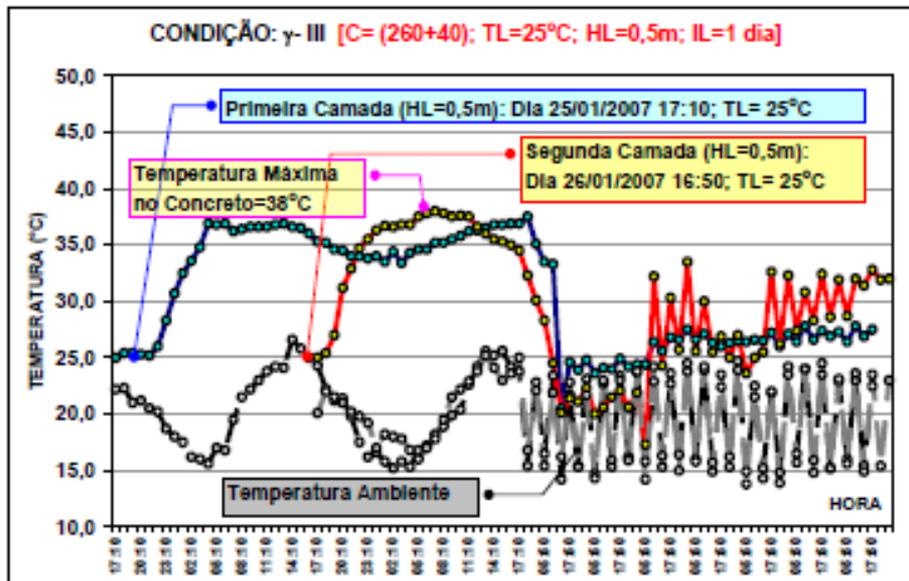


Figura 7-I- 03- Condição  $\gamma$ -III, com 260kg/m<sup>3</sup> de Cimento e 40kg/m<sup>3</sup> de Pozolana (ver nota 1 na Tabela do Item 5.1), Lançado a 25° C, em Camadas de Altura de 0,5m, em Intervalos de 1 dia. Temperatura Máxima atingida igual a 38° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 40,4° C.

Figura 7-I- 04- Condição  $\delta$ -III, com 240kg/m<sup>3</sup> de Cimento e 60kg/m<sup>3</sup> de Pozolana, Lançado a 25° C, em Camadas de Altura de 0,5m, em Intervalos de 2 dias. Temperatura Máxima atingida igual a 38° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 36,3° C.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

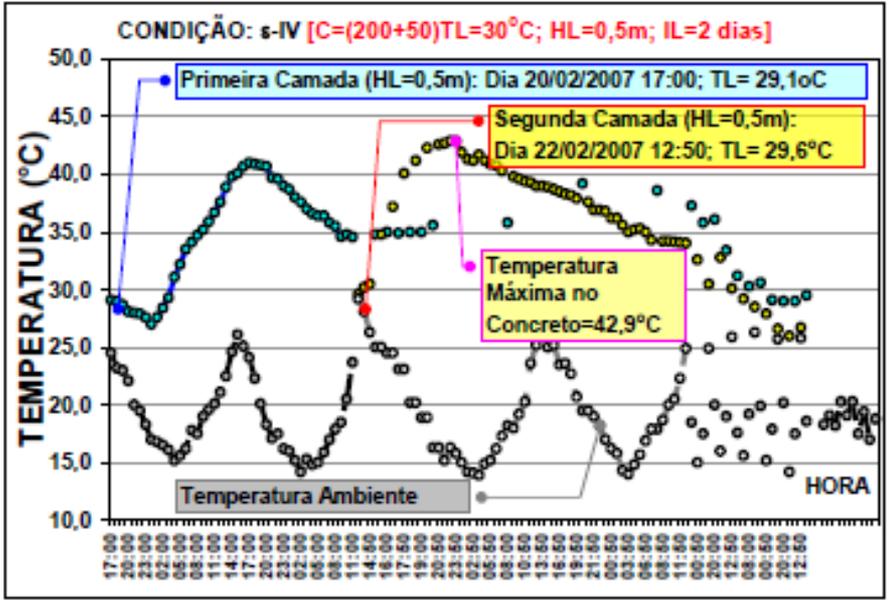


Figura 7-I- 05- Condição  $\epsilon$ -IV, com 200kg/m<sup>3</sup> de Cimento e 50kg/m<sup>3</sup> de Pozolana (ver nota 2 na Tabela do Item 5.1), Lançado a 30° C, em Camadas de Altura de 0,5m, em Intervalos de 2 dias. Temperatura Máxima atingida igual a 42,9° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 42,4° C.

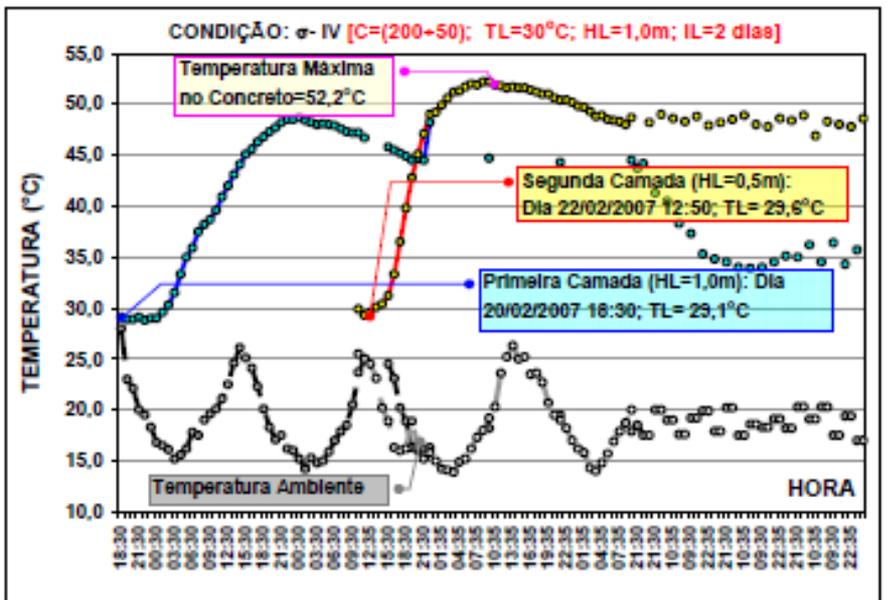


Figura 7-I- 06- Condição  $\sigma$ -IV, com 200kg/m<sup>3</sup> de Cimento e 50kg/m<sup>3</sup> de Pozolana (ver nota 2 na Tabela do Item 5.1), Lançado a 30° C, em Camadas de Altura de 1,0m, em Intervalos de 2 dias. Temperatura Máxima atingida igual a 52,2° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 49,7° C.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

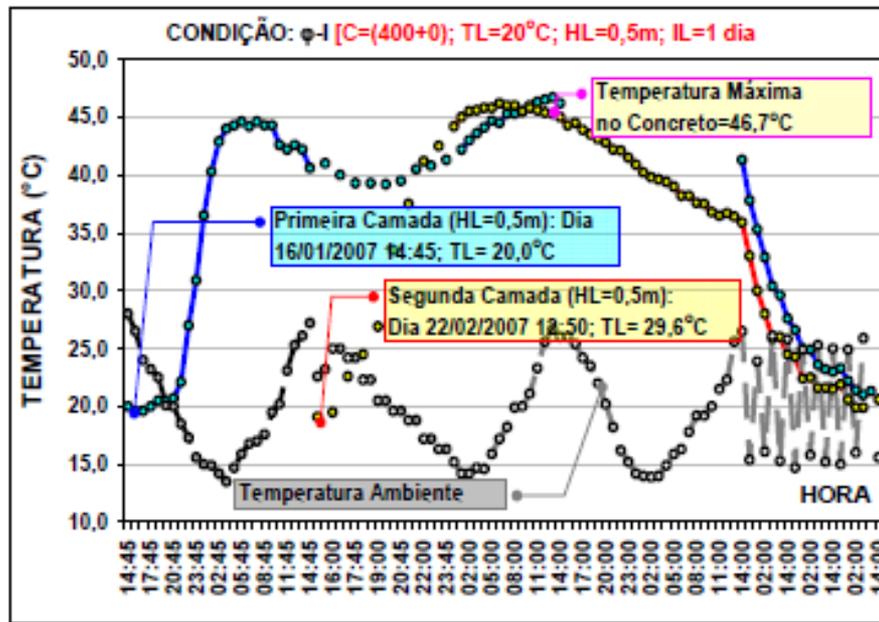


Figura 7-I- 07- Condição  $\phi$ -I, com 400kg/m<sup>3</sup> de Cimento e (zero)0kg/m<sup>3</sup> de Pozolana, Lançado a 20° C, em Camadas de Altura de 0,5m, em Intervalos de 1 dia. Temperatura Máxima atingida igual a 46,7° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 58,5° C.

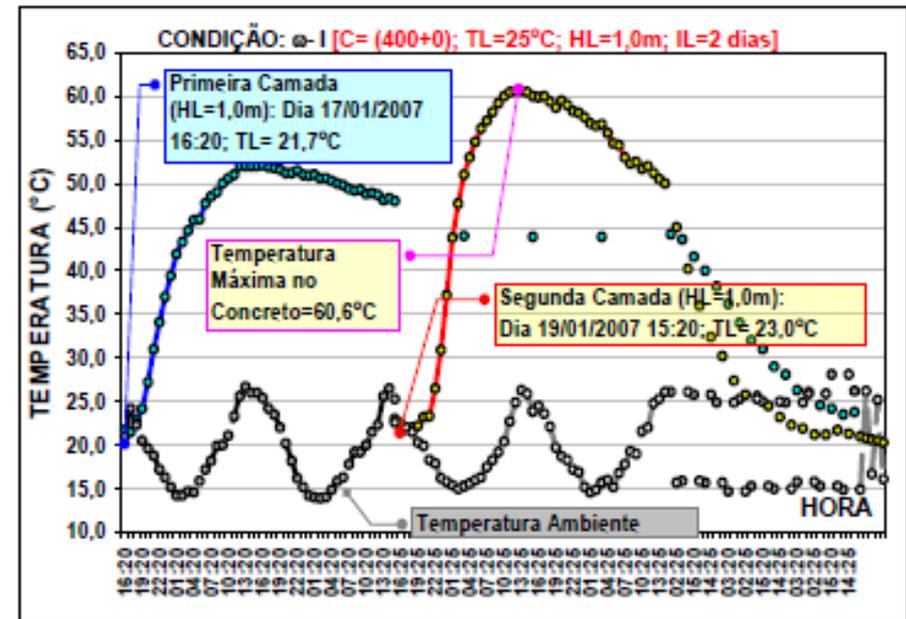


Figura 7-I- 08- Condição  $\omega$ -I, com 400kg/m<sup>3</sup> de Cimento e (zero)0kg/m<sup>3</sup> de Pozolana, Lançado a 25° C, em Camadas de Altura de 1,0m, em Intervalos de 2 dias. Temperatura Máxima atingida igual a 60,6° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 56,9° C.

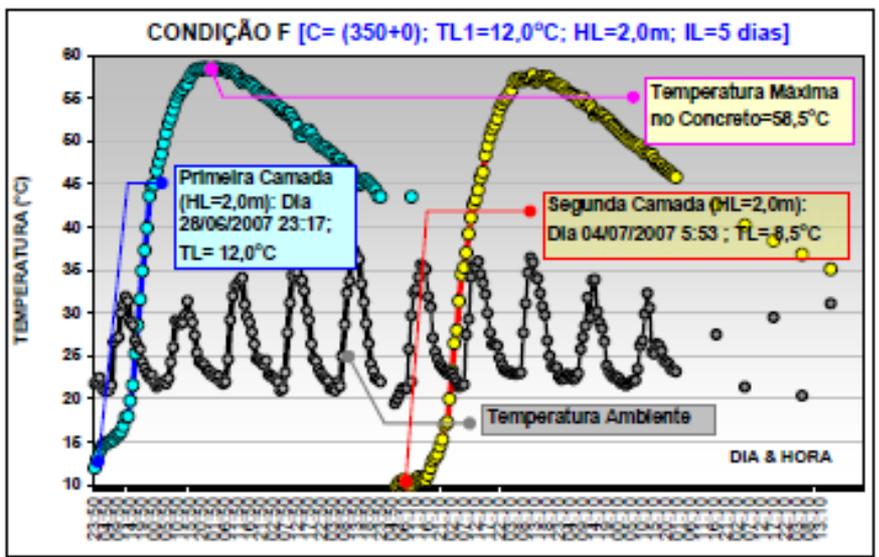
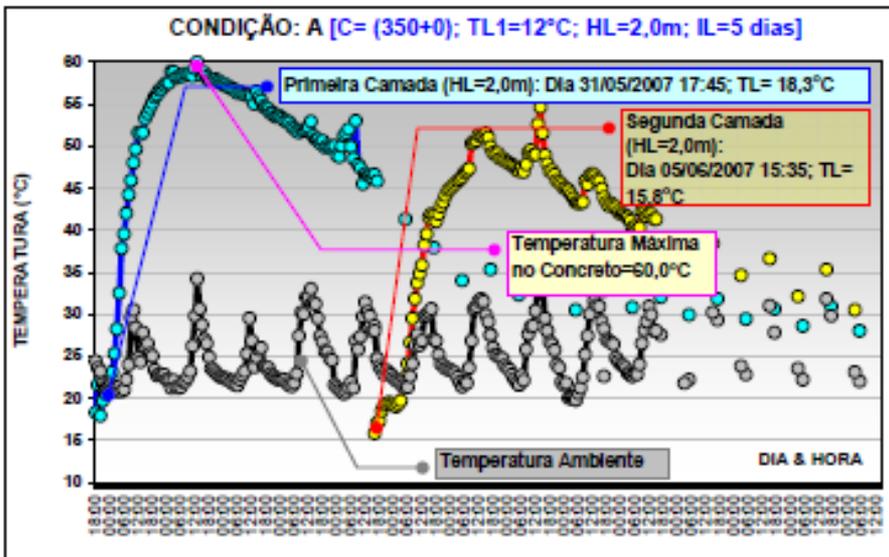


Figura 7-II- 01- Condição A, com 350kg/m<sup>3</sup> de Cimento e (zero)0kg/m<sup>3</sup> de Pozolana, Lançado a 12° C, em Camadas de Altura de 2,0m, em Intervalos de 5 dias. Temperatura Máxima atingida igual a 60,6° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 48° C.

Figura 7-II- 02- Condição F, com 350kg/m<sup>3</sup> de Cimento e (zero)0kg/m<sup>3</sup> de Pozolana, Lançado a 12° C, em Camadas de Altura de 2,0m, em Intervalos de 5 dias. Temperatura Máxima atingida igual a 58,5° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 48° C.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

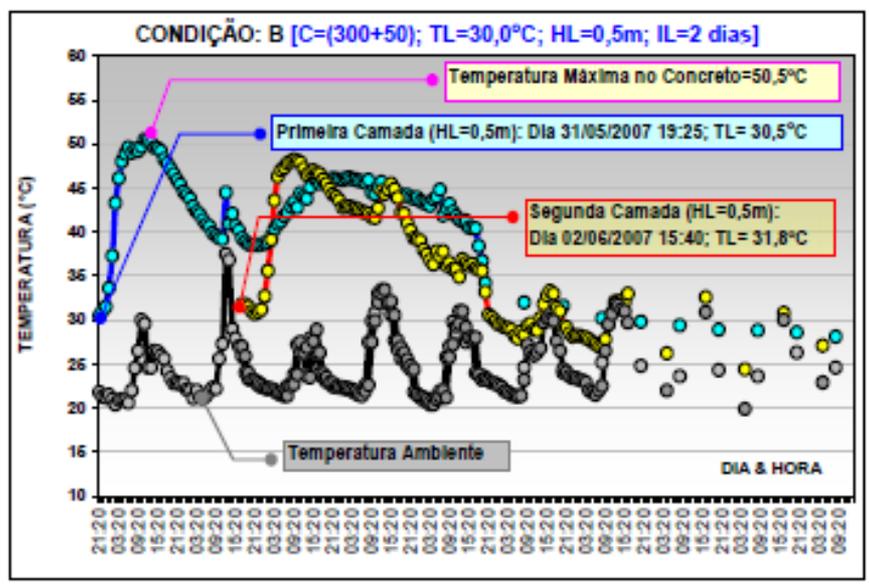


Figura 7-II- 03- Condição B, com 300kg/m<sup>3</sup> de Cimento e 50kg/m<sup>3</sup> de Pozolana, Lançado a 30° C, em Camadas de Altura de 0,5m, em Intervalos de 2 dias. Temperatura Máxima atingida igual a 50,5° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 49° C.

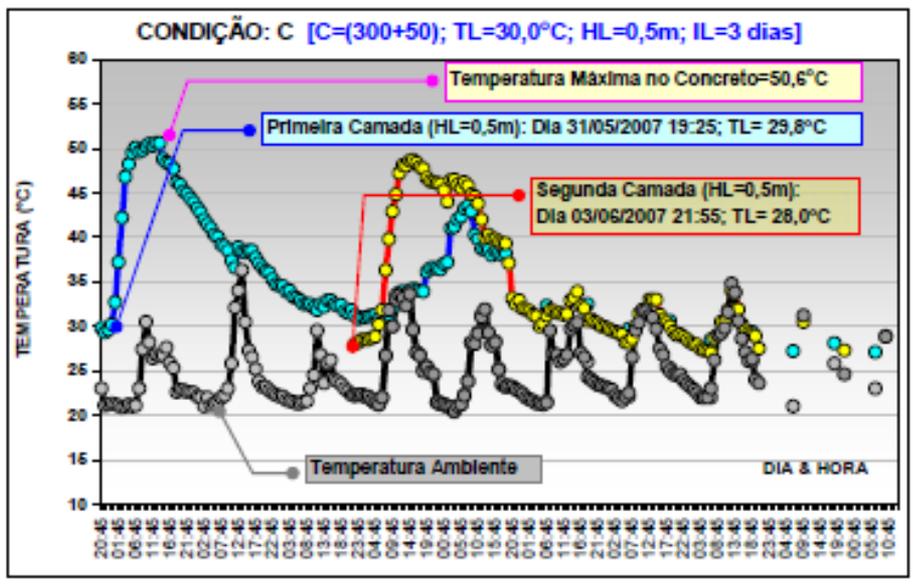


Figura 7-II- 04- Condição C, com 300kg/m<sup>3</sup> de Cimento e 50kg/m<sup>3</sup> de Pozolana, Lançado a 30° C, em Camadas de Altura de 0,5m, em Intervalos de 3 dias. Temperatura Máxima atingida igual a 50,6° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 48° C.

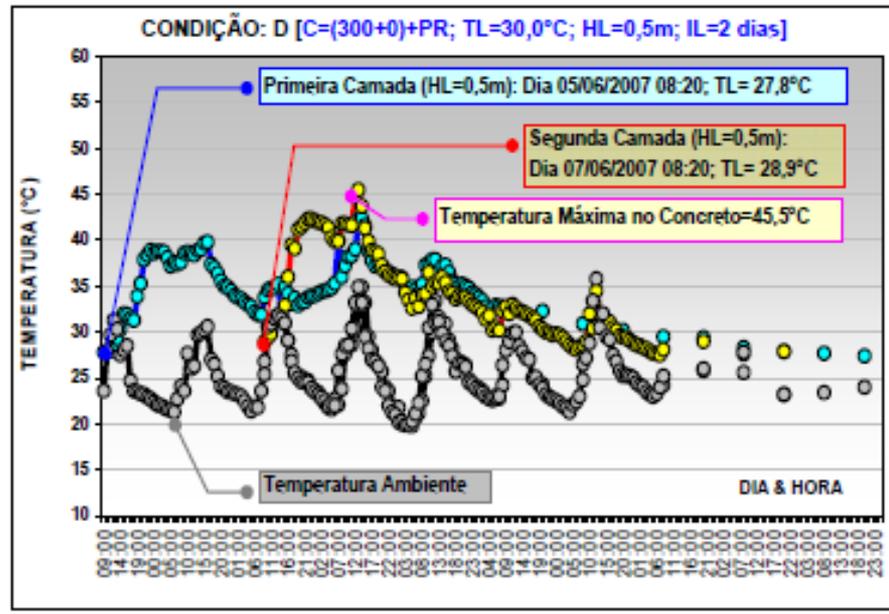


Figura 7-II- 05- Condição D, com 300kg/m<sup>3</sup> de Cimento e Pó de Pedra, Lançado a 30° C, em Camadas de Altura de 0,5m, em Intervalos de 2 dias. Temperatura Máxima atingida igual a 45,5° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 45,7° C.

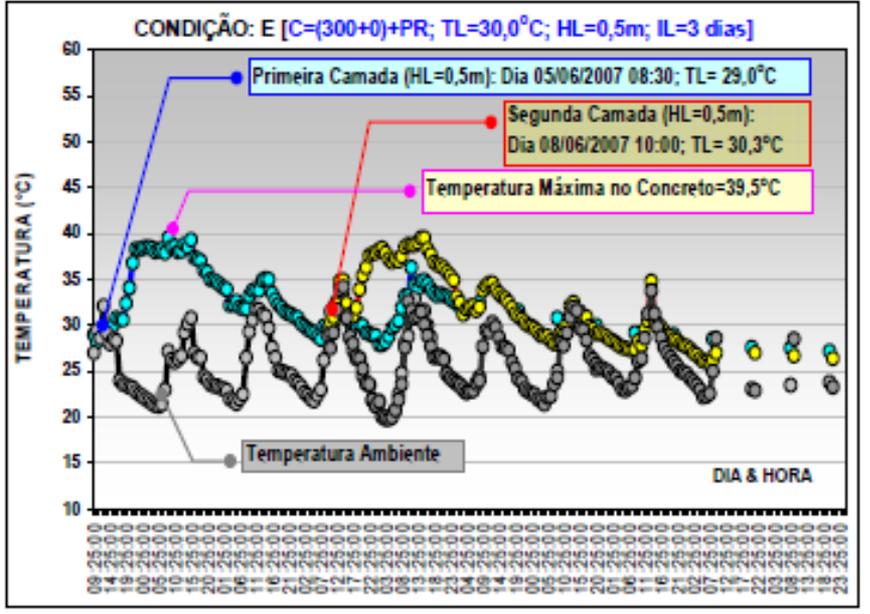


Figura 7-II- 06- Condição E, com 300kg/m<sup>3</sup> de Cimento e e Pó de Pedra, Lançado a 30° C, em Camadas de Altura de 0,5m, em Intervalos de 3 dias. Temperatura Máxima atingida igual a 39,5° C. Para essa condição a Temperatura Máxima Prevista pelos Estudos foi de 41,5° C.

Comentarios sobre

ión de Presas

Etapas	Bloco-Condición	Camada e Altura (m)	Data	Cemento	Cinza	Aglomerante	Temperatura de Prevista para a Colocação (°C)	Temperatura Medida na Colocação (°C)	Temperatura Máxima Prevista no Estudo Térmico (°C)	Temperatura Máxima Medida nos Blocos (°C)	Variação da Temperatura Ambiente Durante o Período das Medições (Máximo Dia-Mínimo Noite) (°C)
<b>I - Janeiro a Fevereiro</b>	α IV-1	1a. de 0,5m	31/jan/07	200	50	250	25	25,0	40,4	35,0	<b>32,5 a 13,2</b>
	α IV-2	2a. de 0,5m	02/fev/07	200	50	250		24,5			
	β III-1	1a. de 1,0m	02/fev/07	240	60	300	25	23,8	46,6	47,8	
	β III-2	2a. de 1,0m	04/fev/07	240	60	300		21,6			
	γ III-1	1a. de 0,5m	25/jan/07	260	40	300	25	25,0	40,4	36,9	
	γ III-2	2a. de 0,5m	26/jan/07	240	60	300		25,0			
	δ III-1	1a. de 0,5m	31/jan/07	240	60	300	25	24,8	36,3	33,7	
	δ III-2	2a. de 0,5m	02/fev/07	240	60	300		25,0			
	ε IV-1	1a. de 0,5m	20/fev/07	200	50	250	30	29,1	42,4	41,0	
	ε IV-2	2a. de 0,5m	22/fev/07	240	60	300		29,6			
	σ IV-1	1a. de 1,0m	20/fev/07	200	50	250	30	29,1	49,7	48,7	
	σ IV-2	2a. de 1,0m	22/fev/07	240	60	300		29,9			
	φ I-1	1a. de 0,5m	16/jan/07	400	0	400	20	20,0	58,5	44,6	
	φ I-2	2a. de 0,5m	17/jan/07	400	0	400		19,0			
ω I-1	1a. de 1,0m	17/jan/07	400	0	400	20	21,7	56,9	52,1		
ω I-2	2a. de 1,0m	19/jan/07	400	0	400		23,0			60,6	
<b>II - Maio a Julho</b>	A- c1	1a. de 2,0m	31/mai/07	350	0	350	12,0	18,3	48,0	60,6	<b>37,5 a 19,5</b>
	A- c2	2a. de 2,0m	05/jun/07	350	0	350		15,8			
	B- c1	1a. de 0,5m	31/mai/07	300	50	350	30,0	30,5	49,0	50,5	
	B- c2	2a. de 0,5m	02/jun/07	300	50	350		31,8			
	C- c1	1a. de 0,5m	31/mai/07	300	50	350	30,0	29,8	48,0	50,6	
	C- c2	2a. de 0,5m	03/jun/07	300	50	350		28,0			
	D- c1	1a. de 0,5m	05/jun/07	300	0	300	30,0	27,8	45,7	42,4	
	D- c2	2a. de 0,5m	07/jun/07	300	0	300		28,9			
	E- c1	1a. de 0,5m	05/jun/07	300	0	300	30,0	29,0	41,5	39,5	
	E- c2	2a. de 0,5m	08/jun/07	300	0	300		30,3			
	F- c1	1a. de 2,0m	28/jun/07	350	0	350	12,0	12,0	48,0	58,5	
	F- c2	2a. de 2,0m	04/jul/07	350	0	350		8,5			

- Comel
- ✚ As condições de usar Camadas de Altura entre 0,5m e 1,0m, mesmo quando os Intervalos de Colocação são ao redor de 2 a 3 dias, e com Temperaturas de Colocação entre 25° C e 30° C se mostram mais favoráveis ao concreto, atingindo Temperaturas Máximas, menores que ao se considerar Camadas de Altura de 2,0m, Intervalos não menores que 5 dias e Temperatura de Colocação ao redor de 12° C;
  - ✚ Ao observar os Intervalos de Variação das Temperaturas Ambientais e as Curvas dos Históricos de Temperatura pode-se comentar:
    - Os concretos aplicados a intervalos de lançamentos entre 1 e 3 dias, mostram gradientes de abaixamento de temperatura inferiores a 10° C, sendo que;
    - Os concretos aplicados a intervalos de lançamentos não menores que 5 dias, mostram gradientes de abaixamento de temperatura maiores a 15° C (ver gráfico da Figura 7-II-02);
    - Isso induz fissuras superficiais no concreto, a partir do 2° ou 3° dia após a concretagem, e que podem prosseguir para a o interior da massa do concreto.
  - ✚ Comparando os Casos “F”, com “B” e “C”, evidencia-se que a redução da Altura da Camada para valores de 0,5m, mesmo com temperaturas de Lançamento entre 25° C e 30° C, é mais eficiente (mais favorável a termogénia do concreto) do que manter uma Altura de Camada de 2,0m, mesmo com a redução da Temperatura de Lançamento para 12° C. Esse conceito aqui evidenciado, é o que faz o sucesso das construções de Concreto Compactado com Rolo, por utilizar camadas de pequena altura (0,3m) lançadas sucessivamente (de uma a 3 camadas por dia), sem haver necessidade de precauções térmicas;
  - ✚ Ao se reduzir a Altura das Camadas, simultaneamente com a minimização dos Intervalos entre Camadas, praticamente não se estabelece conflitos cronológicos-programáticos como se comenta mais à frente.

resas

36-136  
26/09/07



**Andriolo Ito Engenharia Ltda**  
Av. Dr. Paulo Pinheiro Werneck 850- Parque Santa Mônica  
13.561- 235- São Carlos- SP- Brasil  
Fone: ++55-16- 3307 6078 Fax: ++55-16- 3307 5385  
e-mail: [fandriolo@aitglobal.net](mailto:fandriolo@aitglobal.net) site: [www.andriolo.com.br](http://www.andriolo.com.br)

## 12- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comprovação dos Estudos Térmicos através de de medições de temperatura em blocos e concreto, moldados na Obra, permite estabelecer condições metodológicas que:

- ✚ Viabilizam o lançamento dos concretos, mesmo à temperatura de até 30° C, com menor potencial de Fissuração, bastando para isso reduzir a Altura de Camadas e trabalhar a Intervalos entre Camadas de 2 a 3 dias;
- ✚ Viabilizam o emprego de Material Pozolânico, e o traslado da idade de Controle do concreto das Estruturas massivas, para 90 dias
- ✚ Viabilizam reduções de Prazo.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

Entonces, es necesario y conveniente entender :

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

Asi como el tercer item (arriba) tiene la misma importancia para las estructuras masivas de HVC como las de HCR, los dos primeros itens tienen una repercusión mayor para el HCR que para el HVC masa.

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

En la misma situación, al construirse solamente una camada de HCR por dia, en esa región, el área de exposición es grande en la parte superior de la camada de HCR y la pequeña altura de la camada de HCR facilita el intercambio de calor (disipación) con el ambiente, y, en pocas horas la temperatura media de la camada de HCR se asemeja a la temperatura del ambiente.

Y, si esa camada de HCR 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 HCR 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.

## **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.

## 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 HCR ?
- Hay necesidad de establecer condicionantes para La utilización de una Metodología y no para el Producto, por el hecho de ser HCR ?

- 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 HCR?

El HCR 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?

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

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 HCR posibilitan ser desarrolladas rápidamente, con velocidades cuyas propiedades elásticas y mecánicas deben ser conocidas y dominadas.

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

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

## **MATERIALES**

### **CEMENTO**

#### **Ejemplo de Requisito Inconveniente**

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

*“... El Constructor debe emplear como aglomerante para el HCR, 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..... $SiO_2 \geq 20\%$ ;  $C_3A \leq 8\%$ ...; Residuo Insoluble  $\leq 0,75\%$ ...”*

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

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 Finuras 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 HCR un cemento que no existe en ese País, siendo que varias obras presas de concreto ya habian sido construídas allí ?

## **Material Puzolánico**

### **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

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

En otro País, en la región del Mundo Arabe, 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 adicción de una gran cantidad de Cenizas Volantes (que nos existen en el País) para construir el HCR.

*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 hormigón ya habian sido contruídas allí.

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

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas  
Para otra Presa en otro País se requería lo siguiente:

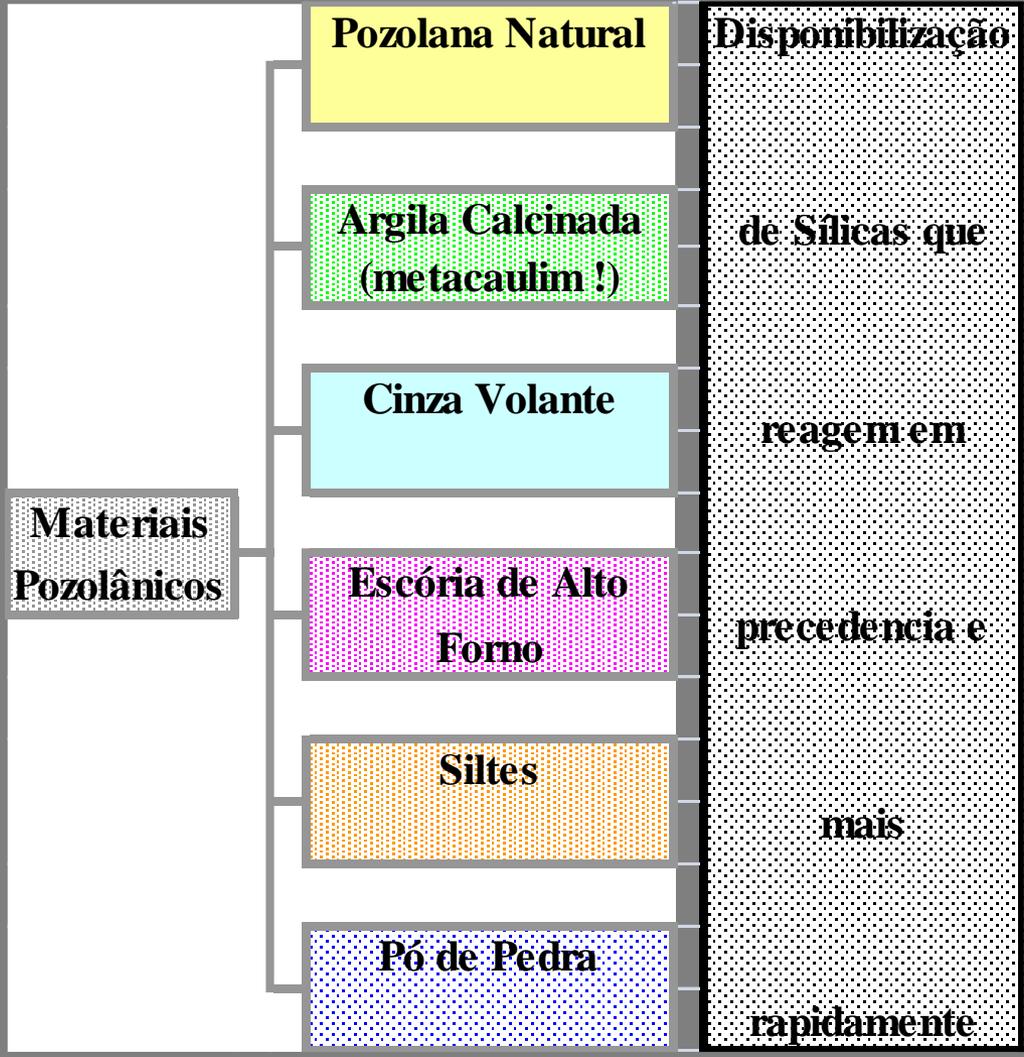
*“...El HCR para este Proyecto es una combinación de agregados pequeños y grandes, cemento, ceniza volante y aditivo químico que será mezclado con agua de tal forma que se obtenga una consistencia...”*

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

**SUCEDE QUE EN ESE PAÍS, DE ESA OBRA, TAMBIEN NO HAY MATERIAL PUZOLÁNICO QUE CUMPLA PLENAMENTE LAS NORMAS INDICADAS COMO ASÍ TAMBIEN CENIZA VOLANTE .**

**AQUÍ NUEVAMENTE SE LLEGA A UNA CONCLUSIÓN, PARA QUE ESE MATERIAL PUDIESE SER UTILIZADO, HABRÍA QUE EFECTUAR UNA INTENSA TRITURACIÓN.**

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



El uso de aditivos minerales o rellenos en las mezclas de HCR 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

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

Cuando se usa la curva de tipo cúbico de graduación, eso 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 tener 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

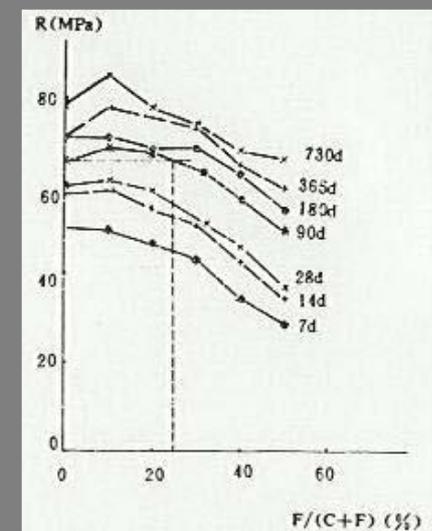
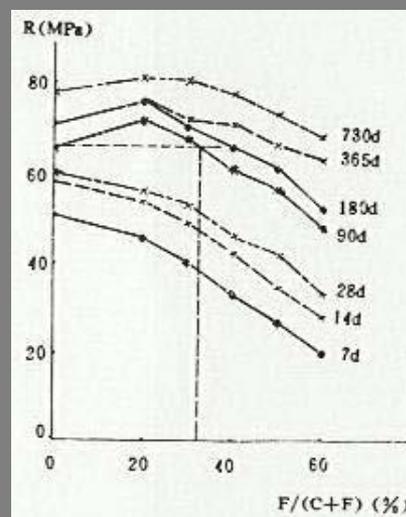
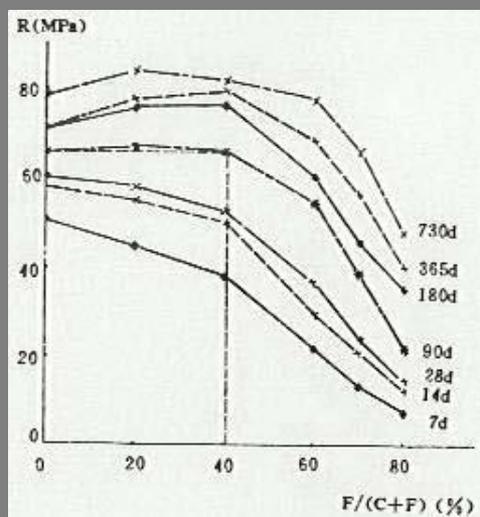
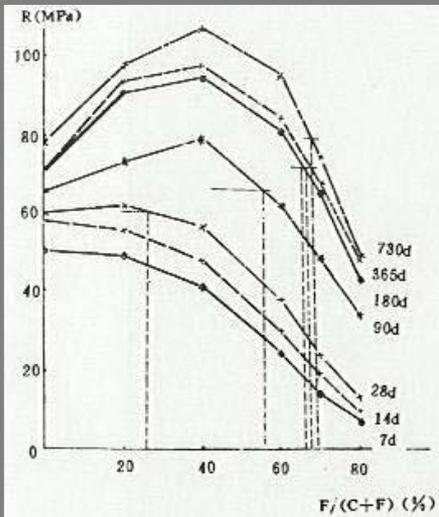
Es decir que el volumen adecuado de material puzolánico a ser usado depende de la Actividad Puzolánica, a ser mostrado junto con el cemento y pruebas con volúmenes de combinación diferentes de cemento y material puzolánico.

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 esclareció que mezclando cementos y puzolanas en cantidades adecuadas, los VC (Valores de Compactación por Vibración) de los hormigones colados facilitan la compactación y aumentan la resistencia a la compresión. También se es posible usar la roca molida y no lavada*

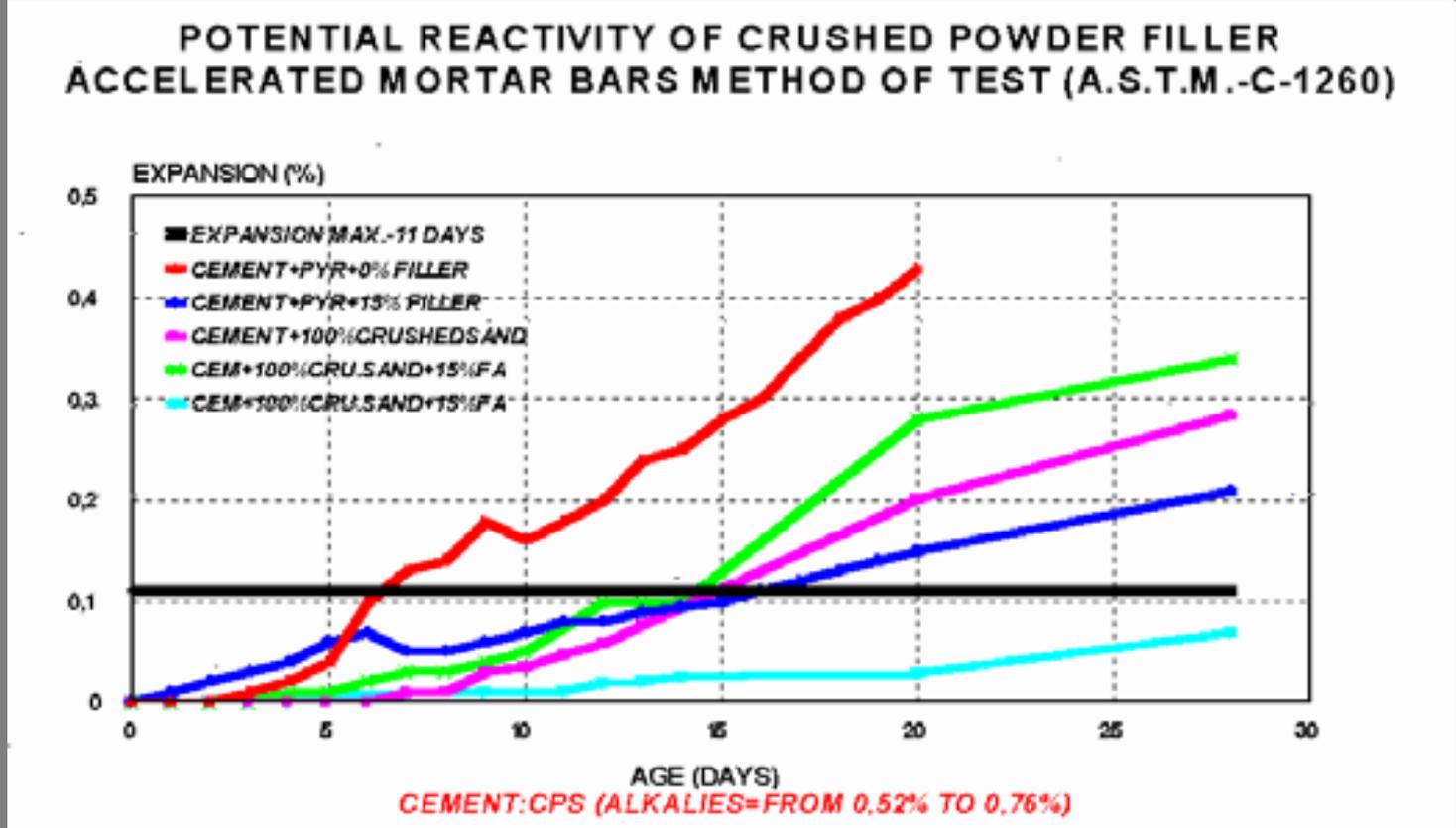
Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

- 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 ...”;



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

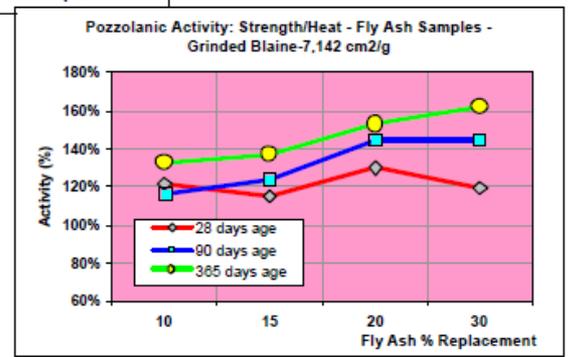
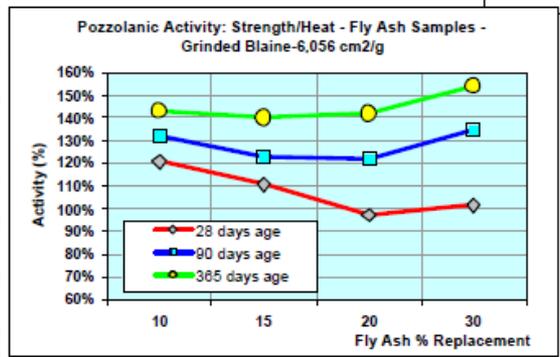
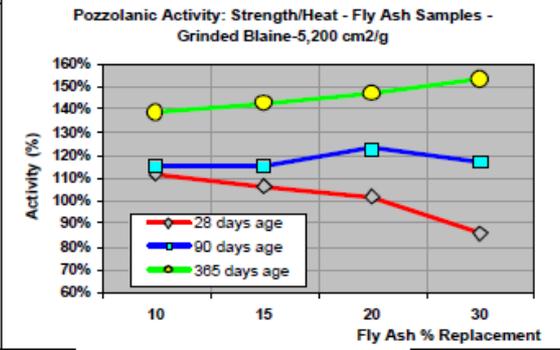
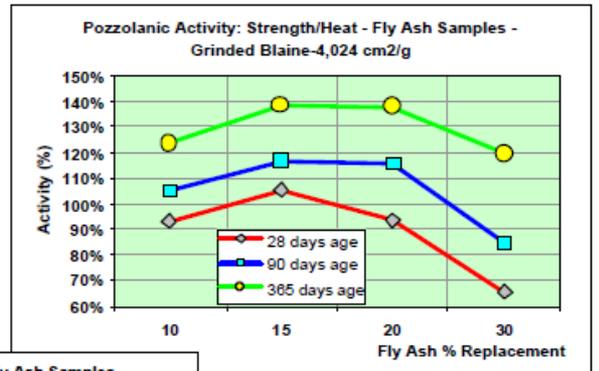
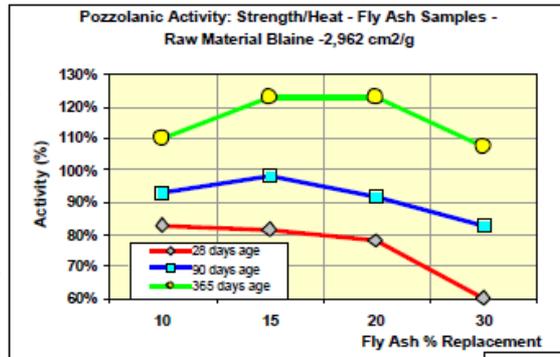
• Los estudios brasileños– “...La resistencia mejorada se obtuvo con el uso de Relleno en el HVC, más la mejora observada en la reducción de la permeabilidad del HCR demuestra que el uso de este material es valioso...”



*“...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 HCR y también en los tipos de cocretos (hormigones) convencionales, lo que corrobora la expectativa teórica mencionada en el texto...”.);*

### Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

Prueba de Mortero		
Volumen de Ceniza Volante t (%)		
Compressive Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	7 days	
	28 days	
	90 days	
	365 days	
Calor de Hidratación (cal/g)	7 days	
	28 days	
Activity: Strength/ Heat	28 days	
	90 days	
	365 days	
Prueba de Mortero		Mu
Vol.Ceniza Volante (%)		10
Compressive Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	7 days	237
	28 days	351
	90 days	436
	365 days	559
Calor de Hidratación (cal/g)	7 days	68
	28 days	76
Activity: Strength/ Heat	28 days	112%
	90 days	116%
	365 days	138%



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).

## **Aditivos**

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 HCR.

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**

### **Ejemplo de Requisito Inconveniente**

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

*Cementarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCB en la Construcción de Presas*

<b>País</b>	<b>Presas</b>	<b>Volumen Aproximado de RCC (m3)</b>	<b>Requisitos das Especificações Técnicas</b>	<b>Estoque Antecipado de agregado</b>
A	1	> 1,000,000	<p><i>“...O Construtor deverá enviar à Inspeção, um ano antes de começar a construção da barragem a análise e resultados de ensaios de agregados propostos...</i></p> <p><i>....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</i></p> <p><i>....O Construtor deverá ter armazenado antes do início da obra o equivalente a 10% do agregado necessário para a construção da Barragem..</i></p>	10 %
A	2	> 1,000,000	<p><i>....O Construtor deverá ter armazenado antes do início da obra o equivalente a 50% do agregado necessário para a construção da Barragem...</i></p>	50 %

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

<b>País</b>	<b>Presas</b>	<b>Volume Aproximado de RCC (m3)</b>	<b>Requisitos das Especificações Técnicas</b>	<b>Estoque Antecipado de agregado</b>
<b>B</b>	<b>1</b>	<b>&gt; 1,000,000</b>	<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>	<b>15%</b>
<b>C</b>	<b>1</b>	<b>&gt; 1,000,000</b>	<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>	<b>40%</b>

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

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 logística 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?*

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

Imaginemos si para la construcción de la Presa de Itaipu, 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**

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

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 y Clasificación 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 podrá 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 ¡!

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

Se puede también 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 elemento 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 también no necesita ser metálico, puede ser una cobertura con lonas, por ejemplo.

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

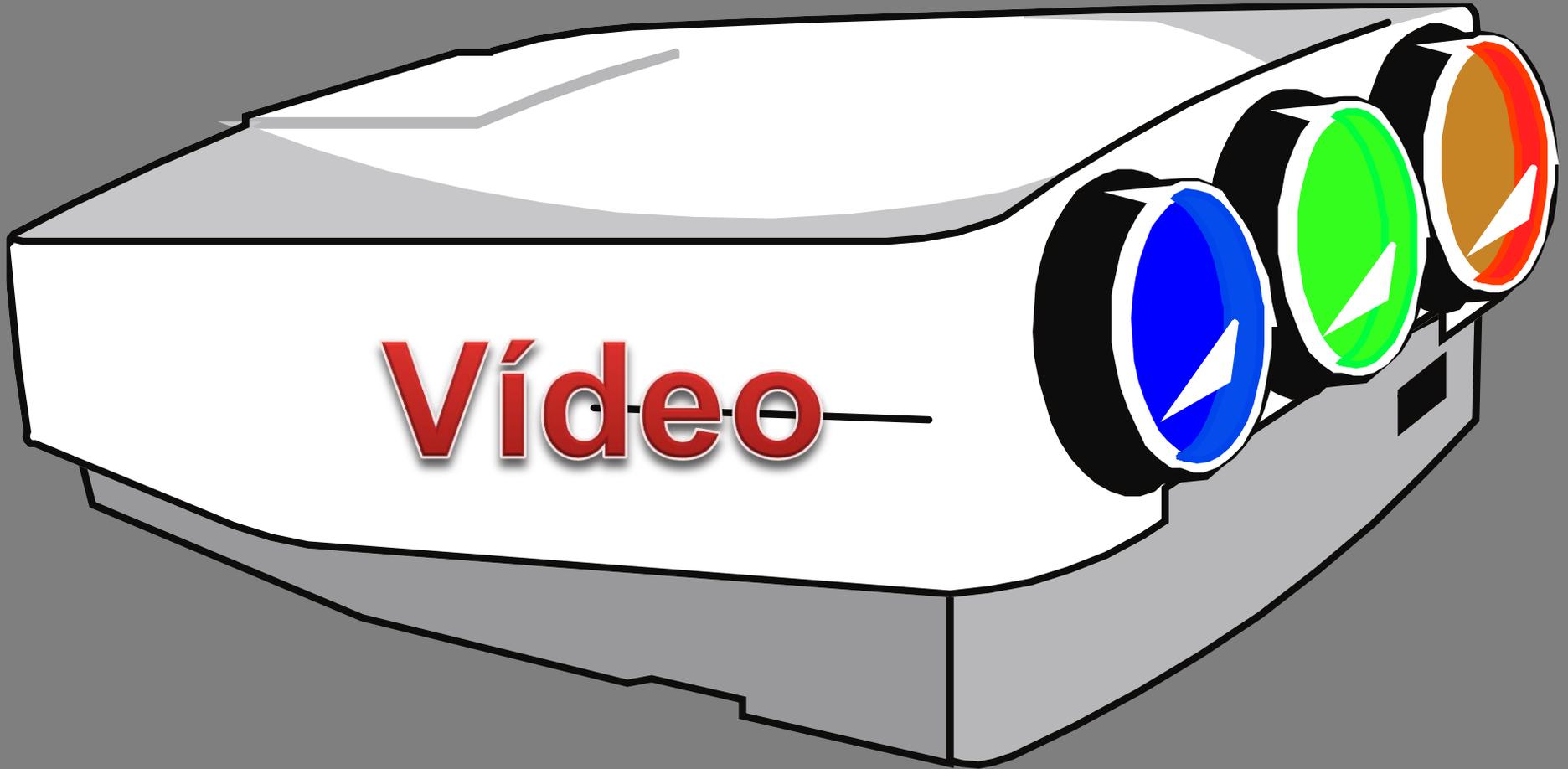
## **Ejemplo de Alternativa Técnica-Económica Adaptada a la Disponibilidad Local**

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:*

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



## *CONCLUSION*

*The simple construction method has been chosen for the construction of the Beydağ 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...."*

## **DOSIFICACIÓN Y PROPIEDADES**

EN EL ASPECTO DE DOSAJES Y PROPIEDADES REQUERIDAS SE PUEDEN CITAR LAS SIGUIENTES:

*“...Las dosificaciones 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 de la dosificación con las proporciones definidas por la Inspección...”*

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

**Aqui cabe una pregunta:**

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

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

Esa cuestión se hace necesaria, pues:

- El Constructor provee los materiales;
- La Inspección realiza las dosificaciones 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?

¿De la dosificación?

¿Del proceso?

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

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

En algunas especificaciones han sido observadas situaciones del tipo :

*“...para dosificación 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 tambien se puede mencionar que la relación Pasta/Mortero deberá ser como mínimo de 0,42...”*

## **EQUIPOS**

Entre los requisitos exigidos para los equipos, 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 Programa de Construcción sea cumplido, considerando las condiciones del local, climáticas, de disponibilidad de materiales y ambientales.*

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas  
**PERO, EN VARIAS OBRAS DE PRESAS DE CCR SE HA OBSERVADO LO SIGUIENTE:**

Obra	Especificación	Crítica
$\alpha$	<i>....La Planta de Hormigón deberá tener un número adecuado de mezcladores continuos tipo (referencia comercial!) u equivalente, de ejes duplos, del tipo de mezcla continua...</i>	a) Referencia al tipo; b) Referencia comercial
$\beta$	<i>... El Constructor deberá proveer, instalar, operar, e mantener una central totalmente automática para la producción del CCR. ... .. deberá tener una capacidad efectiva mínima de X00m3/hora</i>	Referencia de una capacidad sin conocer el cronograma del Constructor
$\delta$	<i>...El Constructor deberá transportar el CCR inmediatamente después de producido, desde de Mezclado hasta , 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 (referencia comercial!) y deberá ser proyectadas por profesionales con mucha experiencia en.....</i>	a) Especificación en el Proceso; b) Referencia 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 Constructor para satisfacer el Programa de Construcción y atender las Especificaciones del Producto

## **PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN**

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 HCR 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 1995, pero el HCR solo fue ejecutado entre los años 2001 y 2002 !

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

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

# **METODOLOGIA DE CONSTRUCCION Y DETALLES CONSTRUCTIVOS**

En este ítem, también como en los requisitos de los equipamientos, el concepto es de que el Constructor debe presentar para aprobación de la Inspección, la Metodología de Ejecución, considerando las condiciones locales, climáticas, de disponibilidad de materiales y ambientales. Pero la lectura de diferentes Especificaciones muestra que:

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

**CRITÉRIO PARA TRATAMIENTO DE LA SUPERFÍCIE DE LA JUNTA**

Obra	Exigencia	Crítica
$\omega$	<i>“...El Constructor puede aplicar o proceso “Sloped Layer Method” para un máximo de Xm de altura...”</i>	<p>a) Inducción al uso de un PROCESO;</p> <p>b) Proporciona implicaciones al comportamiento térmico, que puede no estar previsto</p>
$\pi$	<i>“..cuando la superficie de la camada de HCR está com mas de 600° C o tratamiento deberá</i>	El concepto de maduración no cubre todas las variables ambientales que afectan la propiedad ( <u>Inicio del Fraguado</u> ) del concreto
$\lambda$	<p><i>“...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></p> <p><i>I. Esas Juntas deberán ser conformadas con el uso de encofrados;</i></p> <p><i>II. Esas Juntas deberán ser conformadas dejando láminas metálicas inseridas verticalmente...”</i></p>	<p>Cual es la necesidad de ser lámina metálica?</p> <p>No puede ser plástica?</p>
$\xi$	<i>“...las faces de aguas arriba y de abajo deberán ser construídas utilizando encofrado y o GE-RCC (Grout Enriched RCC)</i>	Se especificó el PROCESO y no el PRODUCTO!

Se nota, por las exigencias que hay una carencia plena de conocimiento del comportamiento del HCR, 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 HCR CREÓ UNA MAYOR PREOCUPACIÓN, CUANDO SE COMPARA CON LAS TRADICIONALES CONSTRUCCIONES DE HORMIGÓN, SE EVIDENCIÓ UNA MAYOR INFILTRACIÓN Y UNA ADHERENCIA DUDOSA, LO QUE REDUCIÓ LA SEGURIDAD EN LA ESTABILIDAD DE LAS PRIMERAS PRESAS CONSTRUÍDAS EN HCR.

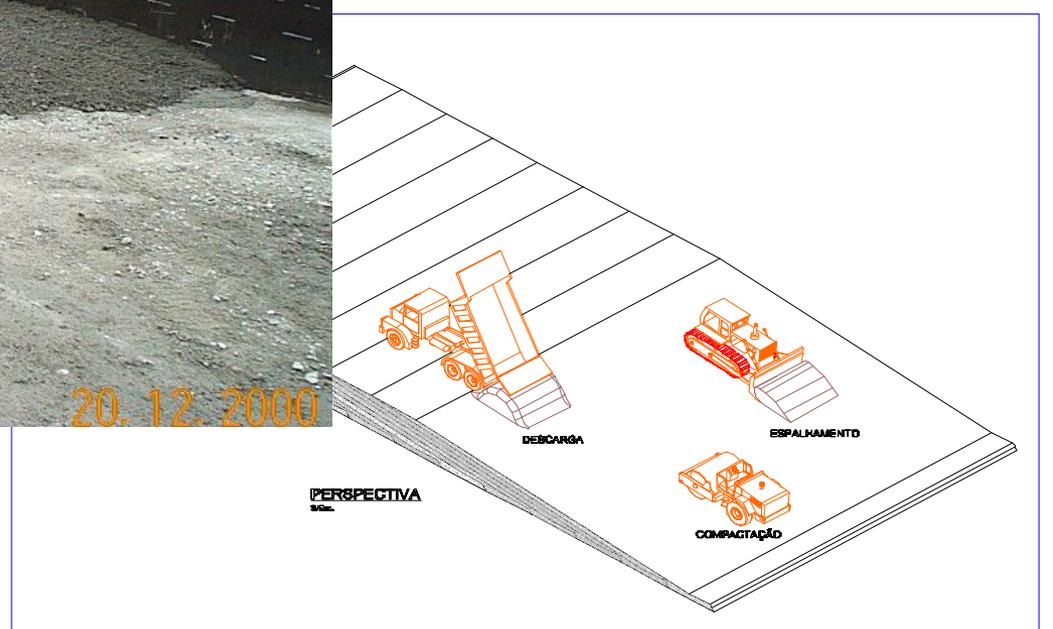
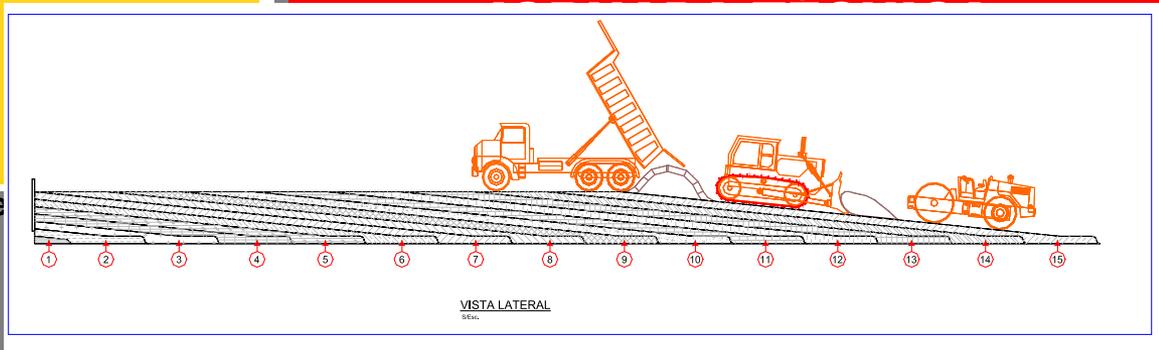
Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

## **USO O NO DE LAS CAMADAS INCLINADAS (SLOPE LAYER METHOD)**

En la ejecución de camadas horizontales de HCR , de un extremo a otro de la presa el intervalo de tiempo entre el fin de una camada 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 camadas.

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 HCR. El procedimiento ejecutivo en camadas 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 gruas para la colocación de los encofrados.

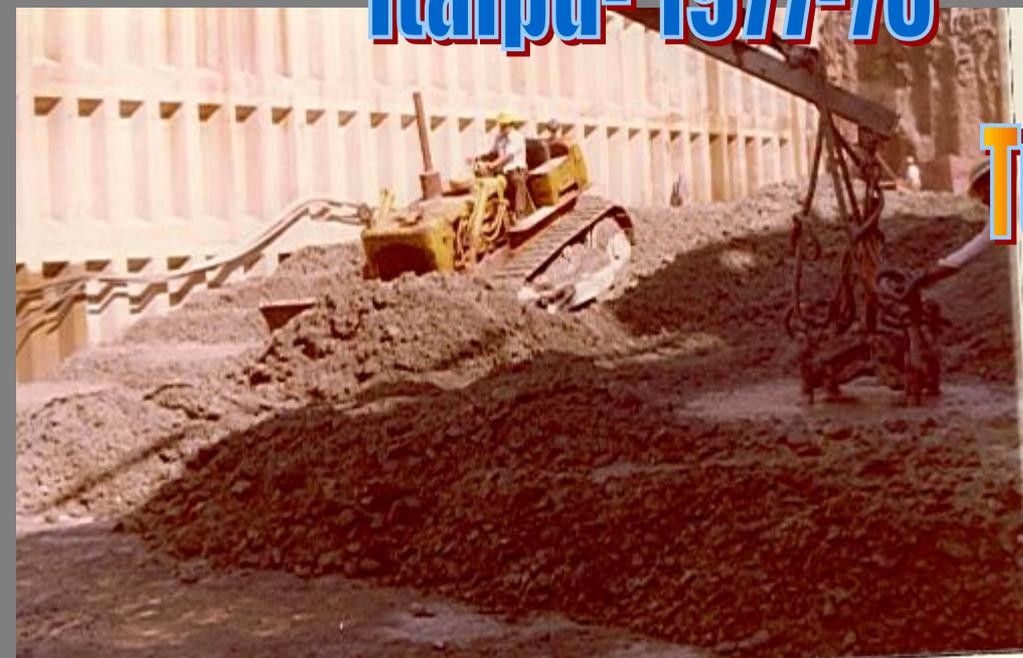


El método de esparcimiento en camadas inclinadas o “Método Chino” es una solución creativa que permite una reducción sustancial en el tratamiento de juntas de construcción y en el volumen de concreto o mortero de adherencia entre las camadas. Permite también optimizar mano de obra y equipamientos para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

En el Brasil, este método fue utilizado por la primera vez, para el HCR, 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.



**Itaipu-1977-78**



**Tucuruí-1979-80**



UM  
ara la Met

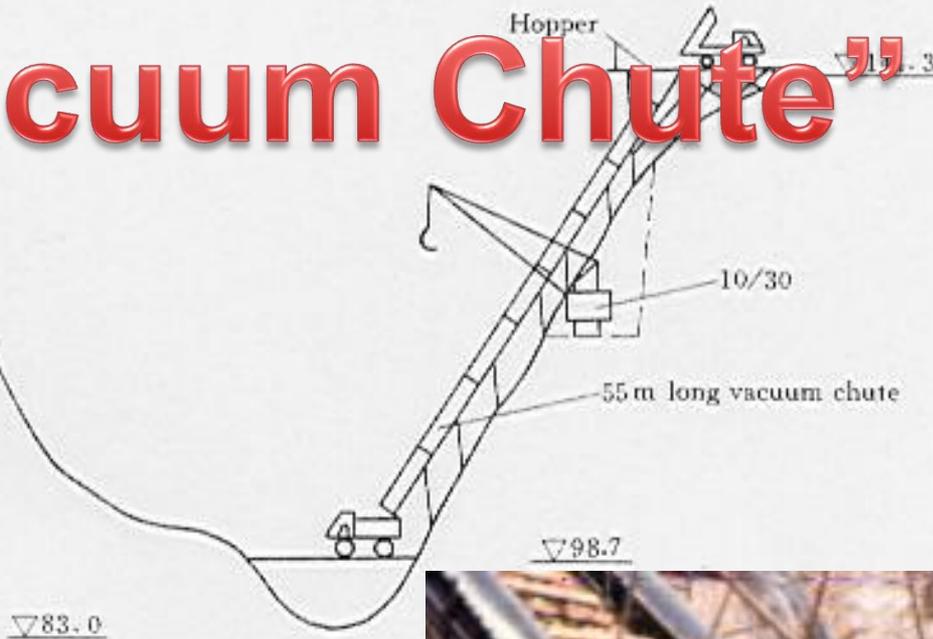


isco Rod

# Camada extendida



# “Vacuum Chute”



ORNADA TÉCNICA

ÓN INTEGRAL DE LAS PRESAS  
ORMIGÓN COMPACTADO

ia del HCR en la Construcción de Presas

# Shuidong

# Jiangya



Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

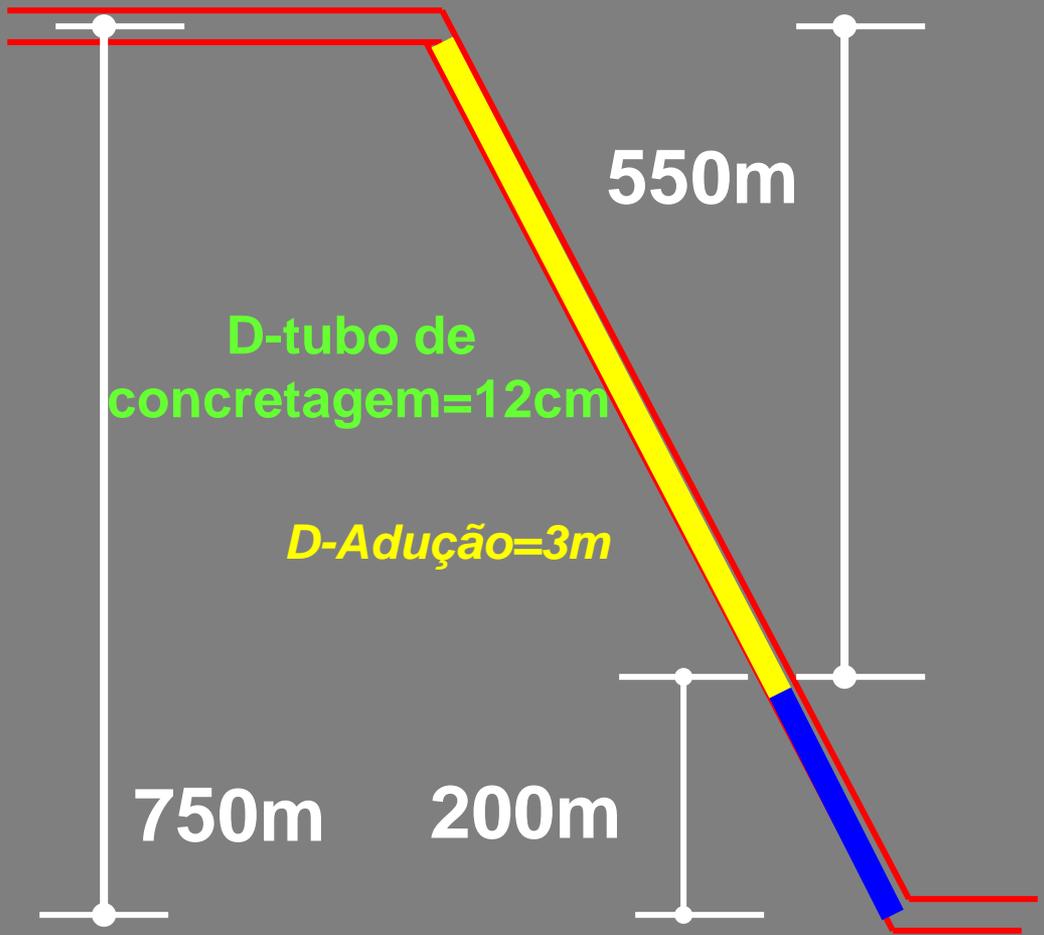
Os ex-Soviéticos foram, nos anos 50-60, grandes usuários desses recursos para o manuseio do concreto. Desde os anos 70 os brasileiros incorporaram essa metodologia na sua prática de construção, registrando marcas de altura e volume transportado. O diâmetro dessas tubulações tem variado desde 120mm a 500mm



**Ilha Solteira- 1972-73**

Comer

s y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas



# Itaipu

# San Gaban-Peru



AMBIENTE  
AL

gonos



Vacuum Chute !



## **CONTROL DE CALIDAD**

### **Aspectos Generales y Conceptuales**

En el transcurrir del desenvolvimiento del HCR 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 HCR ?*

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

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

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas  
Pero, en esas obras algunos errores o fallas llevaron a una afirmación adicional:

*¿Usted nos convenció de que el HCR 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” difícilmente 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 HCR, 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, también es muy recomendable;

- **Planificación del Emprendimiento** – El HCR 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;

- Equipos 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 las oficinas 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 HCR, mucho más que en las construcciones de HVC, la necesidad de mantener la uniformidad es muy importante. Hay entonces que aplicar el buen senso a ese respecto.

## **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:

***• 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;

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

• **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”.

• **Costos debidos a fallas e re-trabajos:**

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

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

## 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 etender que la técnica del HCR es camaleónica y se adapta al terreno. El camalaeón no deja de ser camaleon esté donde esté! (como habla Don Cascón!!!)



## COMENTARIOS

La Metodología del HCR 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 HVC's masa y de la velocidad de construcción.

No es solamente pensar que conoce la velocidad!

Comentarios sobre la Tecnología de los Materiales y Hormigones para la Metodología del HCR en la Construcción de Presas

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

## **Equipos**

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.

## **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.

## 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 esta siendo construido, considerando el grado de capacitación de la Mano de Obra, Velocidad de Construcción y eventual potencialización de errores,

Muito Obrigado !!!

Muchas Gracias !!!

Many Thanks !!!

