



RC 2018 xvii Reunión
del **CONCRETO**

El evento del Cemento, el Concreto y los Prefabricados



NUEVOS DESARROLLOS DE CONCRETOS PARA INFRAESTRUCTURA

***Ic. Jesús E Sierra Rodriguez
Ultracem SAS
Colombia***

Reseña Histórica

El puente Laureano Gomez, atraviesa el río Magdalena a 20 km de su desembocadura en el mar Caribe, a la altura de Barranquilla y el municipio de Sitio Nuevo Magdalena. Conecta a Barranquilla con el resto del país vía la población de Ciénaga. El puente recibió por decreto el nombre oficial de "Laureano Gómez", pero el pueblo agradecido lo denomina con el nombre de su impulsor, el dirigente barranquillero Alberto Pumarejo, y así es conocido en todo el país. Su longitud es de 1536 m, su ancho de 12m y un galibo de navegación de 16m. Inaugurado el **6 de abril de 1974**. El puente fue polémico desde su etapa de diseño a causa de sus pobres características técnicas, especialmente su escaso gálibo, que impidió el desarrollo de la navegación fluvial por el río Magdalena.



Fotos fuente: Fundación Magdalena

Nuevo Puente sobre el Rio Magdalena



Fotos fuente: Fundación Magdalena

Apropiación Total INVIAS = \$ 649.508 millones

CONTRATISTA DE OBRA:	CONSORCIO SES PUENTE MAGDALENA
COMPOSICIÓN:	Sacyr Construcción Colombia (40%); Sacyr Chile S.A. (30%); Esgamo Ingenieros Constructores (30%)
VALOR :	\$ 614.345 millones
INTERVENTORÍA:	CONSORCIO VIAL PUMAREJO
COMPOSICIÓN:	MAB Ingeniería de Valor y Triada Diseños (México)
VALOR :	\$ 34.572 millones
FECHA DE INICIO:	Preconstrucción 19MAY15 – Obras 19AGO15
FECHA DE TERMINACIÓN:	19 de Mayo de 2018

Nuevo Puente sobre el Rio Magdalena

El objetivo de la construcción del Nuevo Puente es corregir las especificaciones técnicas del puente actual para permitir la navegabilidad aguas arriba de los barcos de mayor capacidad y calado.

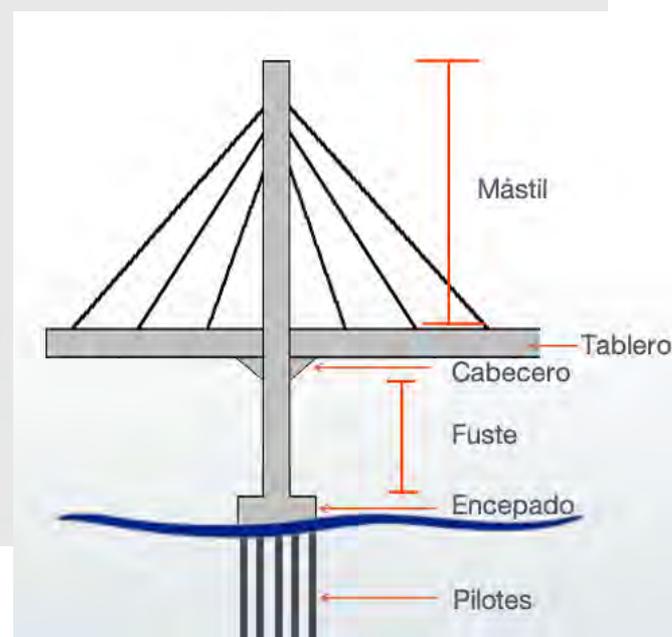
Esto ayudará a incrementar el desarrollo portuario de la región caribe y el comercio hacia el interior del país.

Especificacion	Puente Actual	Puente Nuevo
Tipo de Estructura	Puente Atirantado	Puente Atirantado
Longitud	1536 m	3237 m
Luz Principal	140 m	380 m
Gálibo (altura desde el agua)	16 m	45 m
Ancho transversal	12.5 m	38.1 m

Nuevo Puente sobre el Rio Magdalena

Características.

- Estructura tipo **Atirantado**.
- **29 luces** en el eje principal, la mayor atirantada de 380 m, 2 luces contiguas de 140 m y las restantes van de 70 a 32 m.
- **2 mástiles** principales de 140 metros de altura desde la zapata.
- Altura o gálibo de 45 metros.
- 2.247 metros de longitud en el eje principal y 990 metros de viaductos en conexiones y accesos, **en total 3.237 metros de longitud**.
- **Dos calzadas** vehiculares de **tres carriles** cada una, andenes peatonales de 2 m y ciclo rutas de 1,5 m en ambos extremos de la sección, el ancho del tablero será de 38,1 m en el tramo atirantado y de 35,1 m en los tramos de acceso.



Tipos de Concretos

- Concretos BOMBEABLES.
- Concretos TREMIE (Pilotes).
- Concretos ALTA RESISTENCIA (8000 y 9000 Psi).
- Concretos MASIVOS.

Con. Masivos



Con. Masivos

DEFINICION:

Si nos remitimos al ACI 207.1, sobre la definición los concretos masivos nos dice que: ***“cualquier volumen de concreto con dimensiones lo suficientemente grandes como para que se tomen medidas que controlen la generación de calor de la hidratación del cemento y su cambio en volumen para minimizar el potencial de agrietamiento”***.

Con. Masivos

DEFINICION:

Por otro lado el **ACI 211** dice: muchos elementos estructurales grandes pueden ser suficientemente masivos para que la generación de calor deba ser considerada, particularmente cuando la dimensión mínima de la sección transversal del elemento sólido se aproxima o **exceda de 60 a 90 cm (2 a 3 pies)** o cuando el contenido de cemento exceda de 355 kg/m³ (600 lb/yd³).

Con. Masivos

DEFINICION:

Según el **Departamento de Transportación de Florida (DOT)**, un elemento debe ser considerado como masivo si presenta las siguientes condiciones:

- La dimensión mínima es de un metro (1 m).
- La relación de volumen a superficie es mayor de 0.30.

“La temperatura de las diferentes mezclas de concreto no debe exceder de los valores mostrados en la siguiente tabla:

Tipo de concreto	Espesor del elemento por colar cm	Temperatura máxima en planta °C	Temperatura máxima de colocación °C
Masivo	>100	20	23
Semimasivo	60-100	24	27
Normal	<60	28	31

Tabla Fuente: Candelas Ramirez 2008

Con. Masivos

ACI 301-10 – SECCIONAL COLOMBIA...

Concreto masivo

El concreto masivo – concreto que requiere un control riguroso de las temperaturas y diferenciales de temperatura máximos – se encuentra frecuentemente en la construcción en concreto en la actualidad. Son comunes las secciones gruesas y voluminosas, y el concreto de alta resistencia o de alto desempeño tiende a generar mayor calor durante la hidratación. Las versiones previas del ACI 301 exigían que el concreto masivo se colocara a una temperatura máxima de 21°C (70°F) a menos que se especificara de otra manera, pero no exigía la verificación de las temperaturas o diferenciales de temperatura máximos en el concreto. Si bien una temperatura máxima de 21°C (70°F) era innecesariamente conservadora en muchos casos, no proveía protección contra la fisuración excesiva causada por diferenciales grandes de temperatura. El ACI 301-10 ahora exige un plan de control térmico para concreto masivo. Una parte de los requisitos para concreto masivo se muestran en la Fig. 6. Esto motiva el uso de mezclas de concreto que tengan una temperatura inicial más baja y una tasa controlada y conocida de generación de calor, así como el uso de aislamiento para mantener los diferenciales de temperatura especificados.

Antes:

- Solo se establecía temperatura máxima de colocación 21 °C.

Ahora:

- También se requiera temperatura máxima de fraguado o hidratación 70 °C.
- El diferencial máximo entre el centro y la superficie del elemento no debe exceder los 19°C.

8.1.2 Requisitos generales – El concreto masivo deberá cumplir con los requisitos de las Secciones 1 a 5, a menos que se especifique de otra manera en esta sección o en los Documentos Contractuales.

A menos que se especifique de otra manera, los siguientes criterios se deberán aplicar para la colocación de concreto masivo:

- La temperatura máxima del concreto después de la colocación no deberá exceder 70 °C (158 °F); y
- La diferencia máxima de temperatura entre el centro y la superficie del vaciado no deberá exceder 19 °C (35°F).

Con. Masivos

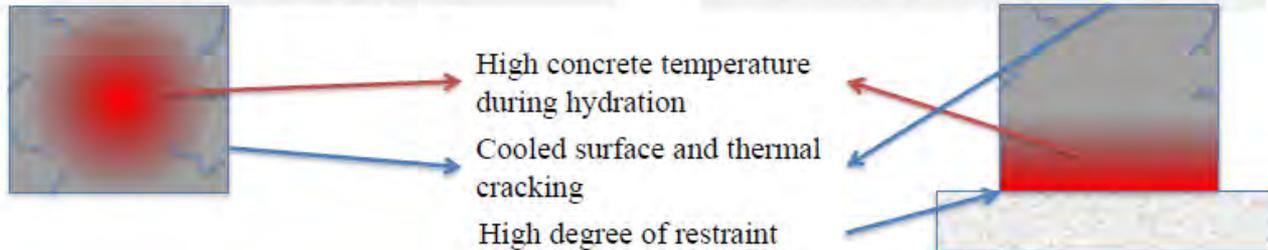
DEFINICION:

Maximum Concrete Temp

- Exothermic reaction
- Risk of Delayed Ettringite Formation “DEF”
- Internal Sulfate Attack

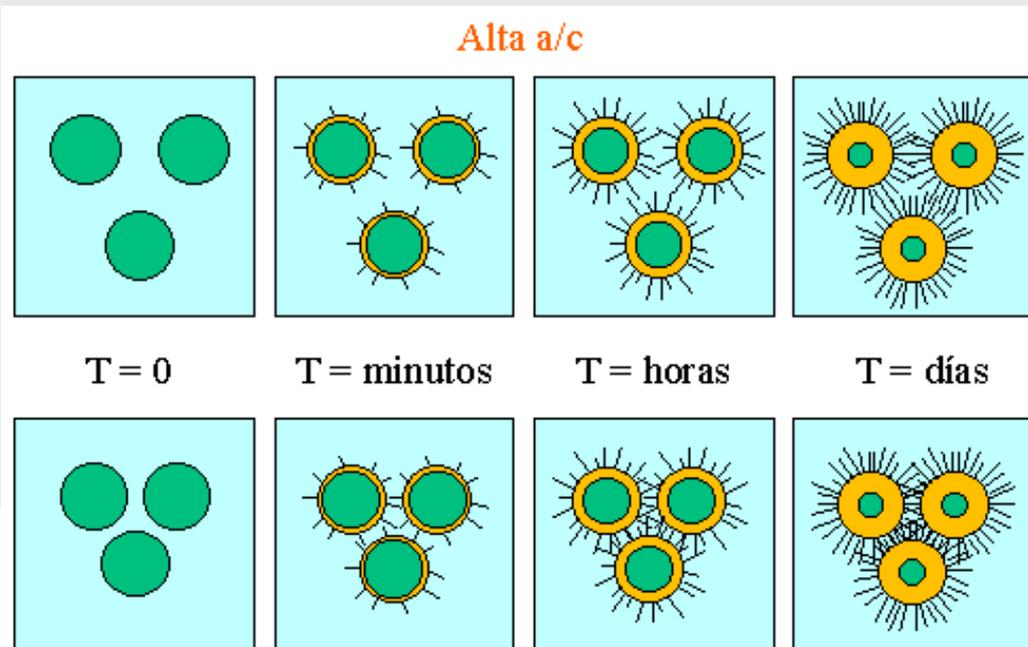
Differential Temp

- Increase core temperature
- Cooling on the surface
- Volume change, Tensile stresses and Thermal Cracks



Con. Masivos

HIDRATACION DEL CEMENTO:



Baja a/c

Con. Masivos

RESUMEN HISTORICO:



Arrowrock

- Estados Unidos de Norteamérica prácticamente desde el principio del siglo 20 se ha aplicado en presas como **Arrowrock** terminada en 1915 presa de arco-gravedad, en su tiempo fue la más alta del mundo - 107 m.
- La **Big Dalton** presa de arcos múltiples construida por el condado de Los Ángeles a fines de los años veintes (1920 – 1930).
- La presa **Hoover**, en los años treintas (1930), marcó el inicio de prácticas como el pos-enfriamiento por medio de tuberías embebidas en el concreto y el uso de cemento de bajo calor de hidratación que se extendieron a todo el mundo.

Con. Masivos

RESUMEN HISTORICO:

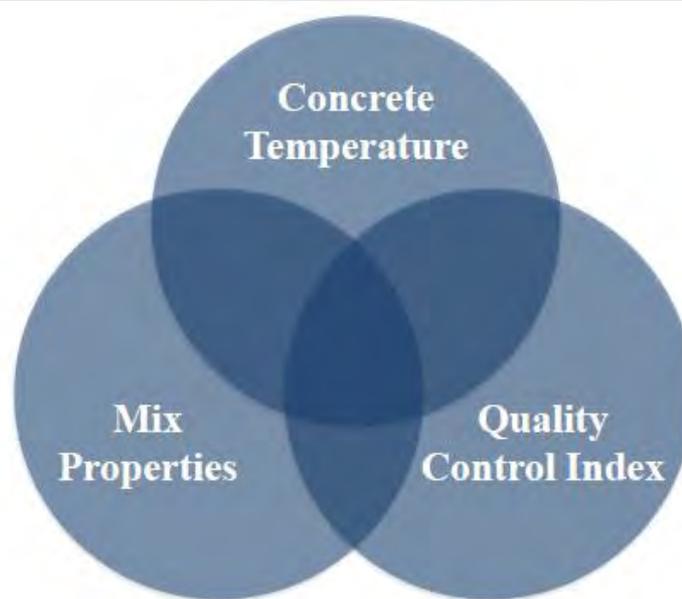


Hoover

- Los primeros esfuerzos serios para pre-enfriar el concreto fueron durante la construcción de la presa **Norfolk** de 1941 a 1945 por el Corps of Eginers consistentes en introducir hielo triturado como agua de Mezclado.
- En 1949 la combinación de pre-enfriamiento y pos-enfriamiento fue usada en la presa **Glen Canyon** donde en el verano se tenían temperaturas de hasta 38º C.

Con. Masivos

VARIABLES A CONTROLAR:



Con. Masivos

DISEÑO DE MEZCLA:

CEMENTO

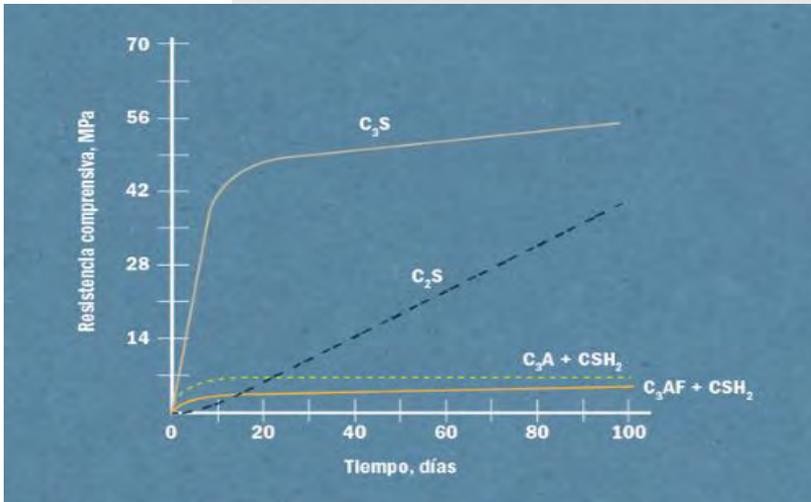
Tabla 1. Requisitos físicos normalizados

Tipo de cemento	Método de ensayo aplicable	UG	ART	MRS	ARS	MCH	BCH
Finura	NTC 33 NTC 294	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, máx., %	NTC 107	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de fraguado, ensayo de Vicat ^b	NTC 118						
Inicial, no menos de, minutos		45	45	45	45	45	45
Inicial, no más de, minutos		420	420	420	420	420	420
Contenido de aire en volumen de mortero, % máximo	NTC 224	12	12	12	12	12	12
Resistencia mínima a la compresión, MPa	NTC 220						
1 día		...	11,0	...	...	...	...
3 días		8,0	22,0	11,0	11,0	5,0	...
7 días		15,0	...	18,0	18,0	11,0	11,0
28 días		24,0	...	...	25,0	...	21,0
Calor de hidratación	NTC 117						
7 días, máx. kJ/kg (kcal/kg)		...	...	...	...	290 (70)	250 (80)
28 días, máx. kJ/kg (kcal/kg)		...	...	...	...	...	290 (70)

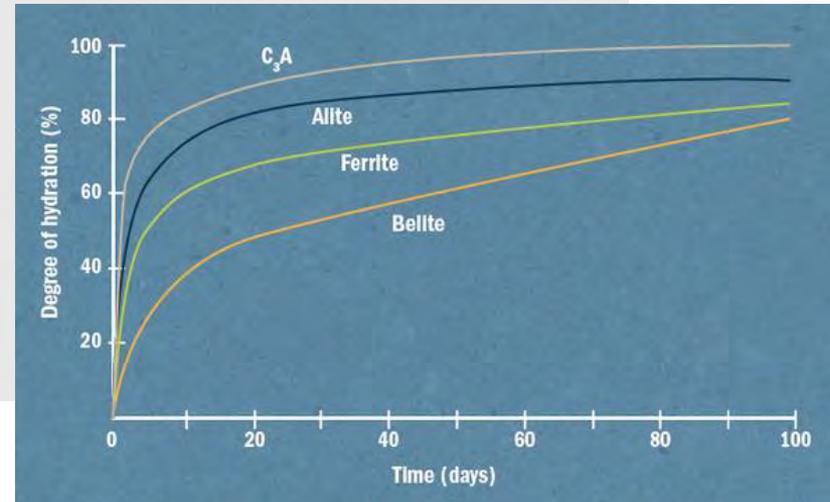
Tabla Fuente: Norma NTC-121 - 2014

Con. Masivos

DISEÑO DE MEZCLA: CEMENTO



Desarrollo de Resistencias

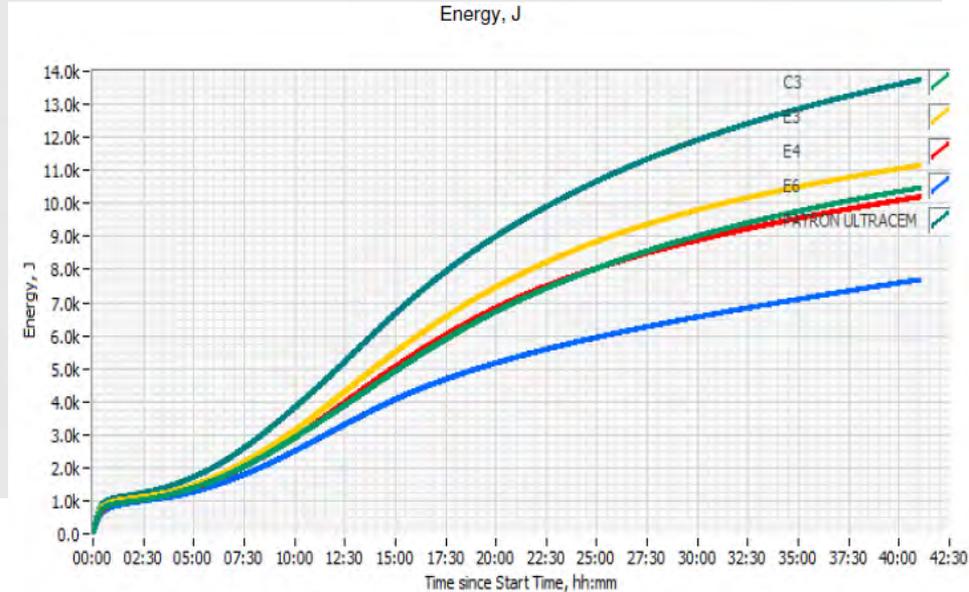


Desarrollo de Calor de Hidratación

Con. Masivos

DISEÑO DE MEZCLA:

CEMENTO



Ensayo: Calorímetro Isotérmico.

Pruebas Ultracem con reemplazo de Ceniza por Escoria.

Ceniza 30% Vs Escoria 40% para alcanzar condiciones similares de calor.

Con. Masivos

DISEÑO DE MEZCLA:

AGREGADOS

- Utilizar Agregados bajo Normativa: NTC-174, ASTM-C33, ACI-207.
- Utilizar agregados de MAYOR TAMAÑO posible:
- ✓ Arenas con MF > 2.3.
- ✓ Gravas TM 3 – 6" (75 – 150 mm).



Malla (mm)	Límites recomendados para concretos masivos, en la granulometría del agregado grueso, en porcentaje del peso que pasa la malla			
	150-175 (mm)	75-37.5 (mm)	37.5-19 (mm)	19-4.75 (mm)
175	100			
150	90-100			
100	20-45	100		
75	0-15	90-100		
50	0-5	20-55	100	
37.5		0-10	90-100	
25		0-5	20-45	100
19			1-10	90-100
9.5			0-5	30-55
4.75				0-5

Tabla Fuente: ACI 207 1R.

Con. Masivos

DISEÑO DE MEZCLA:

AGUA

- Utilizar AGUA que cumplan con Normativa NTC-3459.
- Las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también pueden ser causa de eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

DISEÑO DE MEZCLA:

ADITIVOS

- Utilizar ADITIVOS de tipos:
 - ✓ Plastificante Retardante.
 - ✓ Superplastificante (HRWR).
 - ✓ Inhibidores de Hidratación.
 - ✓ Incluidores de Aire.



DISEÑO DE MEZCLA:

MCS – ADICIONES

La puzolana se define como un material sílico o sílico-aluminoso que por él mismo posee muy poca o nula propiedad cementante, pero finamente dividido y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio (liberado durante la hidratación del cemento Pórtland) a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes.



Con. Masivos

DISEÑO DE MEZCLA:

MCS - ADICIONES

	Fly ash	Slag	Silica fume	Natural Pozzolans
Water Requirements	↓	↓	↑	⇒
Workability	↑	↑	↓	↑
Bleeding and Segregation	↓	⇄	↓	⇒
Air Content	↓	⇄	↓	⇒
Heat of Hydration	↓	↓	⇄	↓
Setting Time	↑	↑	⇒	⇒
Finishability	↑	↑	⇄	↑
Pumpability	↑	↑	↑	↑
Plastic Shrinkage Cracking	⇒	⇒	↑	⇒

Tabla Fuente: ACTS - ACI 207 1R.

Con. Masivos

DISEÑO DE MEZCLA:

RELACION A/mc

- Seleccionar la Relación A/mc con los requerimientos del Proyecto, para cumplir con la **Resistencia de Diseño ($f'c$)** y parámetros de **Durabilidad**.
- Cuando se utiliza **MCS** en altas proporciones para reducir el **Calor de Hidratación** y **fisuración térmica**; la Resistencia de Diseño puede ser especificada a 56, 90 o 180 días, si el Proyecto lo permite.

CONTROL DE CALIDAD:

TEMPERATURA DE MMPP

- **Cemento Reposado:** 40 – 60°C.
- **Agregados Cubiertos:** Riego con Aspersión de Agua Fría (5°C), para obtener temperaturas entre 15-25°C.
- **Agua de Amasado:** 4 – 6°C.
- **Uso de Hielo:** Uso entre el 60 – 100% de hielo en reemplazo del agua de diseño.

Con. Masivos

CONTROL DE CALIDAD:



Con. Masivos

CONTROL DE CALIDAD:



Con. Masivos

CONTROL DE CALIDAD:

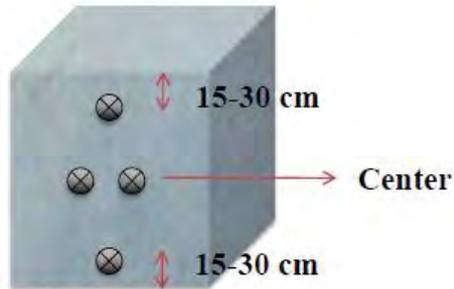
USO DE HIELO – COMO AGUA DE DISEÑO



CONTROL DE CALIDAD:

CONTROL DE TEMPERATURA DEL CONCRETO

- Use of **Thermocouples** to monitor temperature development linked to the rear panel of the digital thermometer



Con. Masivos

CONTROL DE CALIDAD:

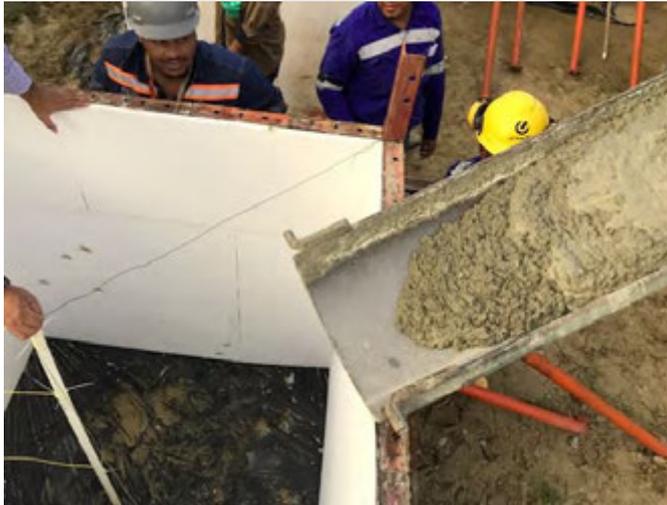
CONTROL DE TEMPERATURA DEL CONCRETO



Con. Masivos

CONTROL DE CALIDAD:

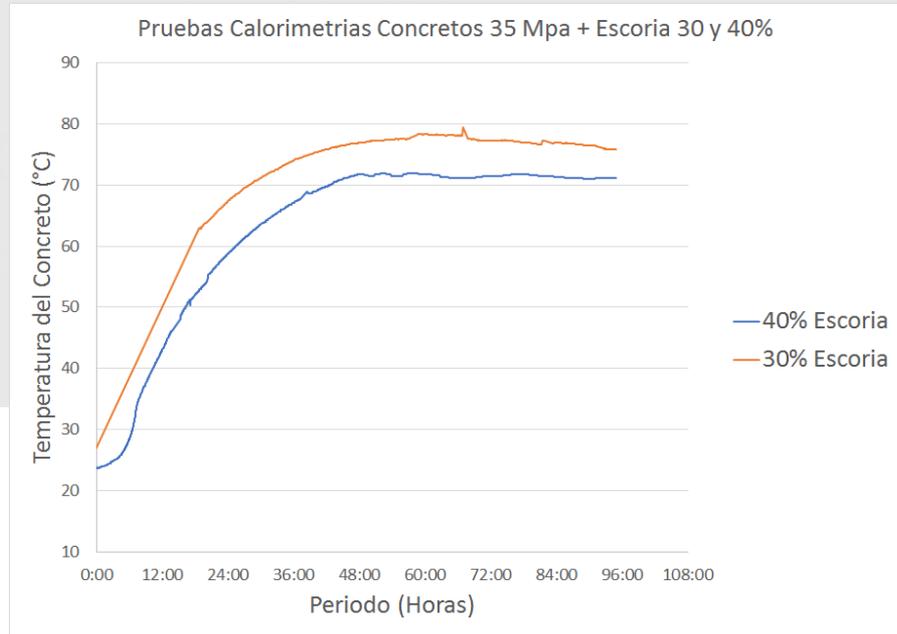
CONTROL DE TEMPERATURA DEL CONCRETO



Con. Masivos

TEMPERATURA POR FRAGUADO DEL CONCRETO:

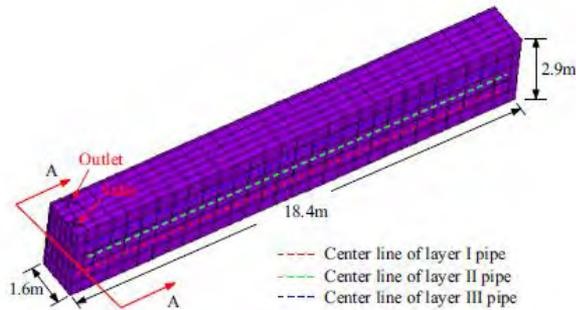
Máxima temperatura permitida = 74°C.



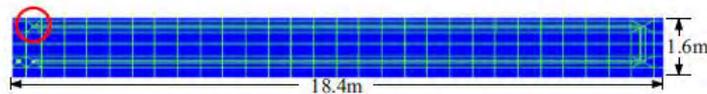
Como lo hacen otros Países?

Con. Masivos

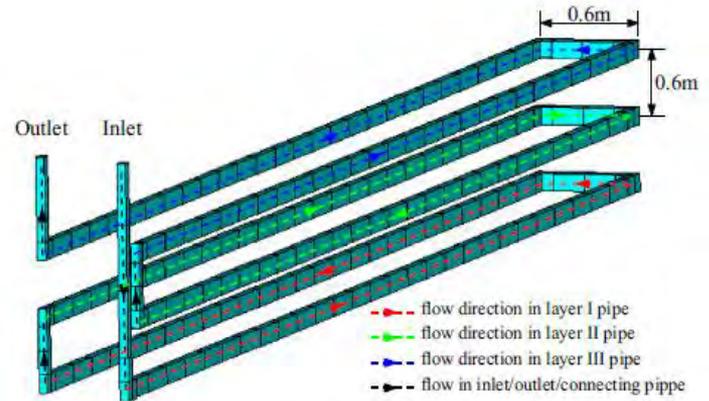
METODO DE ENFRIAMIENTO DEL CONCRETO POS-FUNDIDA:



(a) Overall view of the model



(b) A-A view, second layer of pipe



(c) Layout and water flow direction in the cooling pipe

Con. Masivos

METODO DE ENFRIAMIENTO DEL CONCRETO POS-FUNDIDA:

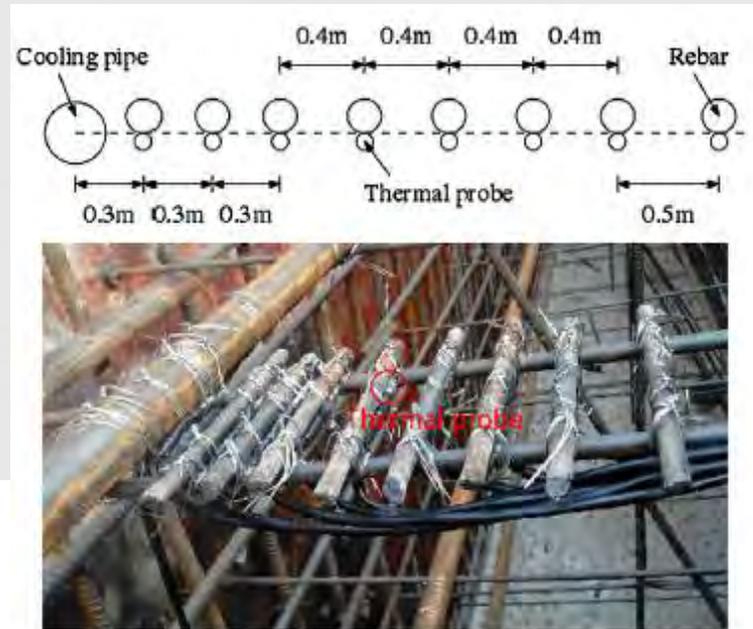
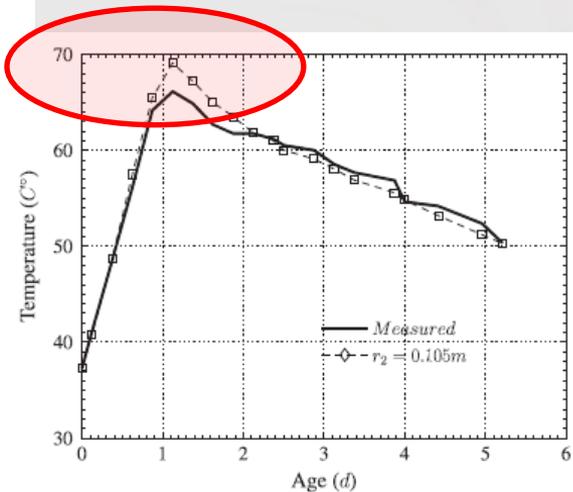


Fig. 6. Layout of thermal probes.

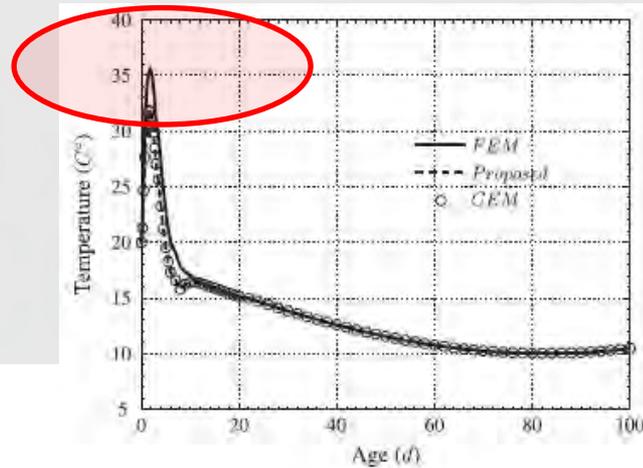
Con. Masivos

METODO DE ENFRIAMIENTO DEL CONCRETO POS-FUNDIDA:

Sin Enfriamiento



Con Enfriamiento



Con. Masivos

USO DE MEZCLAS TERNARIAS PARA MITIGAR EL AGRIETAMIENTO TERMICO EN CONCRETOS MASIVOS:

Table 1
Mixture proportions of mock-up members.

Member	Water (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	GGBFS (kg/m ³)	w/b [*] (-)	Fine aggregate (kg/m ³)	Coarse aggregate (kg/m ³)	S.P. ^{**} (kg/m ³)
Normal-strength	170	430 (Type I)	-	-	0.40	770	930	3.01
High-strength	165	585 (Type I)	-	-	0.28	702	874	7.02
Low-heat	180	530 (Type IV)	-	-	0.34	742	881	3.71
Ternary	135	226 (Type IV)	87	134	0.30	820	937	3.58

* w/b: water-to-binder ratio.

** S.P.: superplasticizer.

Table 2
Chemical composition of the binders used in the test members.

	Type I cement	Type IV cement	Fly ash	GGBFS
SiO ₂	18.37	19.77	54.98	34.67
Al ₂ O ₃	3.05	1.70	23.56	14.63
Fe ₂ O ₃	2.28	2.53	10.20	0.67
CaO	68.99	69.35	5.26	42.07
MgO	2.40	2.57	1.65	4.63
SO ₃	3.11	2.55	0.43	2.02
H ₂ O	-	-	-	-
Sum	98.19	98.47	96.08	98.68

Con. Masivos

USO DE MEZCLAS TERNARIAS PARA MITIGAR EL AGRIETAMIENTO TERMICO EN CONCRETOS MASIVOS:

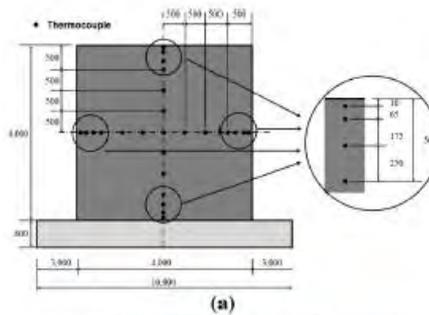


(a)



(b)

Fig. 1. (a) Concrete casting in the field and (b) Mock-up test member in field testing.



(a)



(b)

Fig. 2. (a) Layout of temperature sensors in the test member and (b) strain gages and non-stress cylinders installed in the test members.

Con. Masivos

USO DE MEZCLAS TERNARIAS PARA MITIGAR EL AGRIETAMIENTO TERMICO EN CONCRETOS MASIVOS:

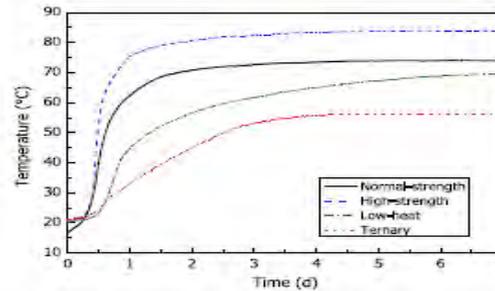


Fig. 3. Adiabatic temperature rise for concrete mixtures used in mock-up test members.

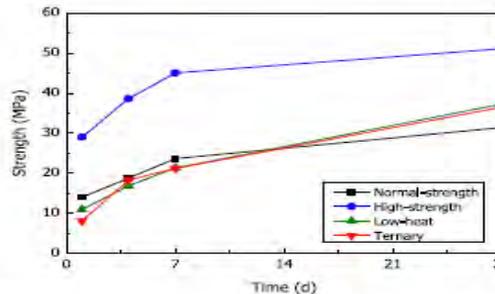


Fig. 4. Compressive strengths of concrete mixtures used in mock-up test members.

- High-Strength
- Normal-Strength
- Low-Heat
- Ternary

- High-Strength
- Normal-Strength
- Low-Heat
- Ternary

Fuente: Sang Hwa Jung 2017

Con. Masivos

USO DE MEZCLAS TERNARIAS PARA MITIGAR EL AGRIETAMIENTO TERMICO EN CONCRETOS MASIVOS:

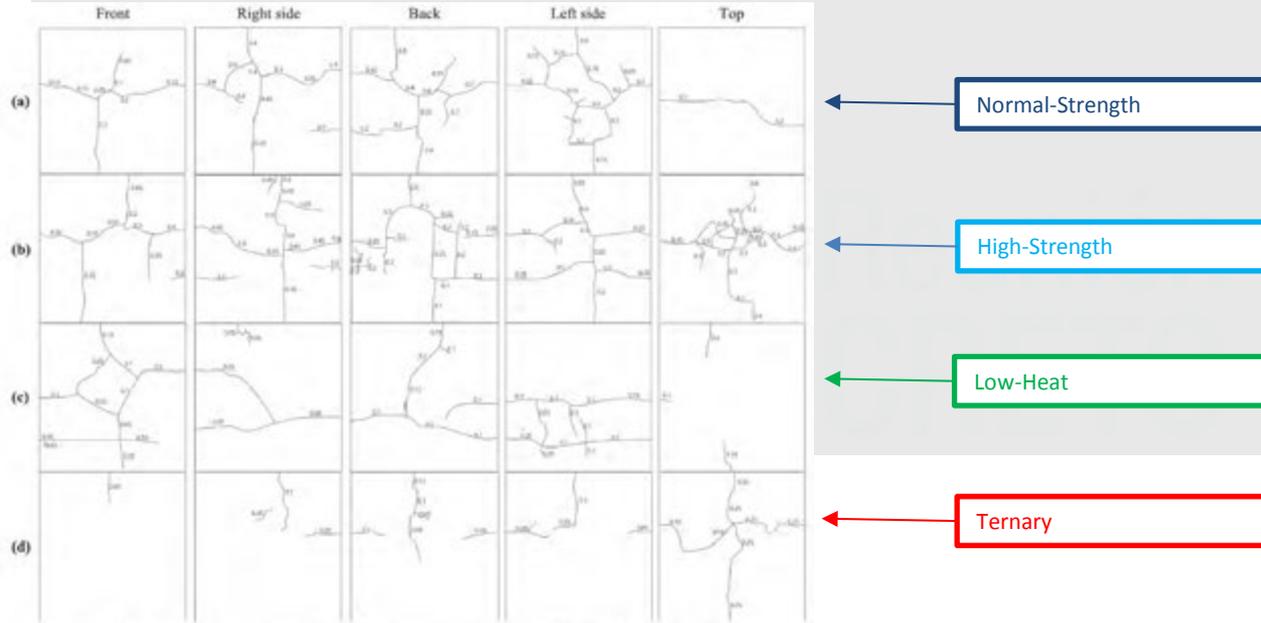


Fig. 7. Crack survey results for (a) normal-strength member, (b) high-strength member, (c) low-heat member and (d) ternary member.

Fuente: Sang Hwa Jung 2017

Nuevo Puente sobre el Rio Magdalena



Nuevo Puente sobre el Rio Magdalena

ESPECIFICACIONES TECNICAS REQUERIDAS PARA ELEMENTOS MASIVOS:

- **Elemento a fundir:** Encepado (Dado) de Cimentación de Pilotes.
- **Volumen:** 6300 m³ / dividido en 3 vaciados.
- **Dimensiones:** 35 x 35 x 6 m (Forma Piramidal).
- **Temperatura máx. de hidratación del concreto por fraguado:** 74°C.
- **Permeabilidad a Ion Cloro:** < 1500 coulomb a 90 días.

Producto especificado:

Concreto Bombeable 35 Mpa TM 1" TEMP23 +/-2 - ESCO40% - F' C90DIAS.

Nuevo Puente sobre el Rio Magdalena

EQUIPOS:

- 2 plantas de concreto: una premezcladora y una dosificadora.
- 5 autobombas, trabajando 4 de manera simultánea y quedando 1 en stand by.
- Se utilizaron 24 Mixer.
- 4 barcasas, 2 para trasladar los Mixer y 2 para las Autobombas.

PERSONAL:

Se contó con la participación de alrededor de 100 trabajadores entre directos e indirectos, distribuidos en los turnos de trabajo concertados.



Nuevo Puente sobre el Rio Magdalena



Nuevo Puente sobre el Rio Magdalena

LOGISTICA:

1. Cada barcaza transportaba 6 mixer. 12 equipos navegando a la vez.
2. Mientras que en tierra se encontraban los otros 12 equipos siendo cargados en cada una de las plantas.
3. El tiempo de navegación era de aproximadamente 16 minutos por recorrido, para un total de 32 minutos.
4. Se descargaban 2 vehículos simultáneamente por bomba para un tiempo total de 36 minutos de descargue.
5. La sumatoria de estos tiempos era de 68 minutos, tiempo en el cual ya debían estar cargados los 12 mixers que se encontraban en tierra.



Nuevo Puente sobre el Rio Magdalena

Inicio



Nuevo Puente sobre el Rio Magdalena

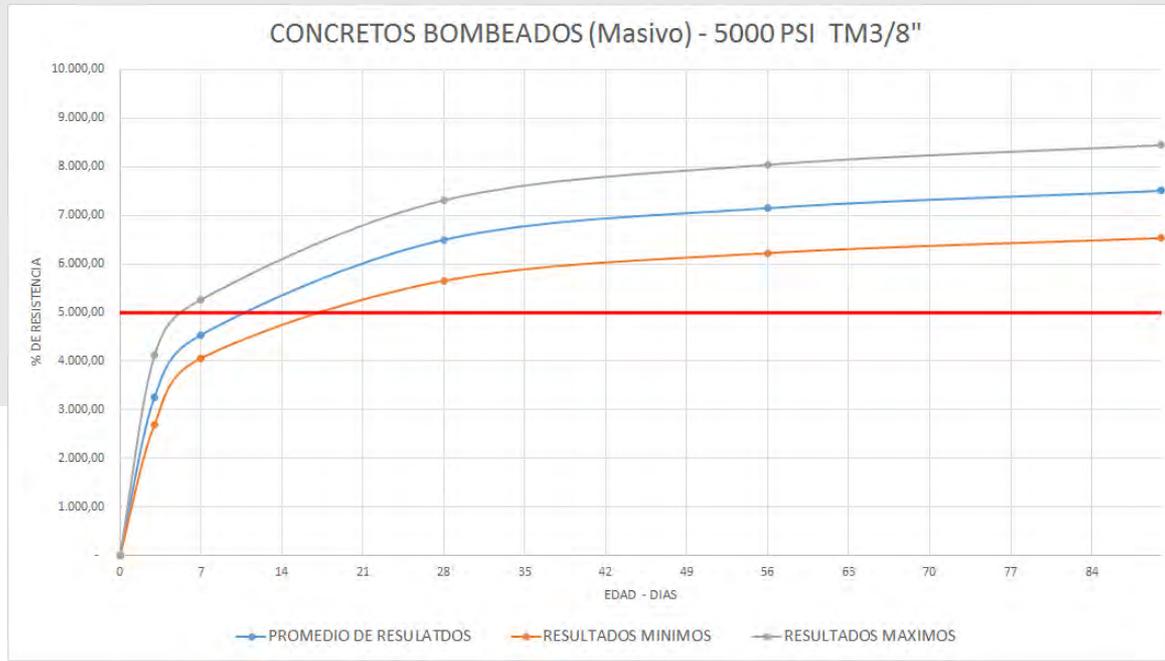
Fin



Nuevo Puente sobre el Rio Magdalena

RESULTADOS DE RESISTENCIA:

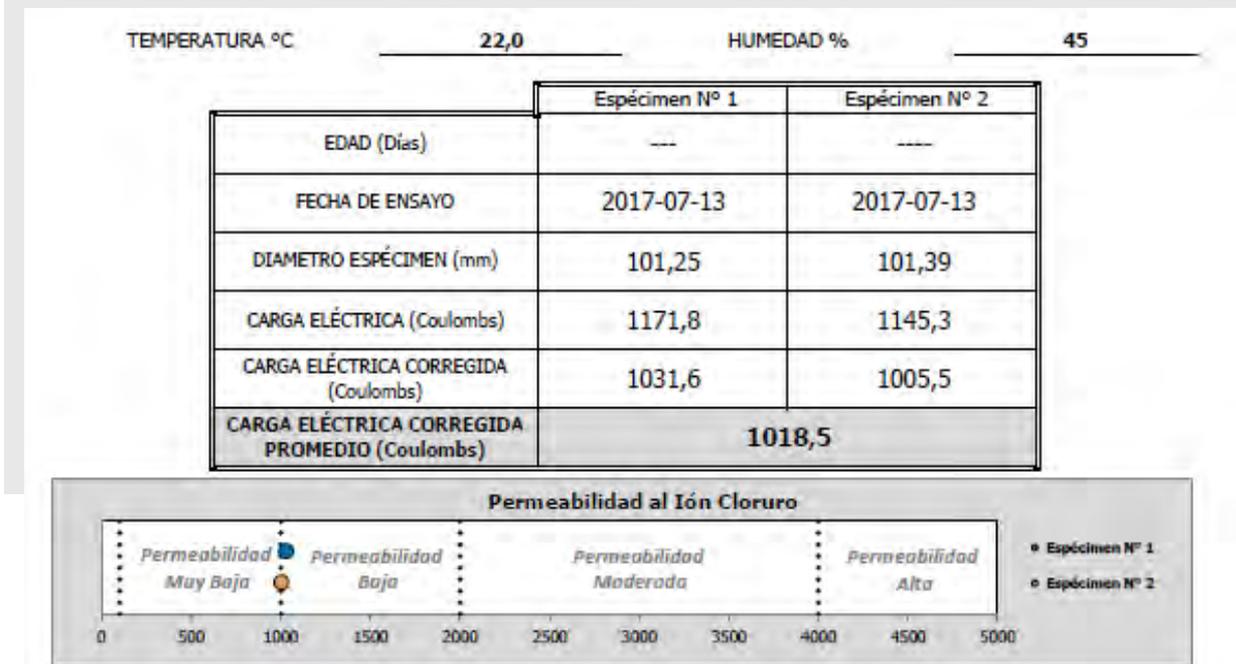
Con. Bombeable (35 Mpa) TM1" TEMP23+/-2 - ESCO40% - F' C90DIAS.



Nuevo Puente sobre el Rio Magdalena

RESULTADOS DE PERMEABILIDAD A CLORUROS:

1018.5 Coulomb a 90 Días.



CONCLUSIONES

Con. Masivos

CONCLUSIONES:

- Debemos garantizar la Durabilidad de las estructuras, controlando todos los factores que puedan afectarla o reducirla.
- En Concretos Masivos es fundamental el Control de Temperatura en el elemento, durante el vaciado y posteriormente en el curado.
- De esta manera, minimizamos la posibilidad de agrietamiento causado por la expansión térmica y posterior encogimiento al enfriarse.
- Las temperaturas sobre 190° F (88°C) pueden causar reducción en la resistencia del concreto.

BIBLIOGRAFIA:

- *ACI 211, 207,301.*
- *NTC 121, 174, 3459.*
- *Tesis “Concreto Masivo”. Luis Candelas Ramirez.*
- *MASSIVE CONCRETE PLACEMENTS. ACTS.*
- *Use of ternary blended concrete to mitigate thermal cracking in massive concrete structures. Sang Hwa Jung.*
- *Non-destructive evaluation of cracks in massive concrete using normal dc resistivity logging. E. Taillet.*
- *Early age Temperature distribution in a Massive Concrete Foundation. Bennet Kuriakose*
- *An improved composite element method for the simulation of temperature field in massive concrete. Rui Zhong*

GRACIAS!

