

**PRESAS DE HORMIGON
HCR EN ESPAÑA.
EL HORMIGON HCR Y
MEDIOS PARA SU
CONTROL**

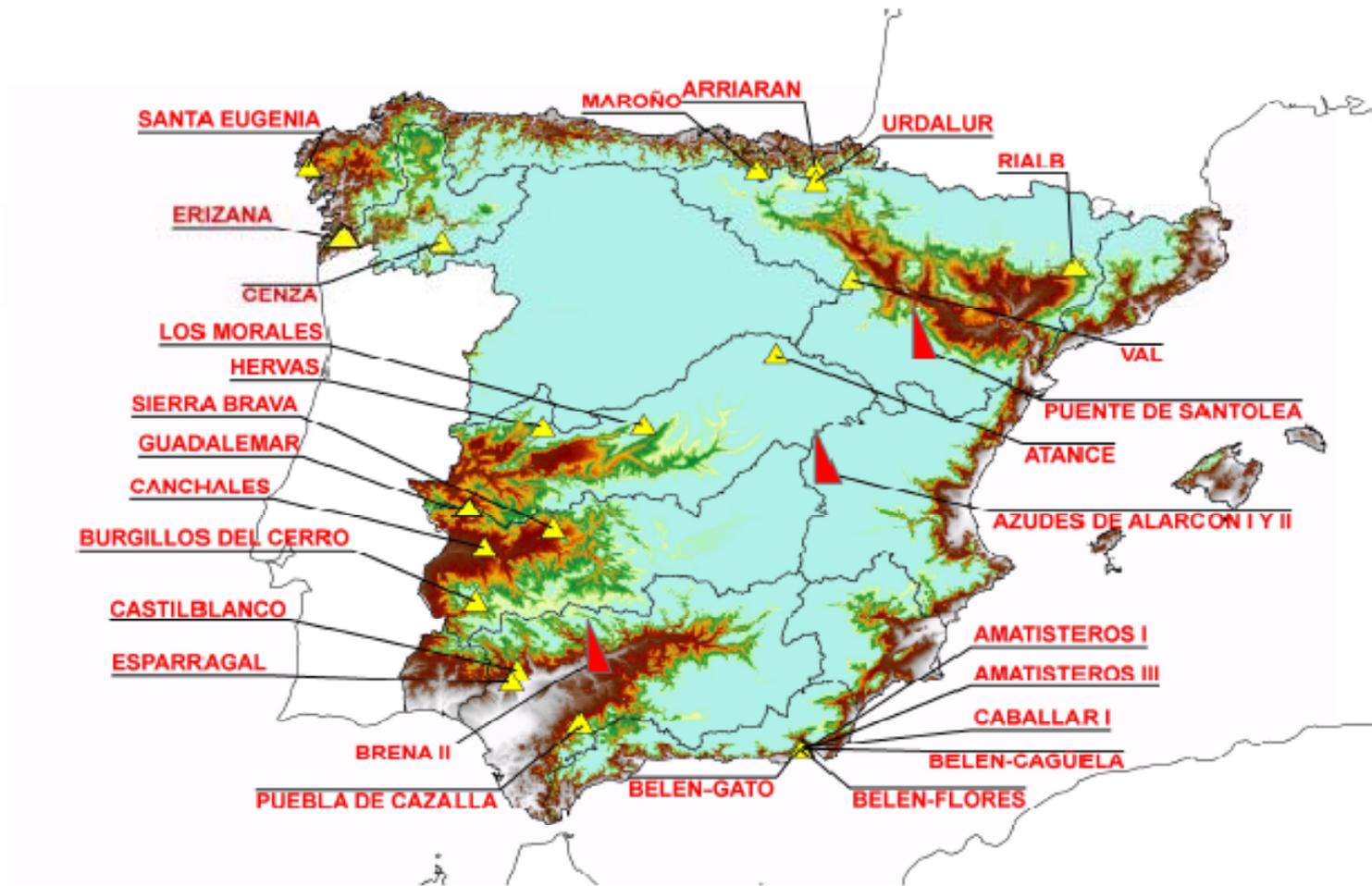
Índice

- **Presas de HCR en España. Periodos**
- **El hormigón HCR**
 - **Concepto de hormigón HCR**
 - **Cantidad de agua y finos**
 - **Las presas de Santa Eugenia y Bayona (Erizana)**
 - **Características del hormigón**
 - **Homogeneidad del hormigón**
 - **La unión entre tongadas**
- **Métodos de control de hormigones HCR**
 - **Consistencia. Dosificación de hormigones**
 - **Porosidad**
 - **Permeabilidad al oxígeno**
- **Durabilidad, Ceniza volantes y estructura porosa**



PRESAS DE HORMIGON HCR EN ESPAÑA.

Presas en España



Simposium RCC (2008). IBRACON.
Salvador

Presas Notables en España

Presas de HCR notables.				
Presas.	Año.	Altura (m)	Longitud (m)	Volumen (m3)
Erizana.	1985	12	115	9.700
Santa Eugenia	1988	83	280	225.000
Arriarán.	1993	58	206	110.000
Cenza	1993	49	640	215.000
Guadalemar.	1994	13	400	50.000
Puebla de Cazalla.	1994	71	220	205.000
Sierra Brava.	1995	53	800	277.000
Val.	1998	90	400	620.000
Rialb.	1999	101	600	1.100.000
La Breña II	Constr.	119	662	1.400.000

Los valores de los volúmenes corresponden a los de HCR

Periodos:

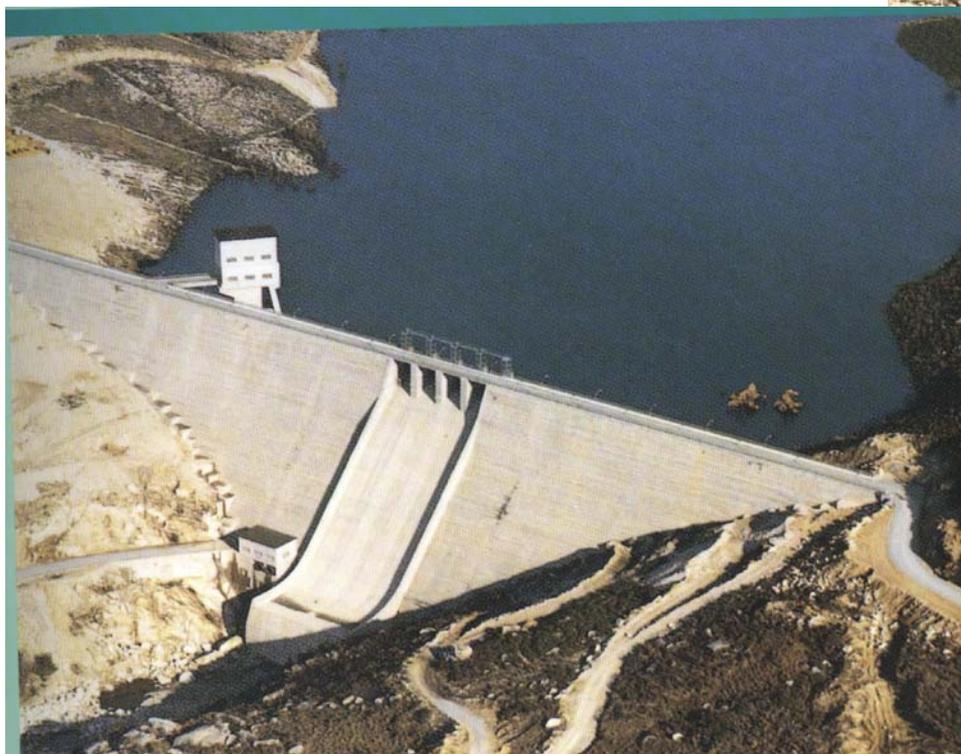
- Primer periodo (1984- 1988)
- Segundo periodo (1988-1995)
- Tercer periodo (1995-2008)

Características presas HCR en España:

- 25 presas y 1 en construcción
- En todas la presas, excepto la del Val, el hormigón HCR cumple las misiones de resistencia e impermeabilidad, es decir no disponen de pantallas de impermeabilidad.
- En general, la distancia entre juntas funcionales es variable, alta (> 50 m) en las primera épocas y menores en la tercera.
- Entre subtongadas no se extiende mortero de unión.

Presas Notables en España (1984-1988)

Dique lateral de la **presa de Erizana** (1984), primera vez que se utilizó el HCR. Altura de 12 m, 115 m de longitud de coronación y volumen de HCR de 9.700 m³, 83% del total.



La **presa de Santa Eugenia** (1988) tiene 85 m de altura, 304 de longitud en coronación y un volumen de hormigón HCR de 225.000 m³, 90% del total.

Presas Notables en España (1988-1995)



Presa de Arriaran (1993): En el país vasco, con alta densidad de población y opinión pública muy activa

Presa de Cenza (1993): Zona de alta montaña con posibilidad de construcción solo en épocas benignas (5 meses)

Presa de Puebla de Cazalla (1994): Primera presa en el mundo con paramento vertiente escalonado de hormigón de HCR

Presas Notables en España (1988-1995)

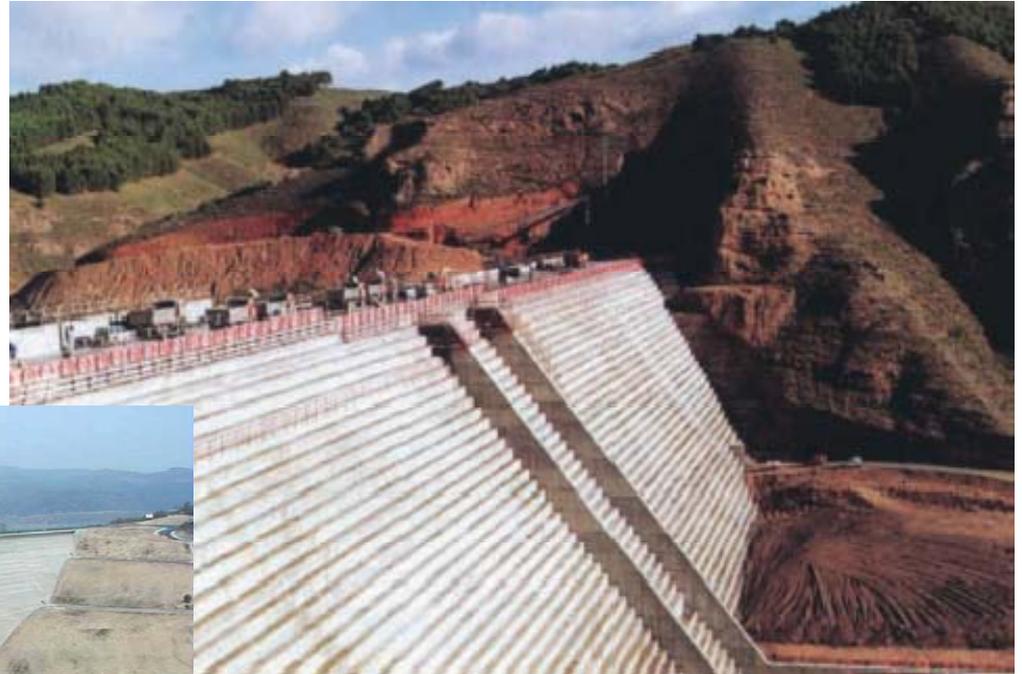
Presa de Guadalemar (1994):
Situada en la cola del embalse de La Serena, presa sumergible y sin juntas transversales.



La presa Sierra Brava (1995):
Paramentos conformados con bordilladora

Presas Notables en España (1995-2008)

Presa del Val (1998): Única presa con muro pantalla.



La presa de Rialb (2000): Mayor presa construida en España. Cimentación difícil. Primera presa construida con el uso integral de cintas ROTEC.

Presas Notables en España (1995-2008). En construcción



La presa de la Breña II: 119 m de altura y un volumen 1.400.000 m³ de hormigón HCR. Se está construyendo a unos 100 m aguas abajo de la actual presa de la Breña I. Bloques (26) de entre 15-30 m.

Características generales de los hormigones HCR en España

- Los áridos utilizados son de idéntica calidad a los utilizados en hormigón convencional.
- Las puzolanas son cenizas volantes silicoaluminosas.
- Lo habitual es la mezcla de cemento y cenizas en obra, si bien se observa una cierta tendencia al uso del conglomerante de fábrica - cemento tipo V-.
- El tamaño máximo es en general de 60-80 mm a excepción de los casos de las presas de Bayona (Erizana) y de Santa Eugenia en que fue de 100 mm. En los últimos años se observa una tendencia a su reducción.
 - En caso de utilizarse HCR en paramentos, el tamaño máximo es en general de 40 mm.
- El número de fracciones utilizadas es de 5 ó 6, siguiendo un esquema parecido al de las dosificaciones de los hormigones convencionales.
- La cantidad de conglomerante (cemento + cenizas volantes) es del orden 200 kg/m³.
- Ausencia generalizada de aditivos. Tan sólo, y en algunos casos, se ha utilizado aditivos retardadores y reductores de agua.
- La dosificación se realiza utilizando métodos que se basan en la tecnología del hormigón.



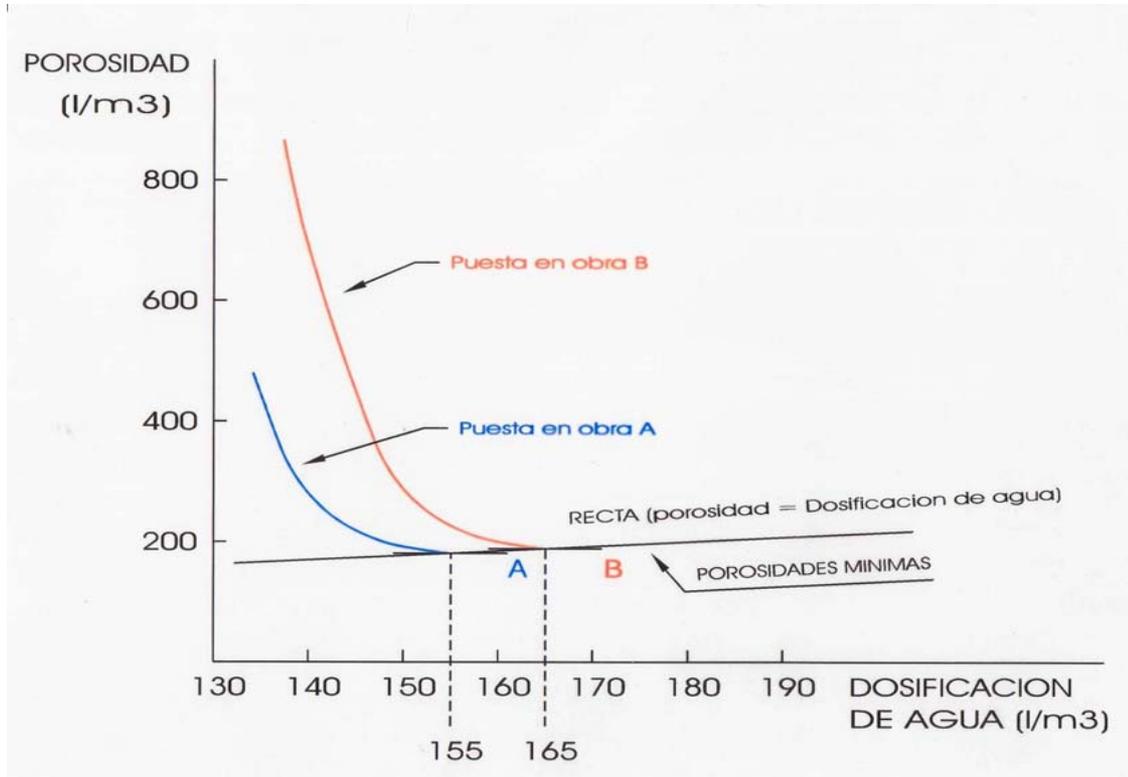
EL HORMIGON HCR.

El hormigón HCR

- El hormigón HCR y el denominado hormigón convencional son materiales porosos, cohesivos y dinámicos en su relación con el medio ambiente y tienen en común todos los conceptos de carácter intrínseco.
- No existen hormigones ricos o pobres en pasta, lo que existen son hormigones bien y mal dosificados. Es un grave error establecer distinciones en los hormigones.
- Un hormigón HCR bien dosificado es aquel que, para una granulometría dada, tiene una cantidad de finos -cemento+ceniza volante (puzolana)+**finos añadidos** - < tamiz 200 serie ASTM – y de agua -aditivos- que hacen que:
 - la porosidad después de su puesta en obra sea mínima - **función de relleno** -.
 - Conformidad la puesta en obra y con el comportamiento del hormigón en estado fresco.
 - el hormigón endurecido tenga las características físicas - durabilidad - y mecánicas exigidas - **función de ligante** -.

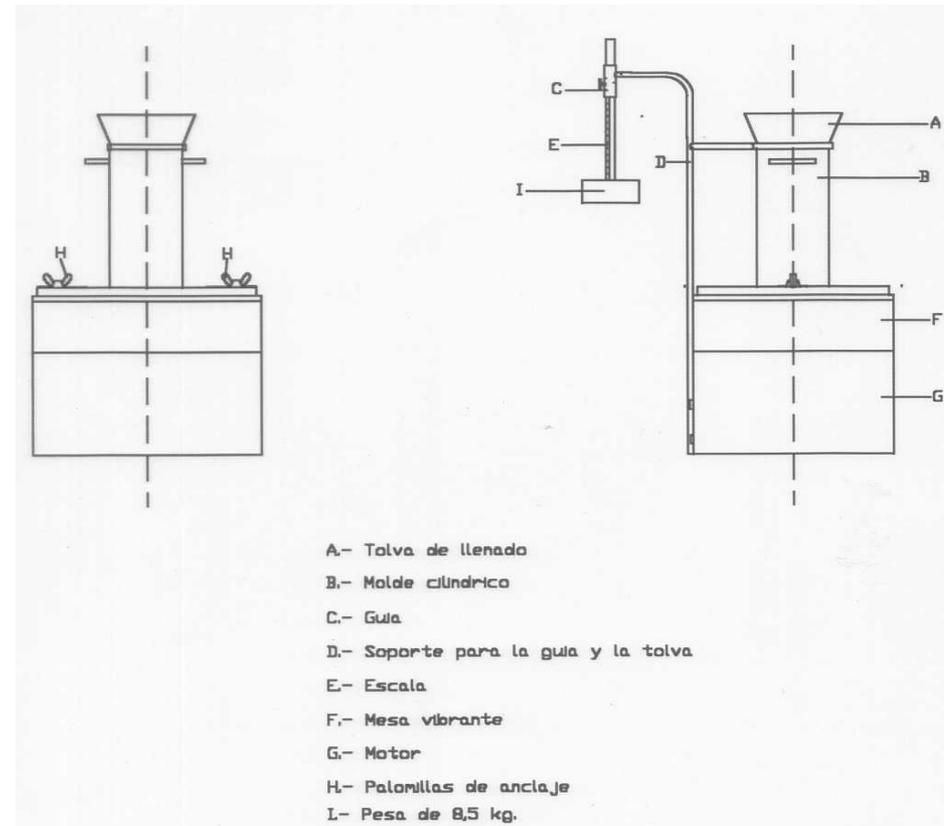
El hormigón HCR. Cantidad de agua (lado húmedo)

- Una curva granulometría, una cantidad de finos y se varía la cantidad de agua.
- Se compacta el hormigón con dos puestas en obra y se determina la porosidad: puesta en obra A (enérgica) y puesta en obra B (mas liviana).
- En todo hormigón, y para cualquier tipo de puesta en obra, si se varía su contenido de agua, a partir de una cantidad de agua la porosidad inicial no depende de la puesta en obra y su incremento es el agua añadida en demasía sobre la optima.
- Los hormigones HCR se deben diseñar por el lado húmedo. Es decir, **lo importante es definir un nivel máximo de consistencia y no sobrepasarlo.**
 - La garantía de obtener un hormigón aceptable es mucho mayor frente a cualquier contingencia de puesta en obra.
 - Los hormigones son más segregables cuanto menor es la cantidad de agua.



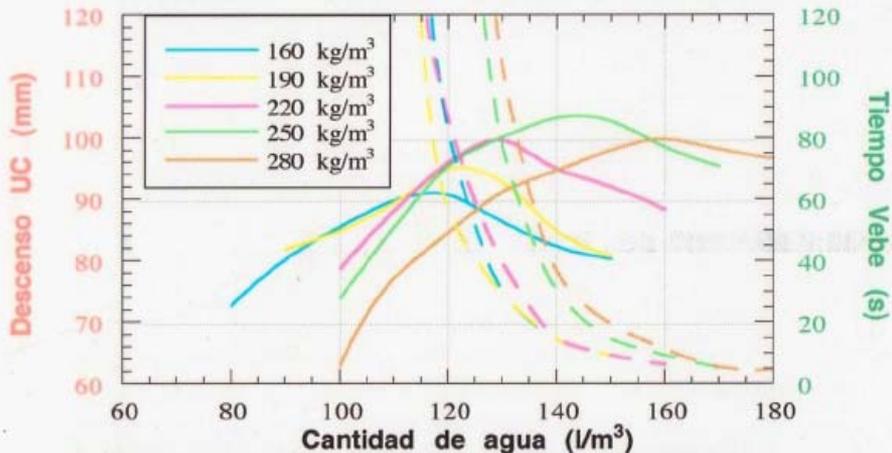
El hormigón HCR. Cantidad de pasta - agua y finos -

- El ensayo de consistencia UC de basa en someter a una muestra de hormigón en estado fresco, la que entra en una probeta de 15x30 cm, a un tiempo fijo - 30 segundos - de vibración con un peso de 8,5 kg encima, con la mesa de utilizada en la determinación de la consistencia Vebe, y medir el asiento que se genera.
- Permite obtener, para unos determinados áridos gruesos, arena, cemento y puzolanas, la cantidad óptima (zona o rango) de pasta -finos y agua-



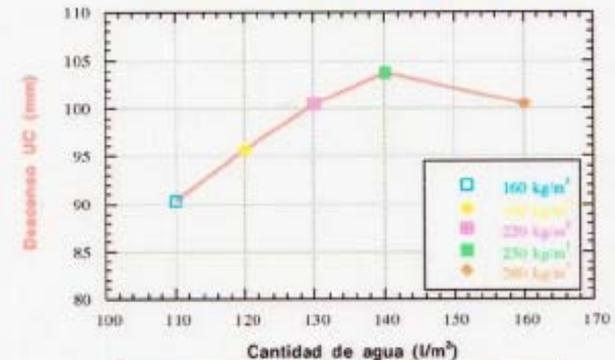
El hormigón HCR. Cantidad de pasta - agua y finos -

TIEMPO VEBE - DESCENSO UC
VARIACION CONGLOMERANTE Y AGUA



Conglomerante (kg/m ³)	160	190	220	250	280
Descenso máximo (mm)	90.5	95.7	100.5	103.8	100.5
Tiempo Vebe (s)	80	50	40	20	10

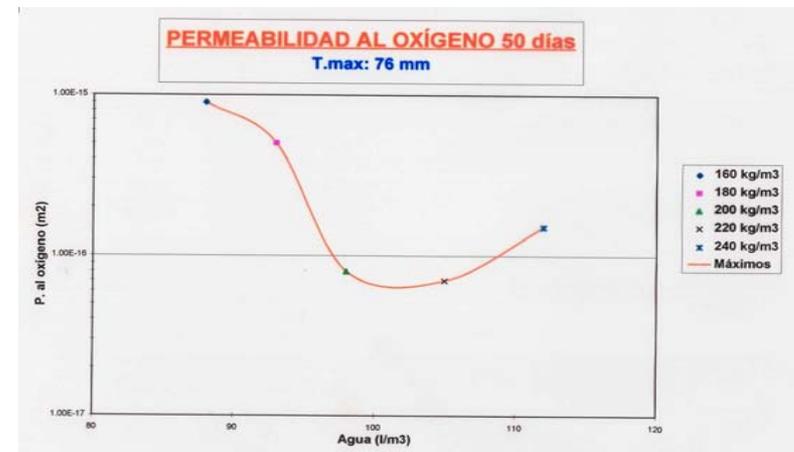
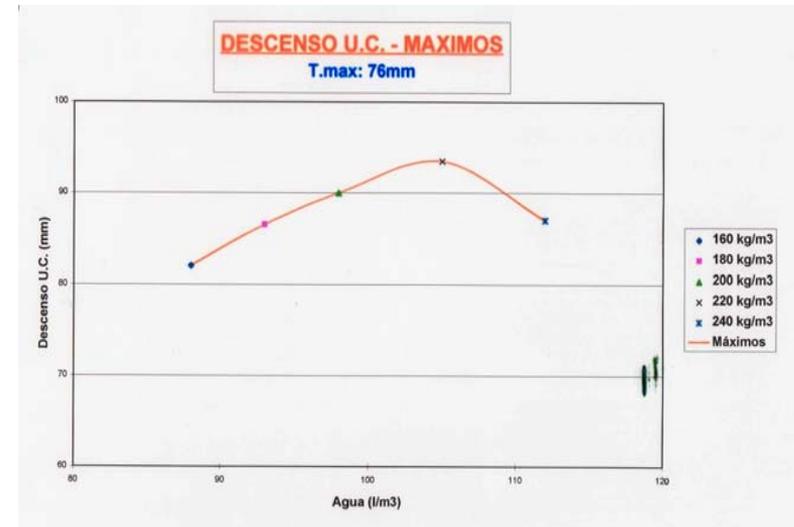
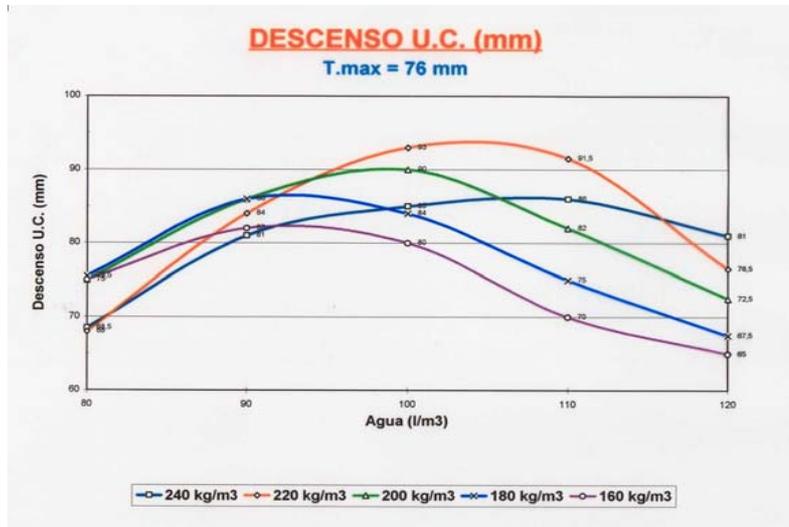
ENVOLVENTE DE MAXIMOS



Conglomerante (kg/m ³)	160	190	220	250	280
Descenso UC (mm)	90.3	95.7	100.5	103.8	100.5
Cantidad de agua (l/m ³)	110	120	130	140	160

Conglomerante (kg/m ³) [Agua (l/m ³)]	Resistencia compresión (kg/cm ²)			D ₅₅₅ (t/m ³)	Porosidad (%)		Permeabilidad al agua * 10 ⁻¹¹ (m/s)		Permeabilidad al oxígeno * 10 ⁻¹⁷ (m ²)	
	7 días	28 días	90 días		28 días	90 días	28 días	90 días	28 días	90 días
160 [110]	108.7	139.0	222.8	2.398	7.92	5.94	3.62	3.98	3.62	2.43
190 [120]	109.4	139.0	270.0	2.435	6.29	5.16	1.89	1.97	2.09	1.20
220 [130]	127.4	206.7	275.8	2.425	6.81	6.29	3.21	2.65	2.28	1.78
250 [140]	183.5	245.4	341.4	2.435	5.33	5.16	3.61	3.13	1.25	1.07
280 [160]	198.6	281.6	318.0	2.415	5.25	5.03	1.77	1.36	1.52	1.23

Dosificación Presa de Rialb



Presas de Bayona y Santa Eugenia. Hormigones HCR

Dosificación Erizana y Santa Eugenia.			
ERIZANA	H.C.R.	S. EUGENIA	HCR
Áridos.		Áridos.	
100/50	560	100/70	520
50/20	570	70/30	540
20/6	538	30/15	385
		15/5	385
6/0	532	5/0	430
Cemento.		Cemento.	
PA-350	90	PA-350	125
C. Volantes.	90	C. Volantes.	90
Agua.	100	Agua.	100

Testigos extraídos a los 2 años	Densidad Seca t/m3	Porosidad Hormigón %	Porosidad mortero %	P. Oxígeno (m2)x10-16	P. Agua (m/s) x10-10	R. tracción Kg/cm2	Resistencia compresión Kg/cm2	Modulo Elasticidad Kg/cm2
Erizana	2,21	12,8	18,38	8,9	4,00	16,5	151,7	118,2
Santa Eugenia	2,38	6,6	14,48	1,30	3,80	32,4	348,9	216,3

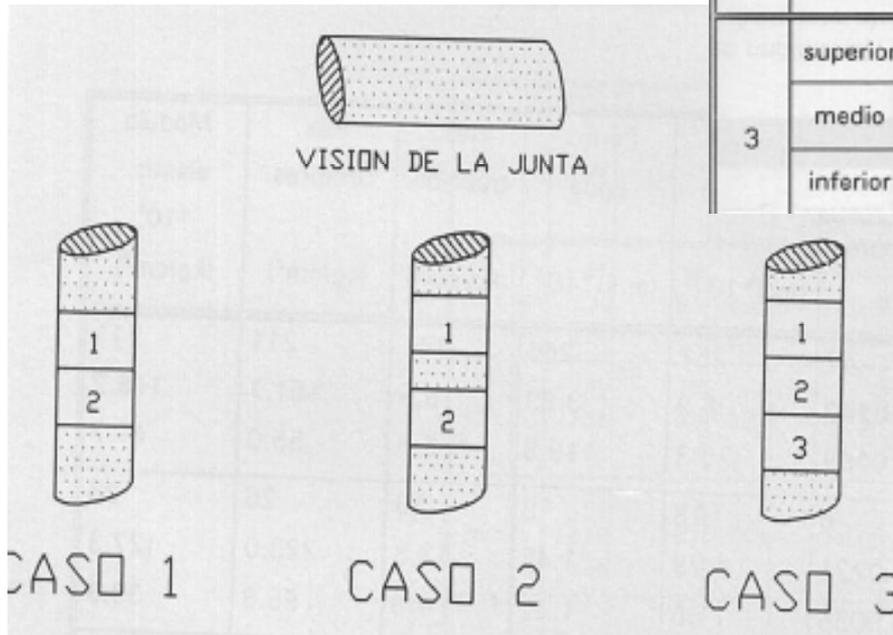
Presas de Bayona y Santa Eugenia.

Compactación subtongadas. Heterogeneidad inducida

Testigos extraídos a los 2 años

TABLA 7

Caso N°		Porosidad	K_{agua}	$K_{\text{coágulo}}$	D_{seca}	$T_{\text{brasilero}}$
1	superior	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	inferior	100.36	181.88	307.28	99.55	97.82
2	superior	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	inferior	109.60	1003.77	831.98	98.29	88.55
3	superior	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	medio	113.44	546.97	224.86	98.91	92.03
	inferior	120.51	584.53	839.77	98.36	65.12

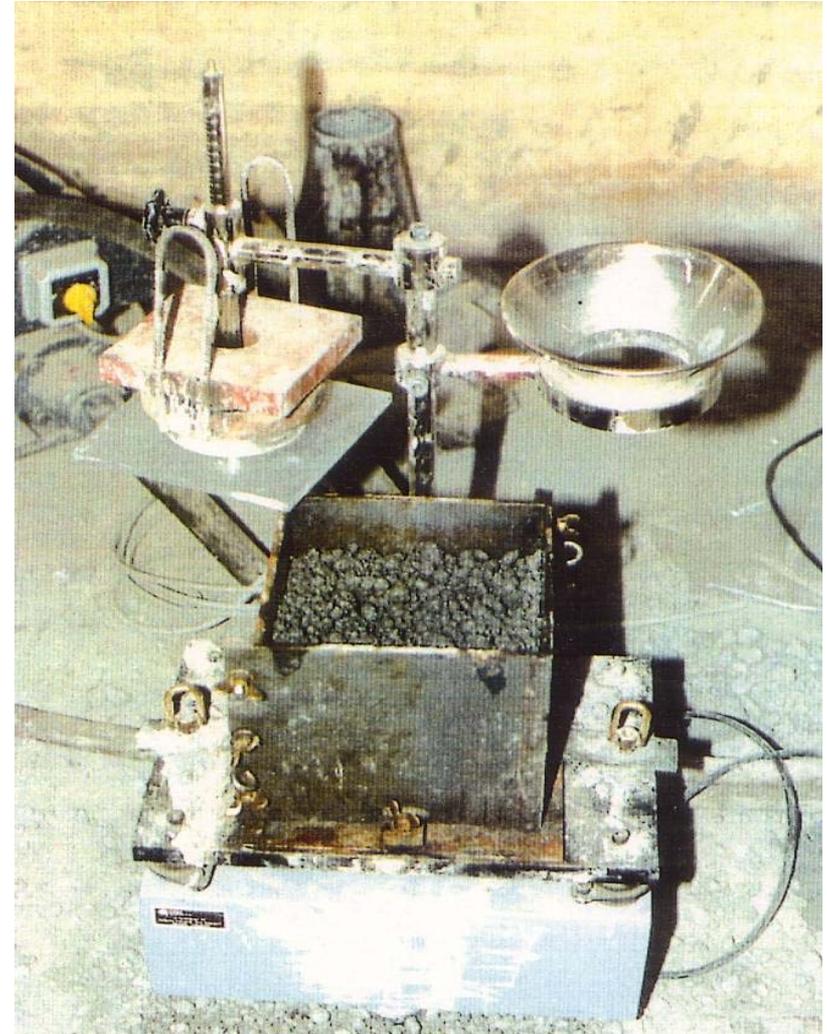


Para obtener un hormigón y una fábrica impermeable, densa, duradera y resistente de HCR, se deben emplear una adecuada dosificaciones de finos y tiempos VeBe reducidos - del orden de 10-15 segundos -, es decir por el lado húmedo. Lo importantes es definir un nivel máximo de consistencias y no sobrepasarlo.

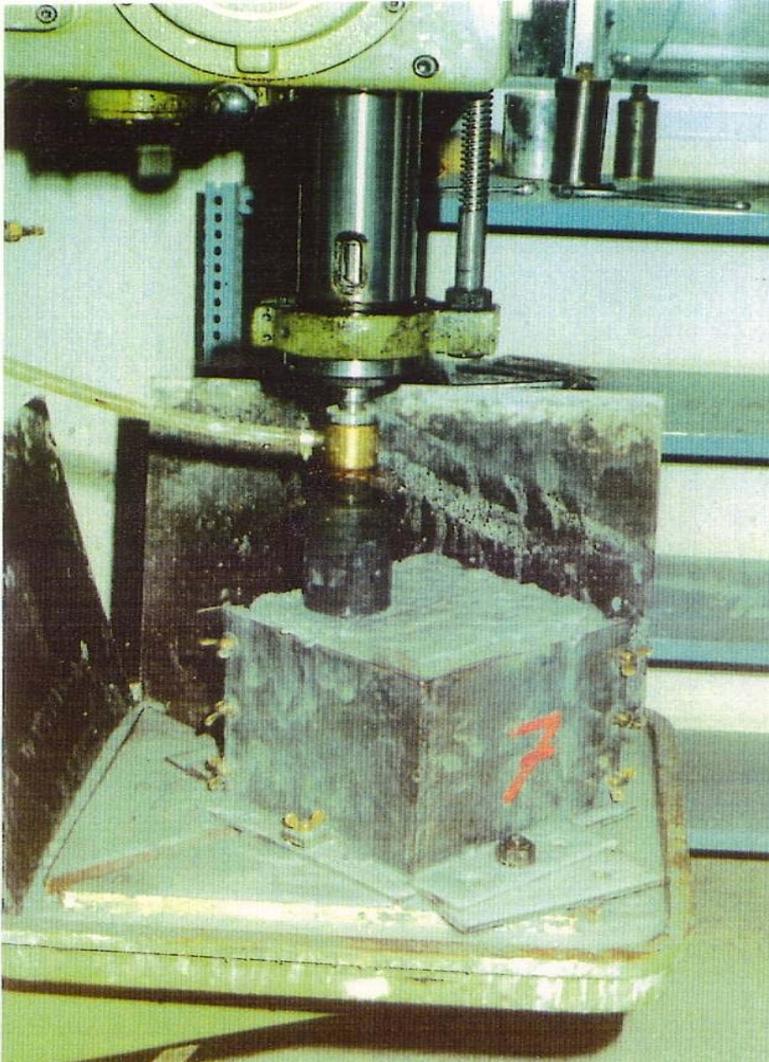
Unión entre tongadas o subtongadas

- Este es un tema sometido artificialmente a debate
- De acuerdo con los condicionantes funcionales y estructurales hay que definir que tipo de unión se requiere -resistencia y permeabilidad-.
- La unión entre tongadas o subtongadas depende de:
 - de que se realice ó no algún tipo de tratamiento.
 - características y composición de la pasta.
 - cantidad de pasta.
 - composición del hormigón y su comportamiento en estado fresco.
 - tiempo entre subtongadas.
 - estado medio ambiental hasta que se recubra la superficie.
 - mantenimiento de la tongada.
 - compactación y puesta en obra en general.
 - etc.

Unión entre tongadas o subtongadas



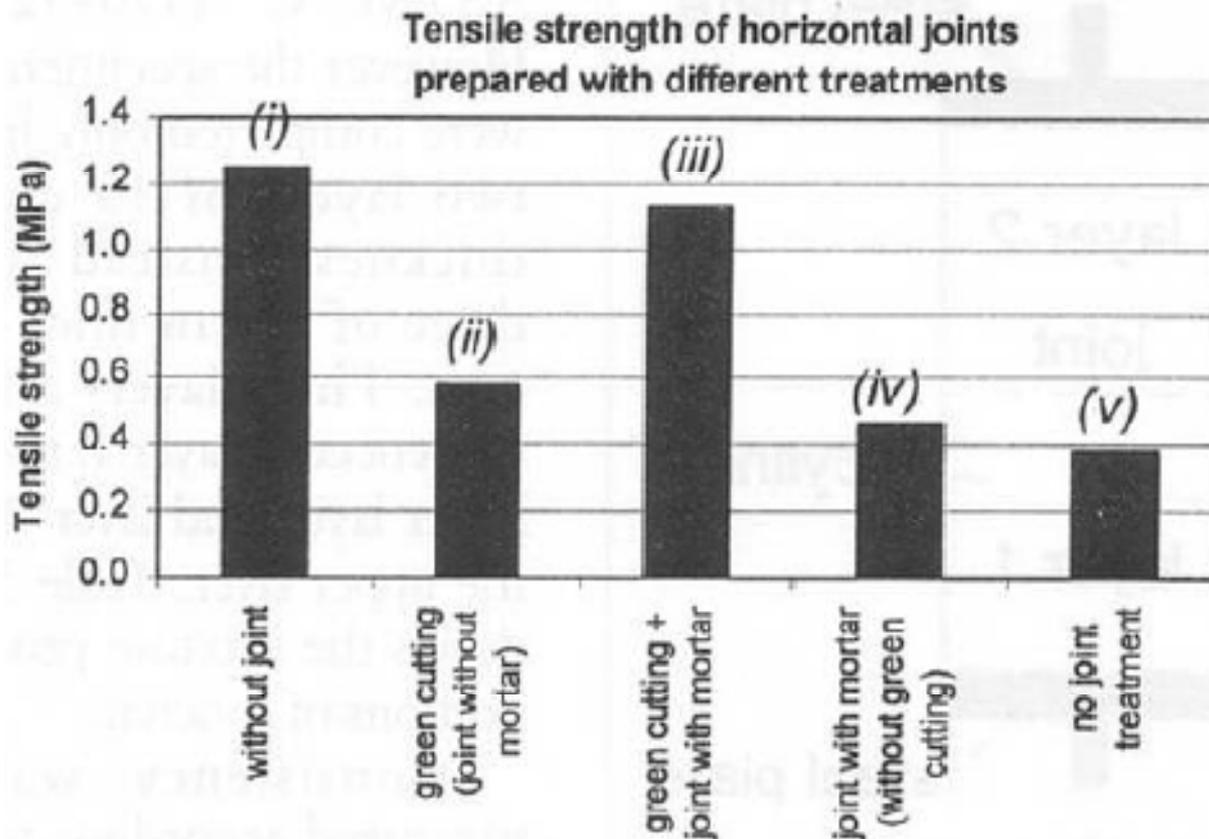
Unión entre tongadas o subtongadas



Simposium RCC (2008). IBRACON.
Salvador

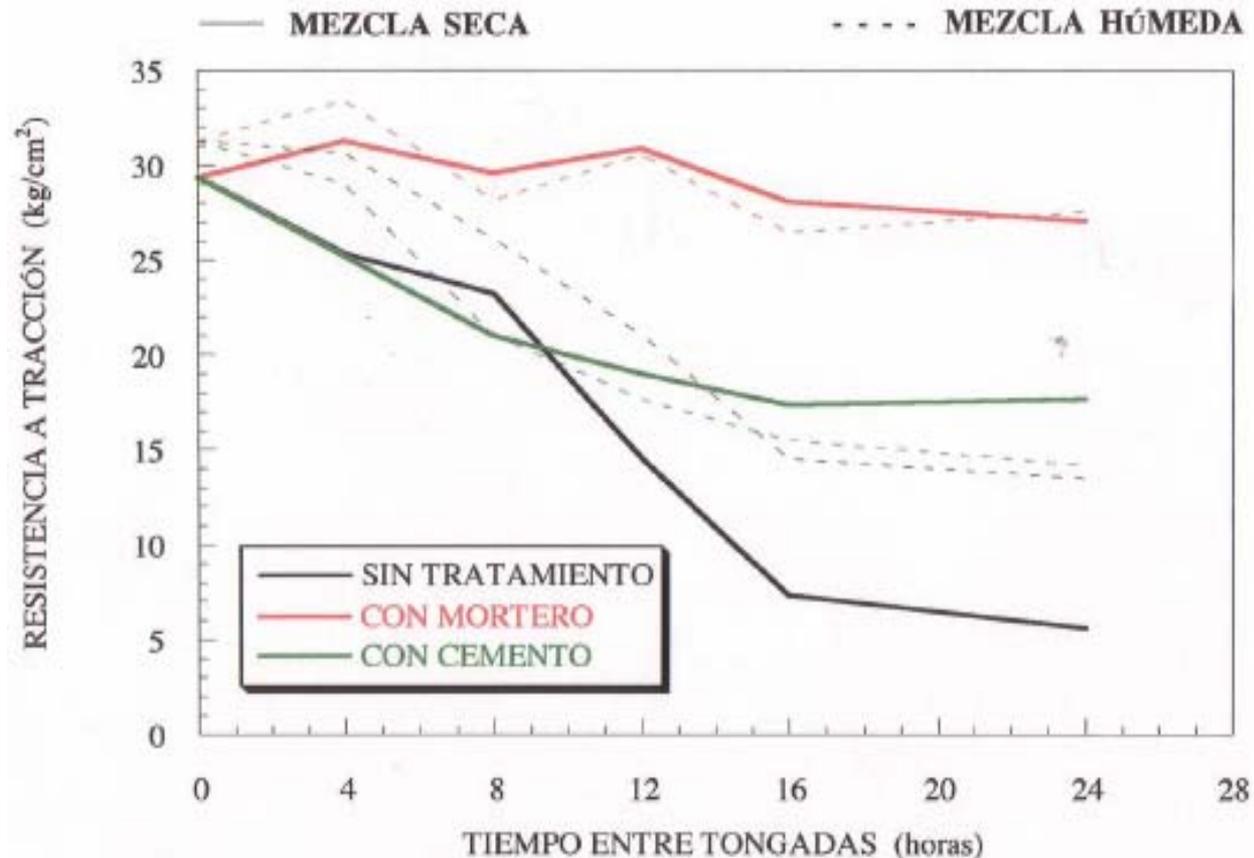
Unión entre tongadas. Tipo de tratamiento

Resistencia tracción a temperatura 20°, edad 28 días, 72 horas
espaciamiento entre tongadas y distintos tipos de tratamiento

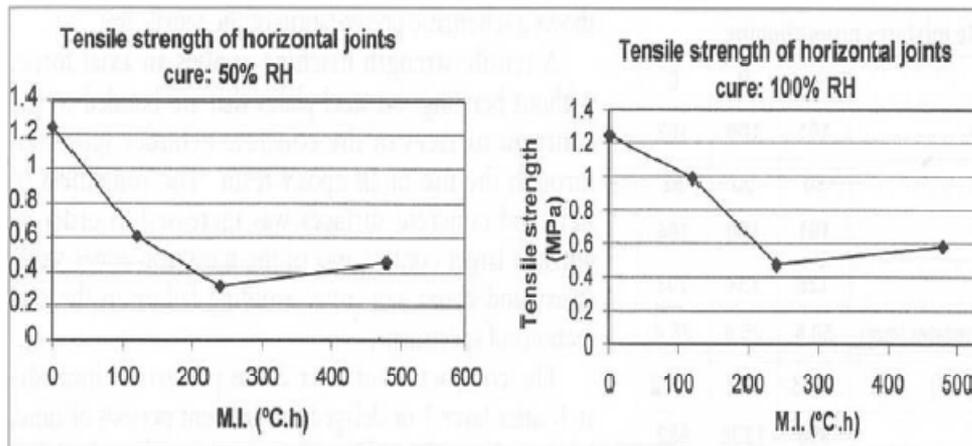


Unión entre tongadas. Madurez, consistencia y tipo de tratamiento

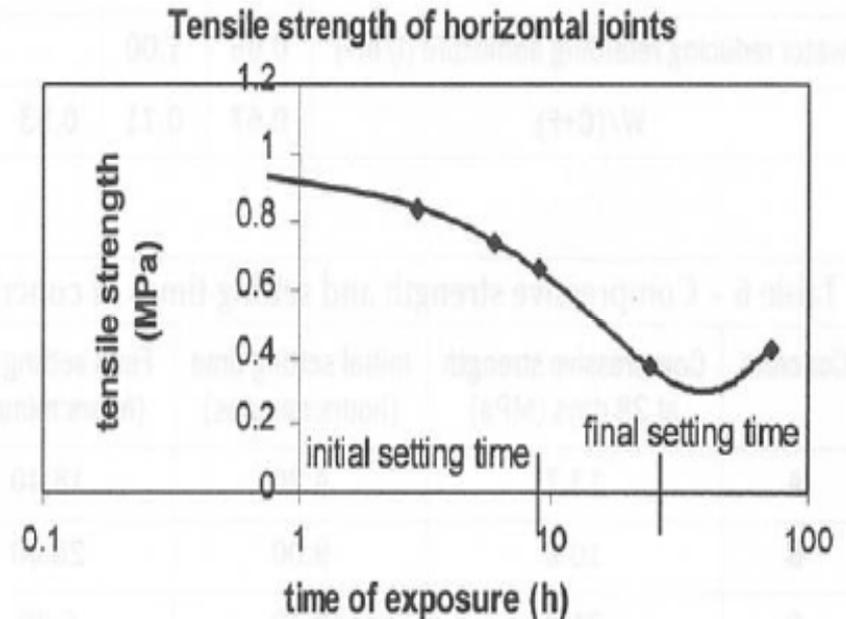
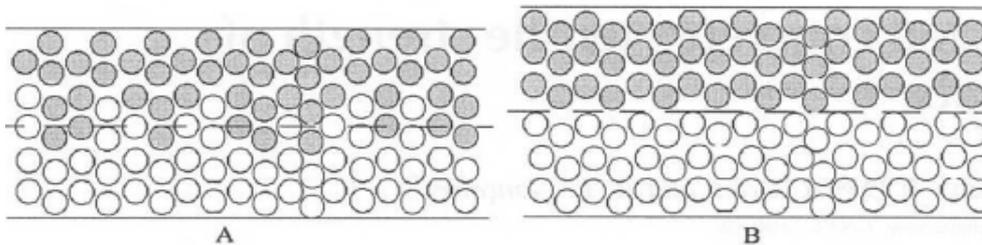
Resistencia tracción - temperatura 20°, 180 días y humedad ambiental 100%-



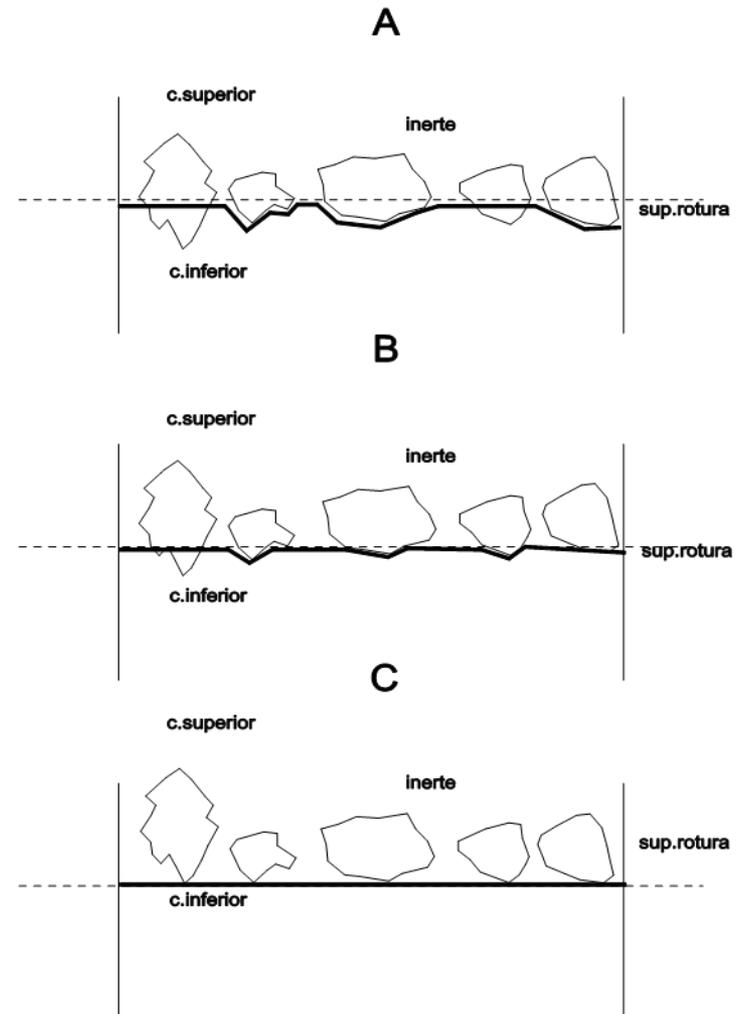
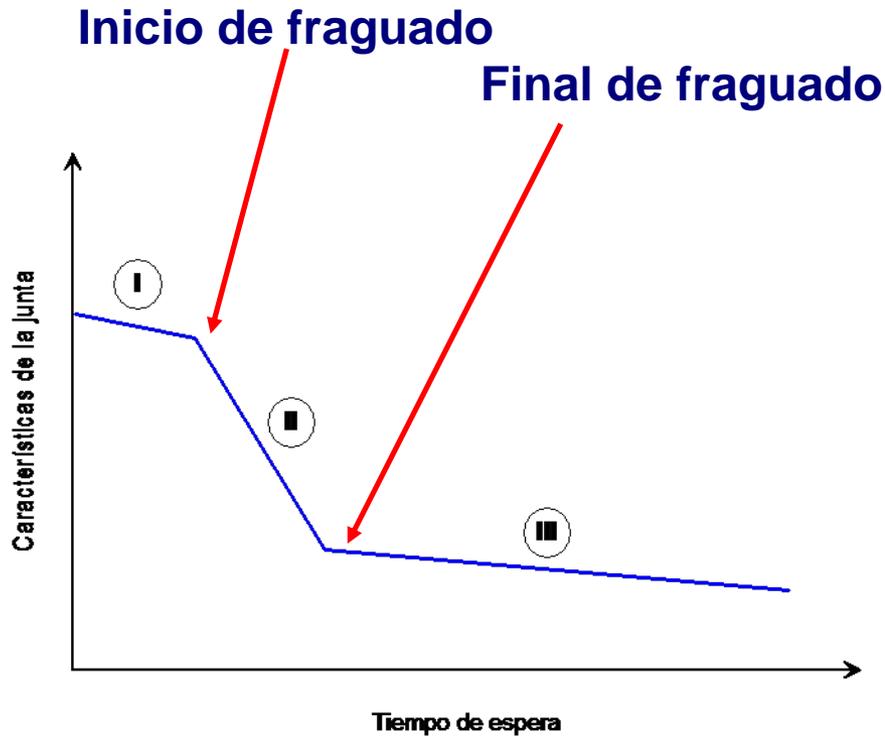
Unión entre tongadas. Madurez, consistencia y grado hidrométrico. Sin tratamiento ninguno



Resistencia a tracción de juntas a 20°, 28 días y humedades ambientales del 50 y 100 %
Norma principio y fin de fraguado ASTM C403/C403M-97



Modelo de comportamiento unión de subtongadas. Sin tratamiento.

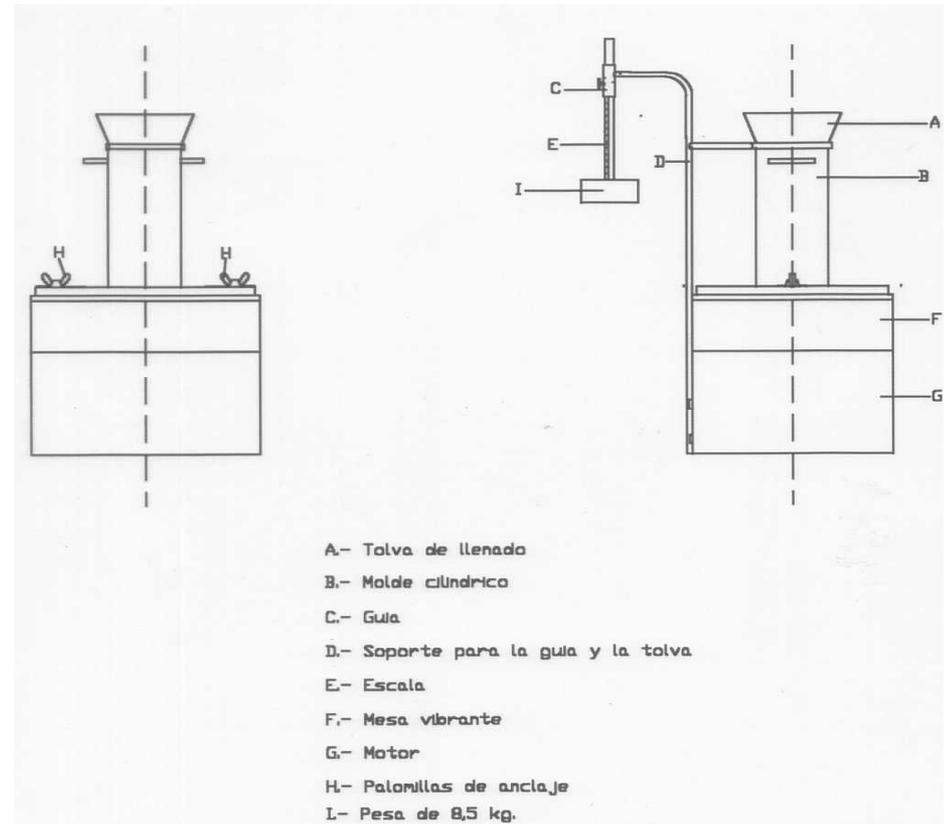
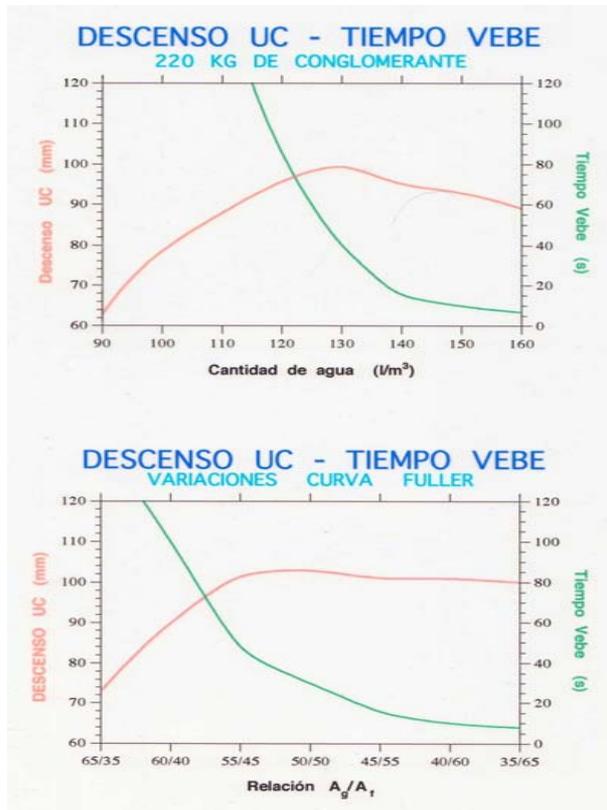




MEDIOS DE CONTROL DEL HORMIGON HCR.

Control de consistencias. Consistencia UC

- Se introduce el hormigón en una probeta de 15x30 cm.
- Se somete a 30 s de vibración con un peso de 8,5 kg encima en la mesa vibratoria del consistometro Vebe.
- Se mide el asiento que se genera.



Porosidad abierta. Procedimiento operativo.

Basado en Norma RILEM CPC 11.3

■ **Determinación del peso seco**

- Las muestras se introducen en estufa ventilada a 105 +/- 5° C hasta peso constante, (Ps). Este peso se determina inmediatamente después de enfriar las probetas a una temperatura de 20 +/- 3°.

■ **Aplicación del vacío a la muestra**

- La muestra se coloca en un recipiente hermético capaz de soportar la depresión originada por la bomba de vacío. A continuación, se pone en funcionamiento la bomba, de forma que la presión dentro del recipiente se sitúe por debajo de un valor absoluto de 0,01 kN/m². **El vacío se mantiene 3 horas.**

■ **Inmersión de la muestra en agua, bajo vacío**

- Se introduce agua destilada y desaireada dentro del recipiente que contiene las muestras, manteniendo durante la operación el nivel de vacío. La cantidad de agua debe ser suficiente para que las muestras queden sumergidas, cubriéndolas totalmente con, al menos, 20 mm de agua. **El vacío se mantiene durante 3 horas.**

■ **Determinación del peso saturado**

- Se eleva la presión en el recipiente hasta alcanzar la atmosférica. **Transcurridas 3 horas**, se extraen las muestras, se seca su superficie para eliminar el exceso de agua, se depositan en la balanza y se obtiene su peso saturado superficie seca (Psss).

■ **Determinación del volumen de la muestra**

- Mediante una balanza hidrostática, se calcula el volumen de agua que desaloja la muestra y se obtiene el volumen aparente (Pw)

■ **$P (\%) = ((P_{sss}-P_s) / (P_{sss}-P_w)) \times 100$ (9 horas de ensayo con la muestra seca)**

Porosidad abierta.



Simposium RCC (2008). IBRACON.
Salvador

Permeabilidad al oxígeno. Procedimiento operativo.

Basado en Norma ASTM C-577-68 para la obtención de la permeabilidad de refractarios.

- La muestra se seca en estufa (105 +/- 5° C) y se enfría hasta temperatura ambiente.
- Se recubre lateralmente con una fina película de silicona.
- Se introduce la muestra en el caucho, se coloca entre los dos anillos metálicos y se aproximan ambos elementos mediante la acción de un gato hidráulico.
- Se aplica un flujo de oxígeno a una de las caras de la muestra mediante una bombona provista de manorreductor. El flujo se estabiliza al cabo de 15 minutos.
- El caudal de oxígeno que atraviesa la probeta se conduce hacia unos caudalímetros de pompa de jabón.
- Se realizan 5 determinaciones y se comprueba la repetitividad de resultados.
- Se calcula la permeabilidad a gases con la fórmula general de Darcy aplicada a fluidos compresibles, que particularizada al oxígeno ($q = 2,02 \times 10^{-5} \text{ N x s/m}^2$) y con una presión de salida (P1) igual a la presión atmosférica, se transforma en:

$$K_{ox} = (4,04 \times 10^{-10} \times R \times L) / (A \times ((P_2)^2 - 1)) \quad (\text{minutos con la muestra seca y silicona})$$

donde:

K_{ox} , = Permeabilidad intrínseca (m²).

R = Caudal de oxígeno medido a la salida de la célula (m³/s).

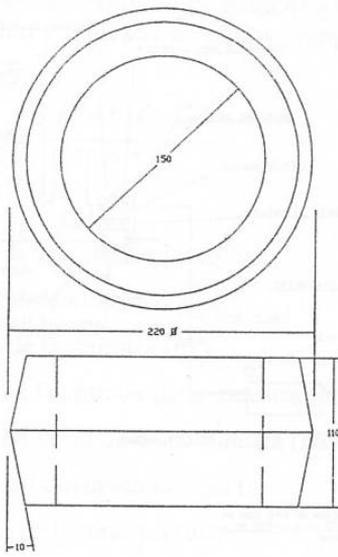
L = Longitud de la muestra (m).

A = Sección transversal de la muestra (m²).

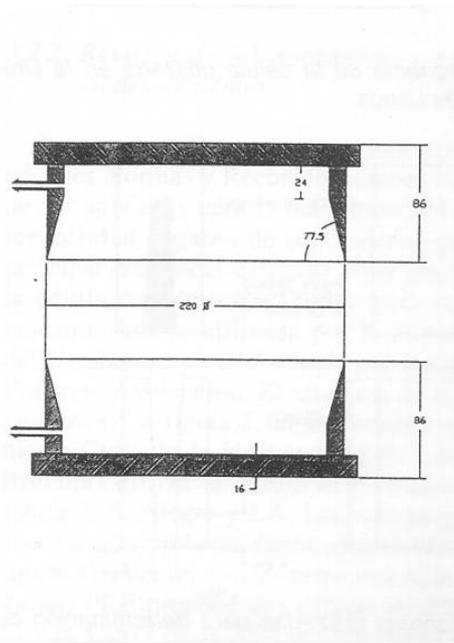
P₂ = Presión absoluta en la entrada de la célula (bar).

La presión del oxígeno en la cara superior de la muestra para establecer el flujo depende de la permeabilidad de la muestra y varía entre 0,5 y 2 bars.

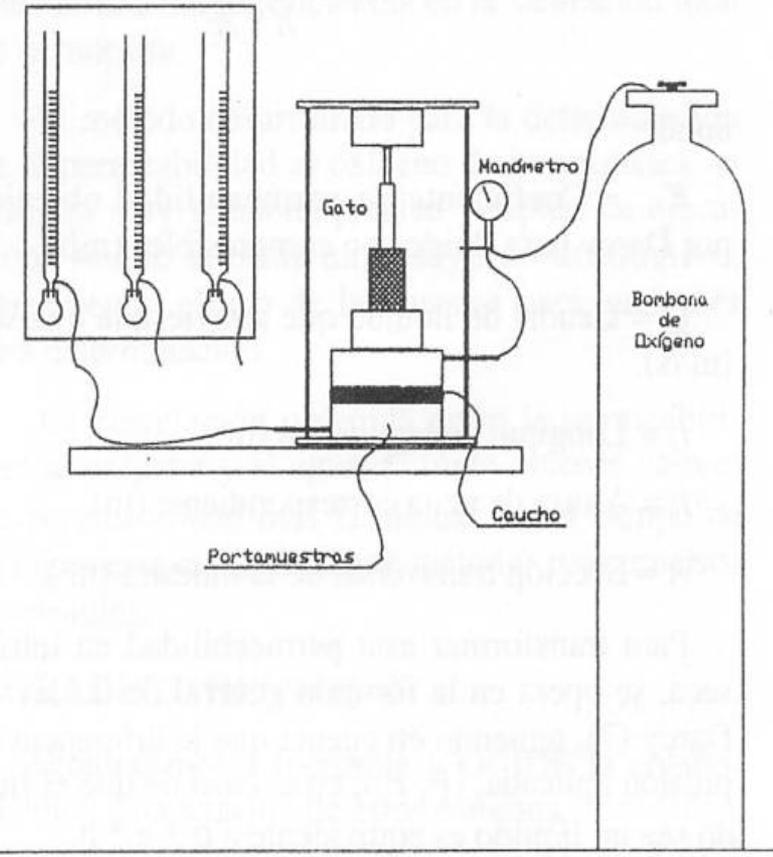
Permeabilidad al oxígeno



Dimensiones en mm.



Caudalímetros de pompa de Jabon



Permeabilidad al oxígeno



Simposium RCC (2008). IBRACON.
Salvador

Permeabilidad al agua

■ Permeabilidad agua:

- Norma UNE modificada: Se recubre con silicona, se le aplica 5 bar (50 m agua) y se mide la penetración

$$K_{\text{agua}} = (X^2 \times P) / (2 \times h \times t)$$

X= penetración (m)

P= porosidad

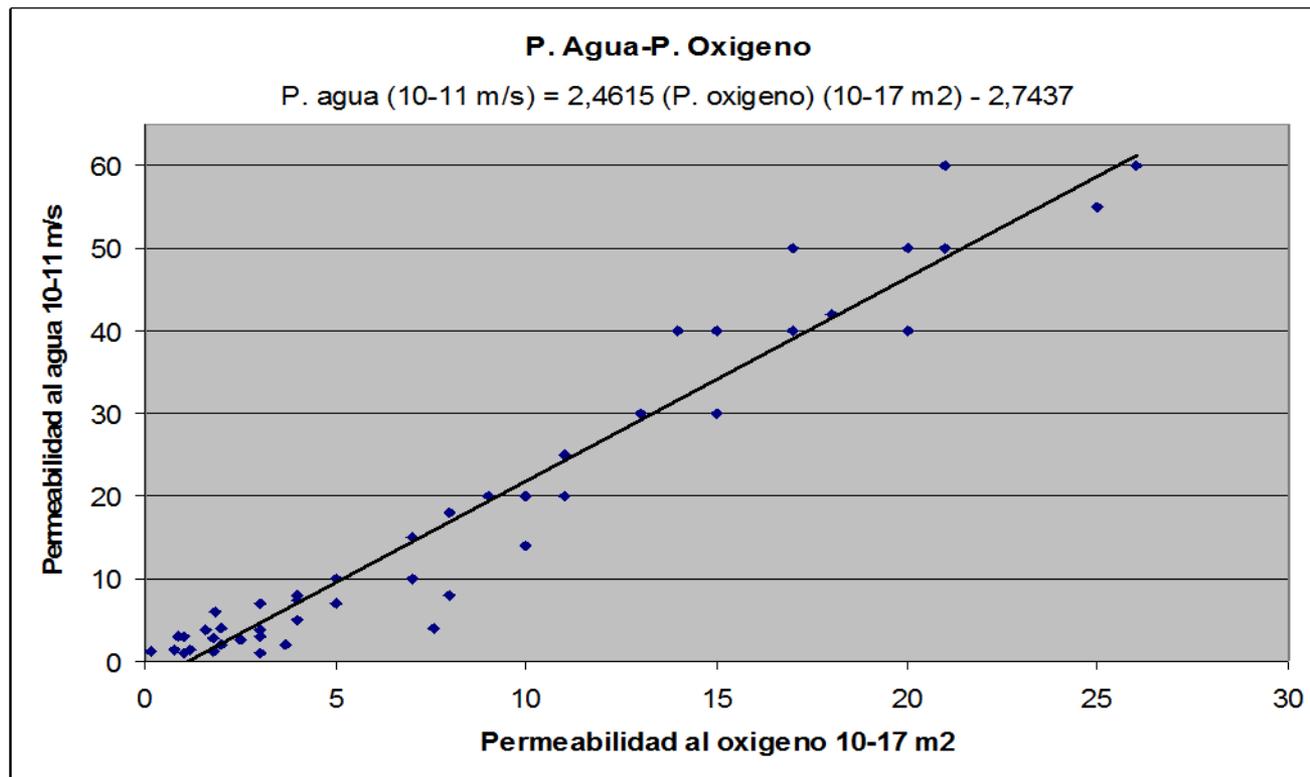
H= presión (m)

T= tiempo (s)



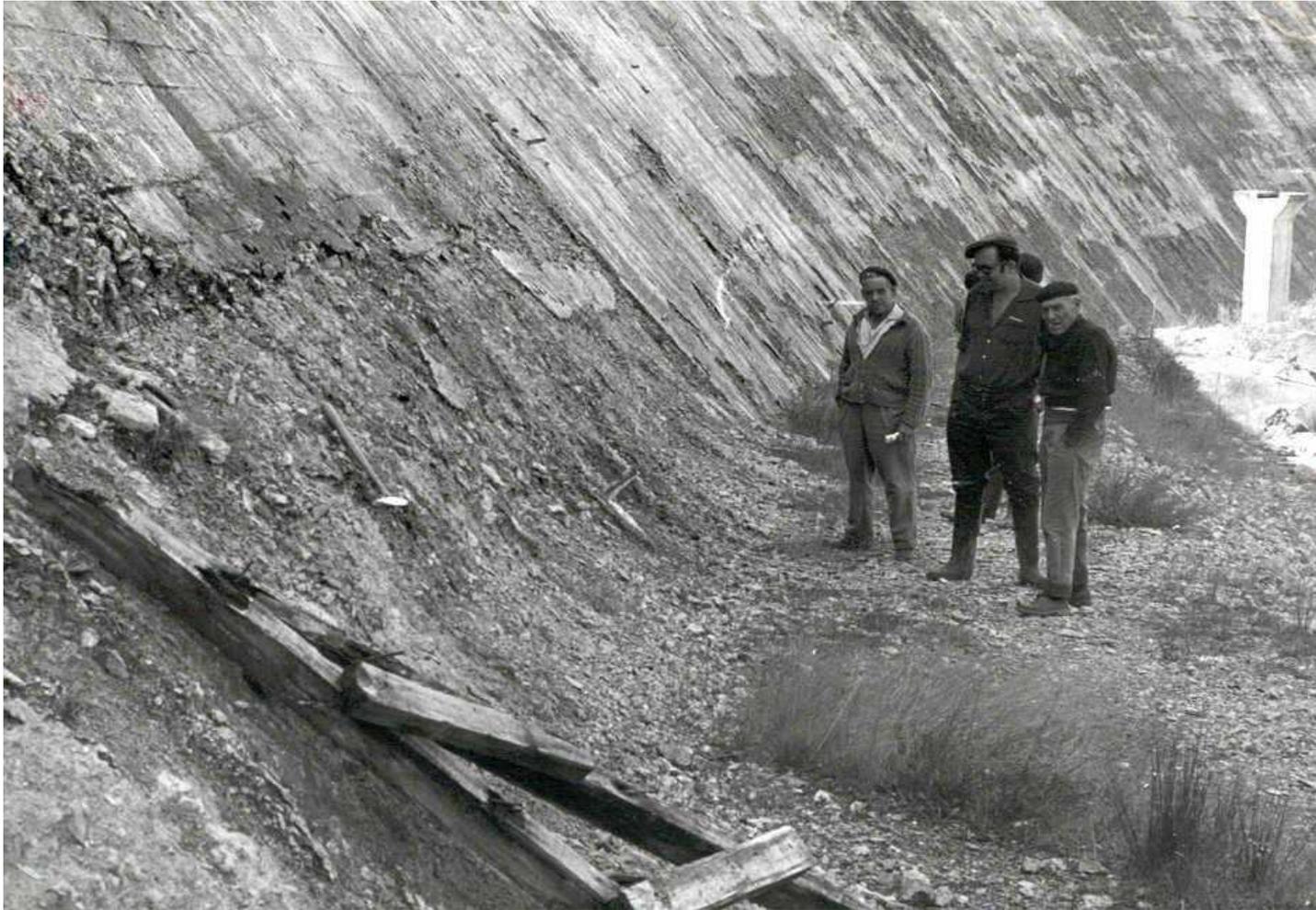
Correlación permeabilidad al oxígeno con la permeabilidad al agua. Hormigones HCR

Rango permeabilidades medias



**PUZOLANAS (CV),
DURABILIDAD Y
ESTRUCTURA POROSA.**

Prof. Dr. Guillermo Gómez Laa

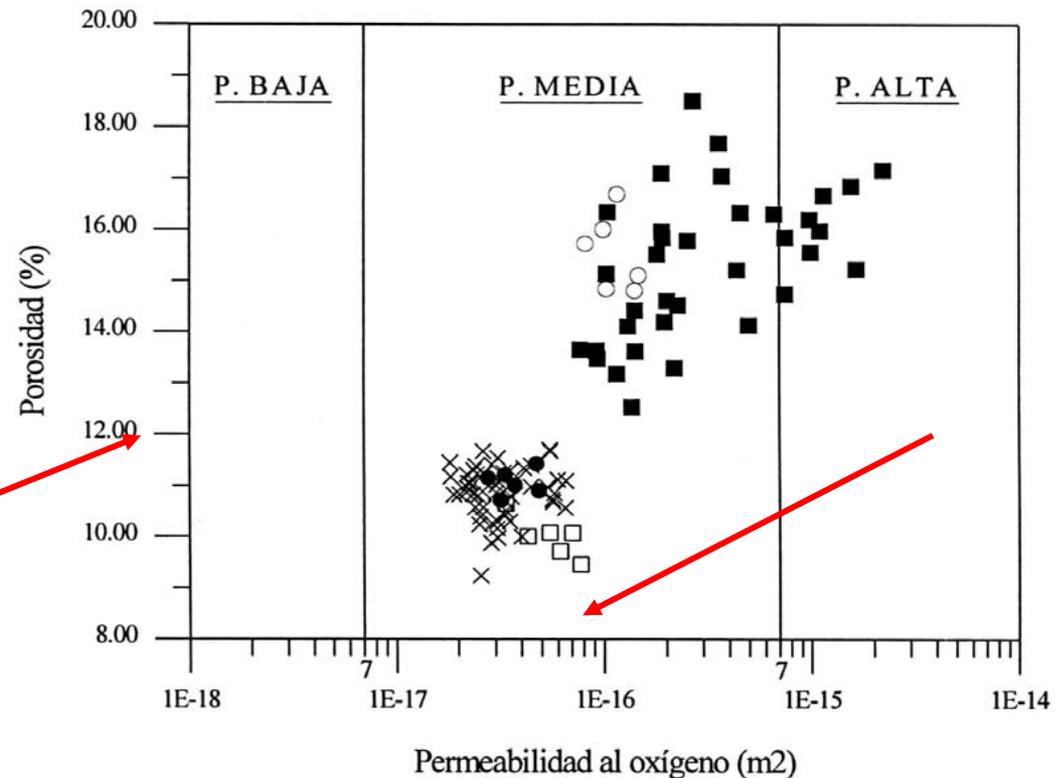


Simposium RCC (2008). IBRACON.
Salvador

Relación permeabilidad oxígeno y porosidad. Hormigones de uso hidráulico. $T_{max} = 25$ mm. Sin CV

RELACIÓN PERMEABILIDAD-POROSIDAD

○ Hormigones
■ Deteriorados



Composición del cemento y de la ceniza volante (CV)

	Cemento %	CV %
Si O₂	19,50	48,60
Al₂O₃	5,60	24,80
Fe₂O₃	2,24	10,32
MgO	2,44	4,35
CaO	61,60	1,28
NaO	0,66	0,44
K₂O	0,7	3,20
SO₃	3,9	1,65
P.C.	2,82	4,29

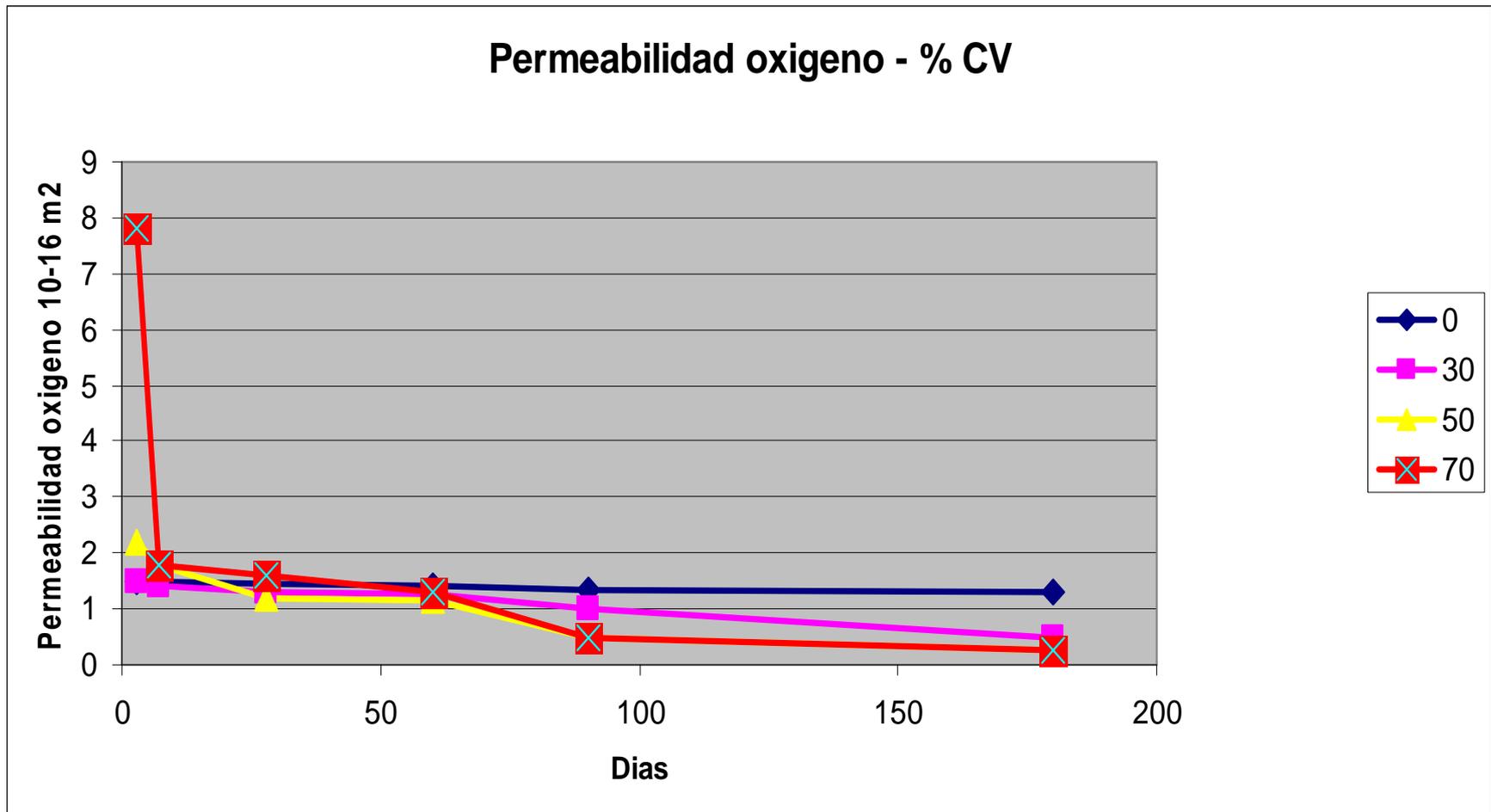
Influencia de la presencia de CV en la porosidad. Morteros. Primeros datos

Para un determinado tipo de árido, conglomerante y medio ambiente la durabilidad depende de las características físicas:

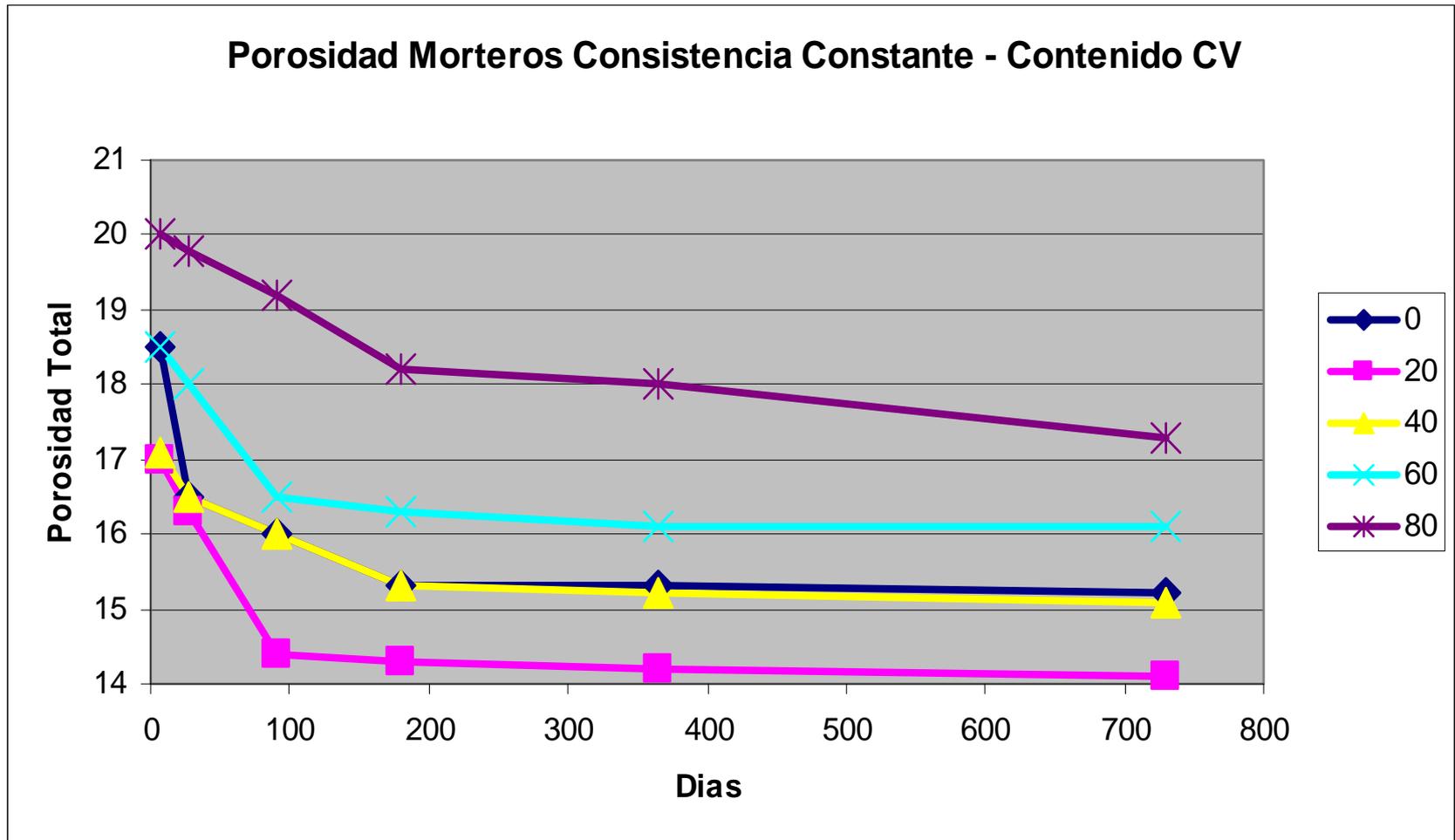
- Porosidad y distribución de poros
- Permeabilidad

CV (%)	Edad (días)					
	3	7	28	60	90	180
0	21,08	20,41	19,45	19,42	19,34	18,22
30	21,57	20,60	19,68	18,67	18,40	15,37
50	22,50	20,95	20,65	19,11	17,27	14,95
70	23,55	22,40	21,53	21,18	18,10	16,05

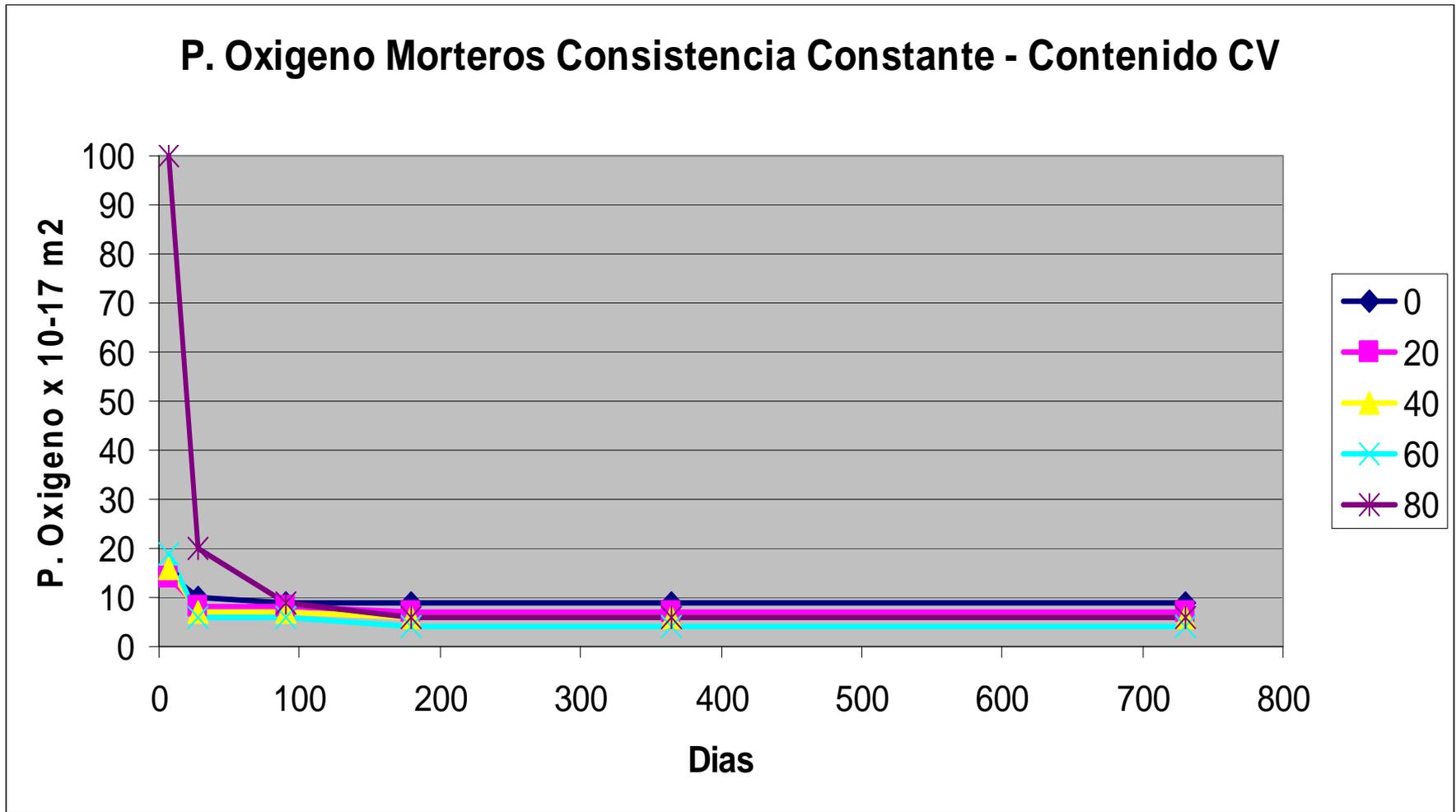
Relación permeabilidad oxígeno y contenido de CV en el conglomerante. Morteros. Primeros datos



Influencia de la presencia de CV en la porosidad. Morteros. Segunda Fase. Estudio a largo plazo.

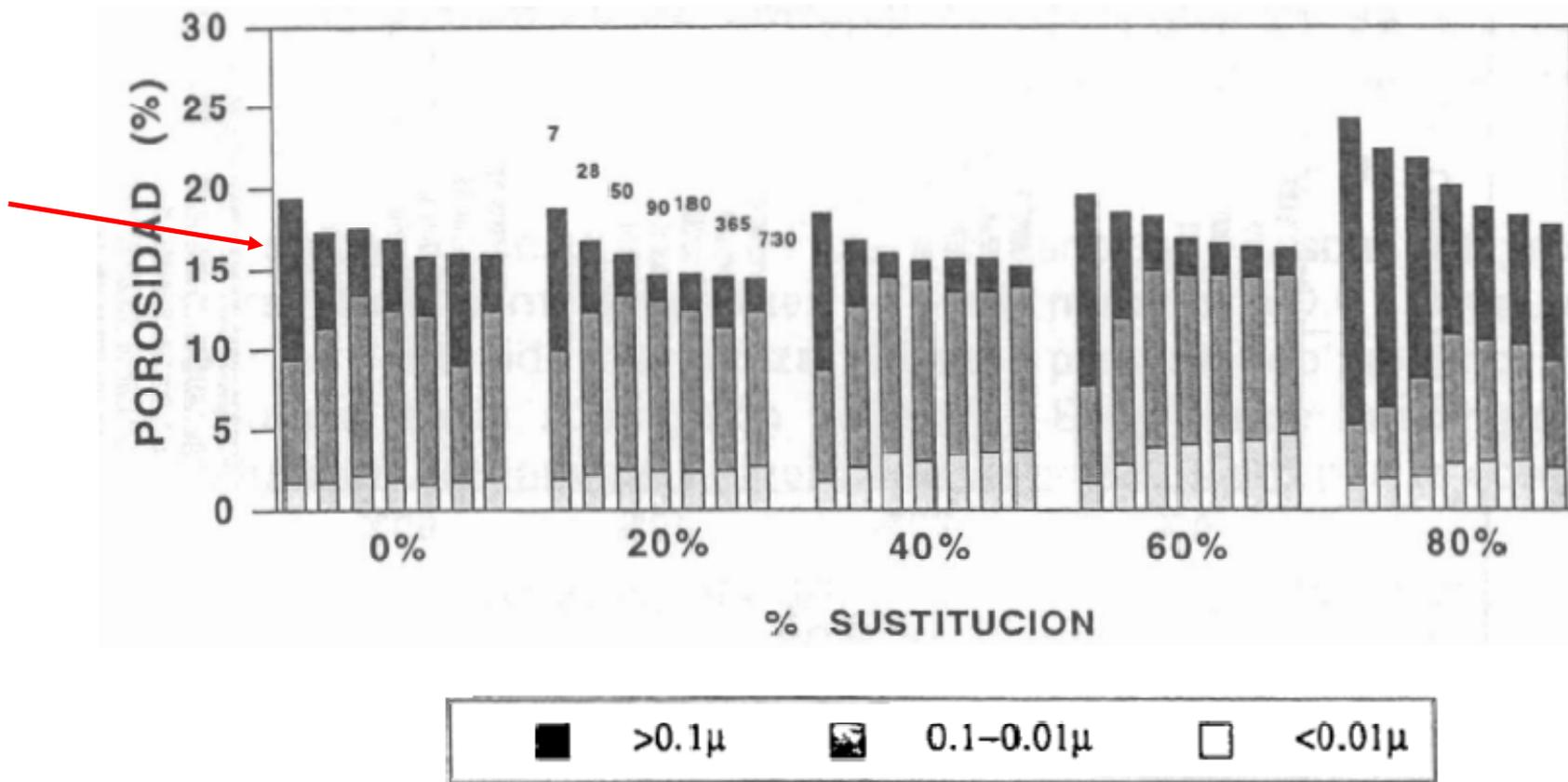


Relación permeabilidad oxígeno y contenido de CV en el conglomerante. Morteros. Estudio a largo plazo.



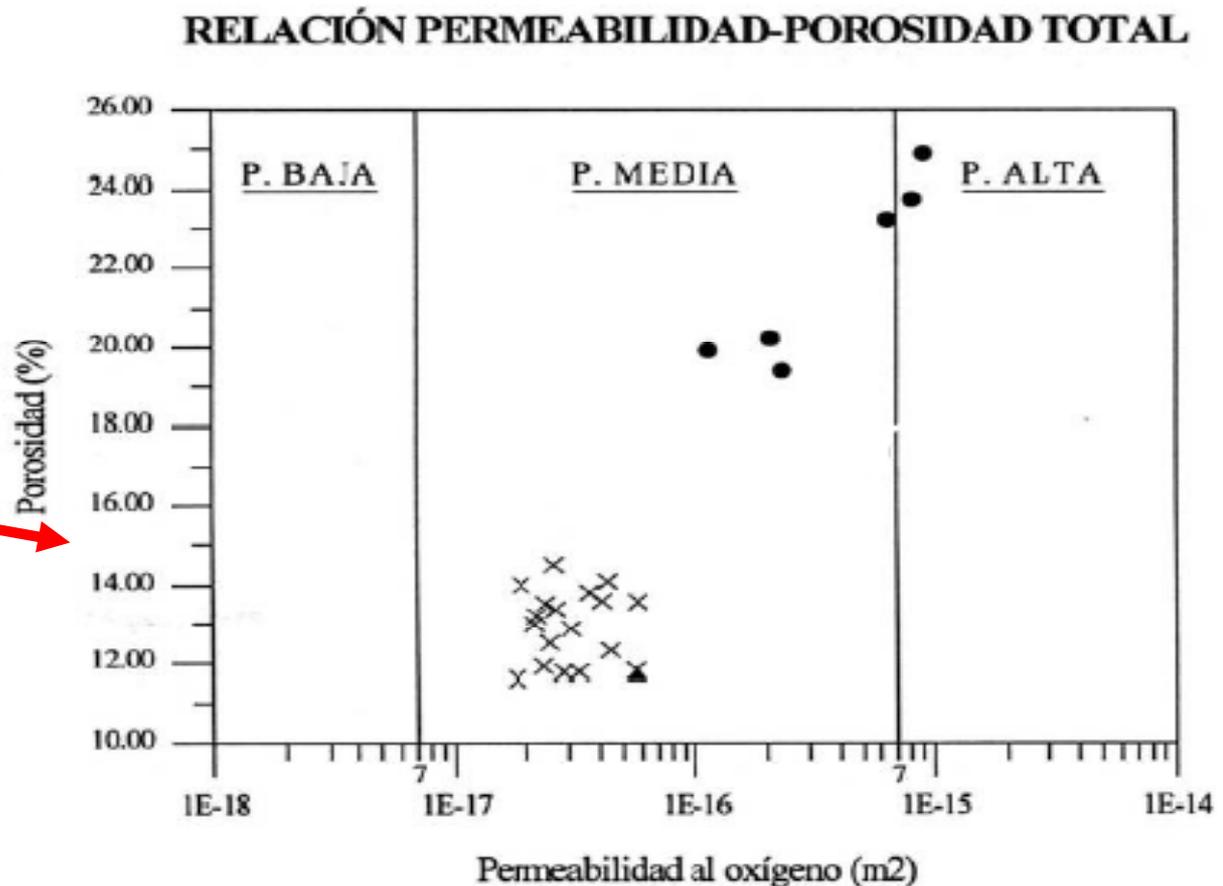
Influencia de la presencia de CV en la distribución de poros. Morteros. Estudio a largo plazo.

MORTEROS CONSISTENCIA CONSTANTE



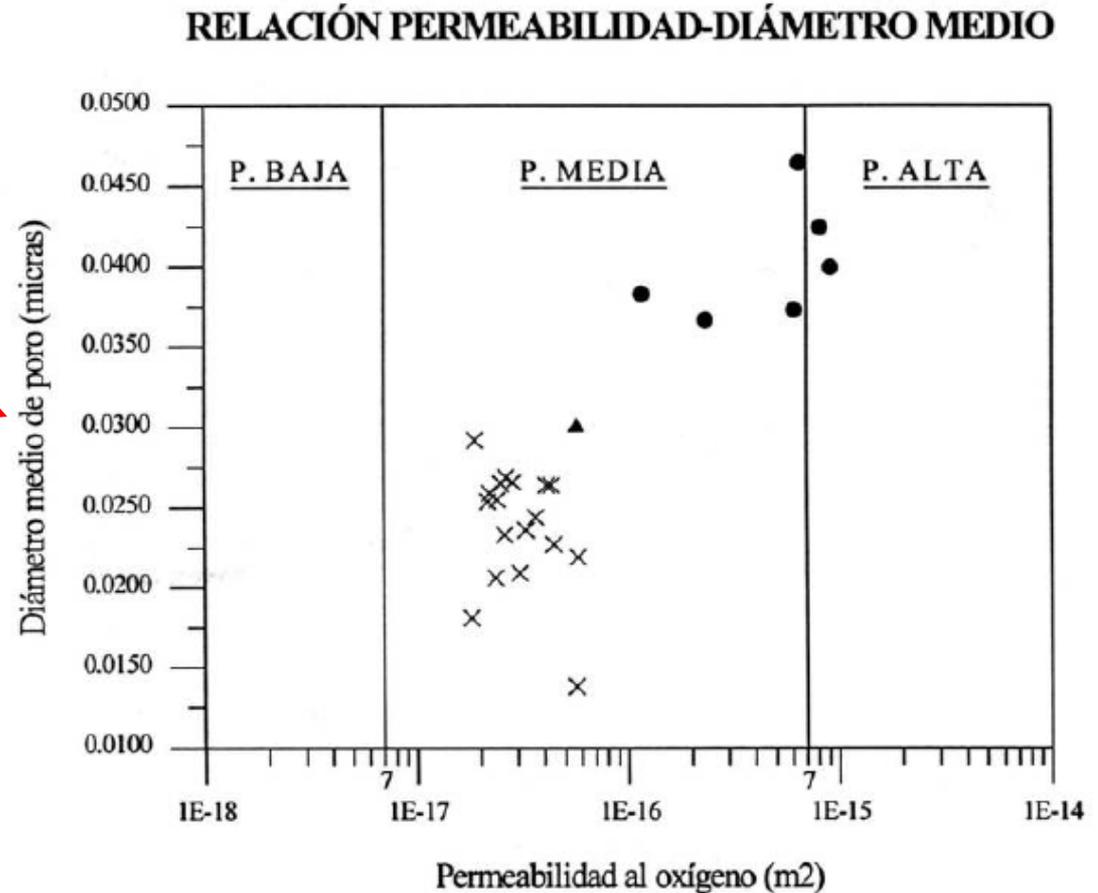
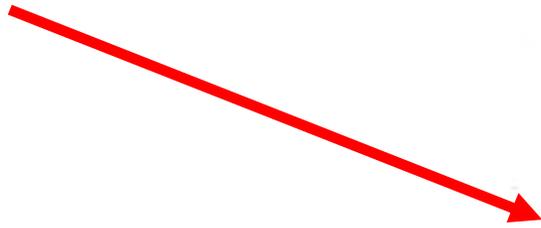
Relación permeabilidad oxígeno y porosidad. Mortero extraído de Hormigones de uso hidráulico. Sin CV

Hormigones Deteriorados



Relación permeabilidad oxígeno y diámetro medio de poro. Mortero extraído de **Hormigones** de uso hidráulico. **Sin CV**

●
Hormigones
Deteriorados



Influencia de la presencia de CV en la presencia de Ca(OH)_2 . Morteros. Segunda Fase. Estudio a largo plazo.

