

Capítulo III

Propiedades y características.

Fuente: Tetre T. José. Aplicaciones de áridos reciclados. CREC, España,

CAPÍTULO III.

En esta parte del estudio, se recogen los resultados de los ensayos que se han realizado para la caracterización de los agregados reciclados como agregado gruesos para la fabricación de concretos.

Se comparan por un lado los resultados obtenidos para las gravas recicladas fabricados con muestras de laboratorio con los resultados obtenidos con las gravas recicladas procedentes de la planta de tratamiento de RCDs y por otro, se comparan los agregados reciclados con agregados naturales de distintas litologías.

III.1.- GRANULOMETRÍA.

Cuanto mayor es el tamaño máximo de la grava utilizada en el concreto menor será la cantidad de agua empleada en él, puesto que más pequeña es la superficie, con lo cual, a igualdad de cemento, se tendrá una relación agua / cemento más baja y por consiguiente habrá que esperar mayores resistencias.

La relación agua / cemento es un factor importante en la durabilidad del concreto y por ello debe ser tan baja como sea posible y nunca superior a los valores límites establecidos por razones de durabilidad.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

Como se puede observar en la figura III.1, la granulometría de cada uno de las cuatro gravas estudiadas es continua, con una distribución de tamaños adecuada para la utilización de estos agregados en la fabricación de concretos. Las cuatro curvas granulométricas son muy similares entre sí.

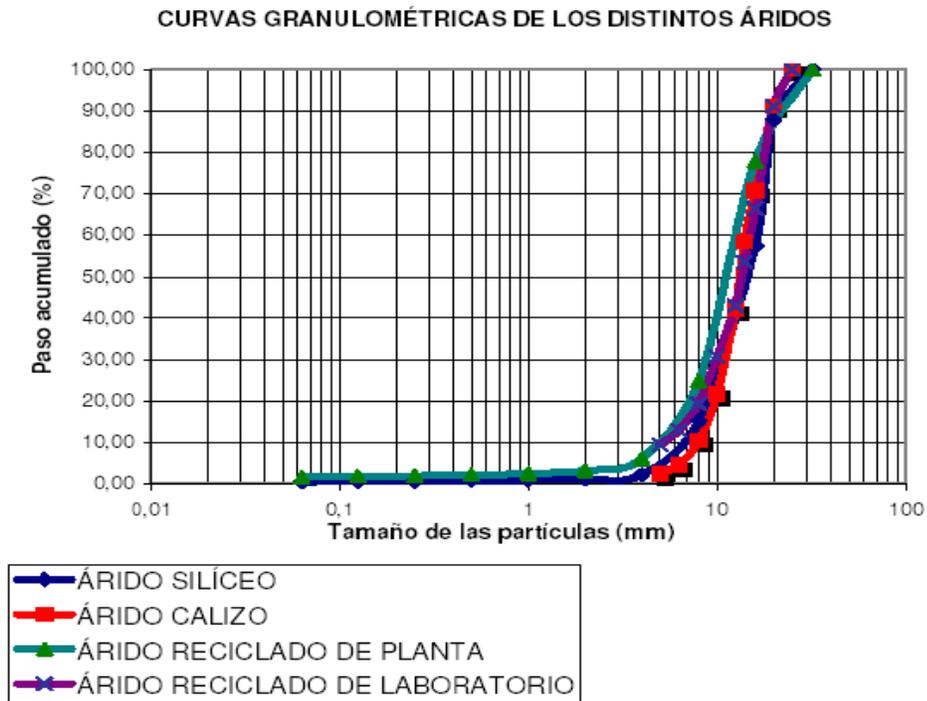


Fig. III.1.- Granulometría de distintos áridos estudiados.

FUENTE.- Astudillo, M., Análisis de los componentes en concretos preparados con áridos reciclados., LOEMCO, España.

III.1.1.- Contenido en finos.

Si los agregados tienen depositadas sobre sus superficies partículas finas tales como polvo, arcilla o finos procedentes del propio machaqueo de éstos, la adherencia con la pasta de cemento queda muy disminuida; incluso los concretos pueden exigir mayor cantidad de agua de amasado como consecuencia del pequeño tamaño de los finos.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

El contenido en finos que presentan los cuatro agregados pétreos estudiados son los que se representan en la figura III.1.1. Se puede apreciar que la grava más idónea para la fabricación de concreto es el silíceo, ya que es el que menos finos contiene. El agregado calizo y el agregado reciclado presentan un contenido en finos muy similar.

Las gravas recicladas procedentes de la planta de RCD's presenta un contenido en finos menor que el agregado reciclado elaborado en laboratorio; esto se debe al propio proceso de producción industrial de los agregados de la planta, así como al lavado previo al que han sido sometidos.

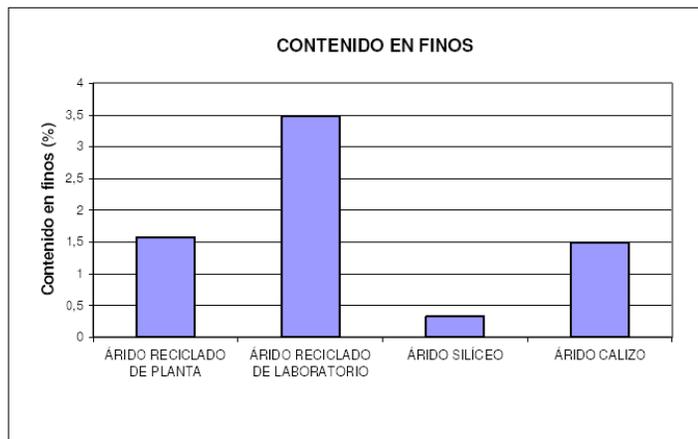


Fig. III.1.1.- Contenido de finos.

FUENTE.- Astudillo, M., Análisis de los componentes en concretos preparados con áridos reciclados., LOEMCO, España

El agregado reciclado, en general, presenta mayor contenido en finos ya que éstos se generan durante su manipulación, además de la aportación del mortero adherido procedente de la pasta en concretos reciclados.

III.1.3.- Coeficiente de desgaste Los Ángeles

El coeficiente de desgaste Los Ángeles del agregado reciclado presenta valores superiores al de las gravas naturales, como puede verse en la figura III.1.2.

El elevado coeficiente de desgaste del agregado reciclado se debe, en gran medida, a que en este ensayo se elimina la mayoría del mortero que queda adherido al agregado.

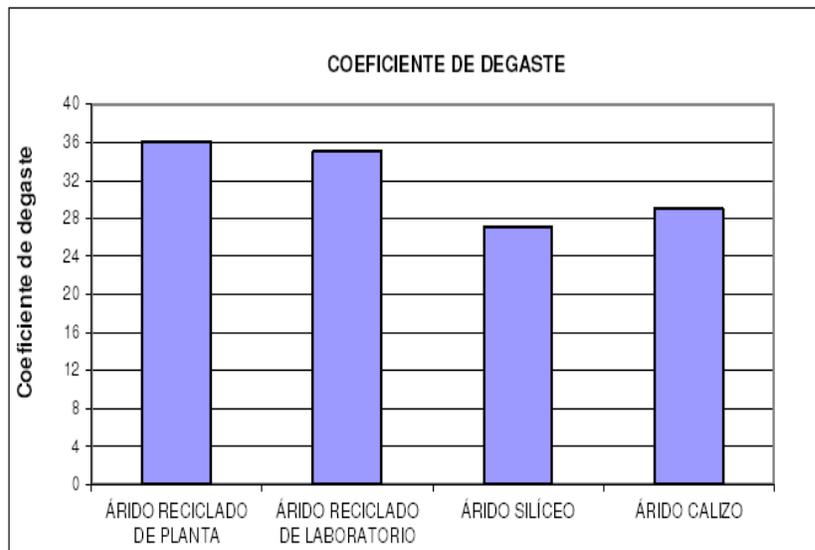


Fig. III.1.2.- Coeficiente de desgaste.

FUENTE.- Astudillo, M., Análisis de los componentes en concretos preparados con áridos reciclados., LOEMCO, España,

III.1.4.- Partículas blandas

El resultado del ensayo de determinación del porcentaje de partículas blandas en la grava reciclada da un valor excesivamente alto en comparación con los valores que se obtienen en los agregados de origen natural.

Los agregados naturales se encuentran por debajo del 5 % de partículas blandas, según el origen del mismo; en cambio, las gravas recicladas presentan valores de hasta el 44 % de partículas blandas.

Esto es debido a que todo agregado que lleve mortero adherido es rayado por el cuzín del esclerómetro con el que se realiza el ensayo, clasificando así dichas partículas como blandas y no determinándose en realidad la dureza del agregado reciclado.

III.1.5.- Coeficiente de friabilidad

El objetivo de este ensayo proporciona una medida relativa de la resistencia de los agregados a la abrasión, cuando se someten a una carga gradualmente aplicada.

El coeficiente de friabilidad que presenta el agregado reciclado es superior al de los agregados naturales, como puede observarse en la figura III.1.4. Esto es fundamentalmente debido, como en el caso del coeficiente de desgaste, al mortero adherido a la grava.

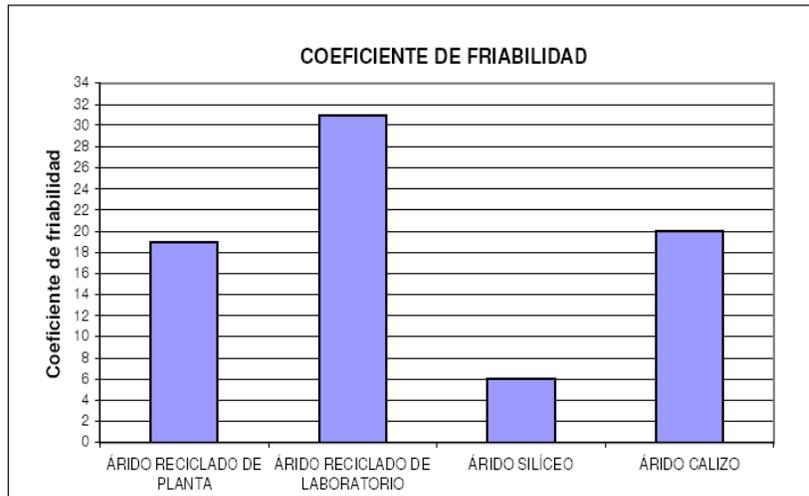


Fig. III.1.4.- Coeficiente de friabilidad.

FUENTE.- Astudillo, M., Análisis de los componentes en concretos preparados con áridos reciclados., LOEMCO, España,

III.1.6.- Absorción de agua

Como puede observarse en la figura III.1.5, la absorción de agua del agregado reciclado es muy superior a la de los agregados naturales.

Esta absorción de agua tan alta del agregado reciclado se debe a la pasta de mortero adherida a las gravas, así como a la mayor absorción que presentan las partículas de naturaleza cerámica, procedente del reciclado de este tipo de materiales.

La absorción de agua es una de las propiedades físicas en las que más diferencia existe entre los dos tipos de agregados, el natural y el reciclado, existiendo, como antes señalábamos, una absorción muy superior por parte del reciclado.

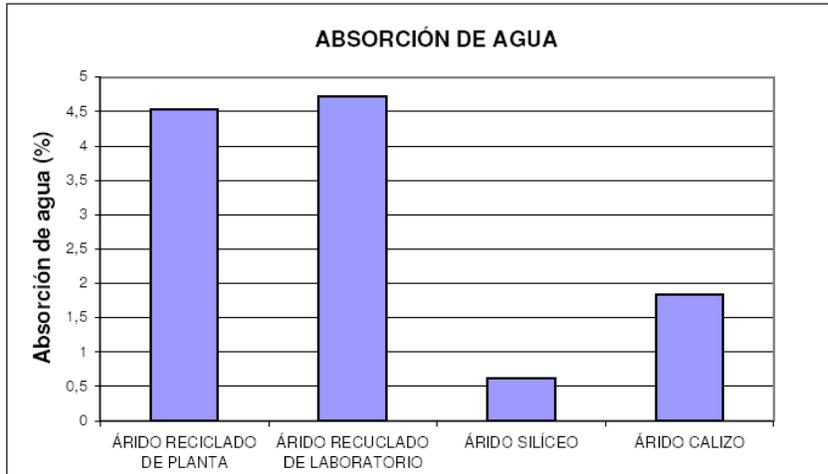


Fig. III.1.5.- Absorción de agua.

FUENTE.- Astudillo, M., Análisis de los componentes en concretos preparados con áridos reciclados., LOEMCO, España,

III.1.7.- Coeficiente de forma

El coeficiente de forma del agregado reciclado es similar al que puede presentar el agregado natural, como se aprecia en la figura III.1.6. [19].

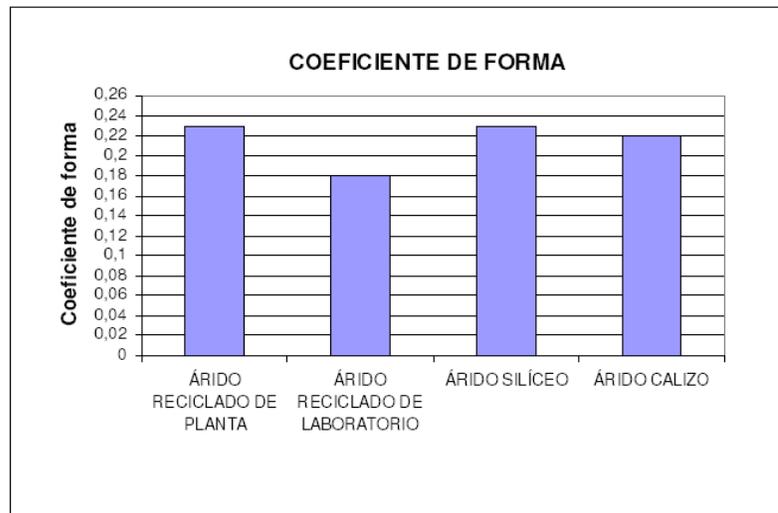


Fig. III.1.6.- Granulometría de distintos áridos estudiados.

FUENTE.- Astudillo, M., Análisis de los componentes en concretos preparados con áridos reciclados., LOEMCO, España.

III.2.- PROPIEDADES MECÁNICAS.

En los siguientes párrafos se presenta el análisis experimental de especímenes de CR con reemplazo de agregados naturales por ARC. Se proporcionan y discuten las propiedades de los agregados empleados; así como tópicos de CR, tales como, compresión simple, tensión indirecta, módulo de elasticidad, contracción y fluencia (básicas y por secado). Los especímenes de prueba contemplan los reemplazos de agregados de 0%, 15%, 30%, 60% y 100% de ARC con respecto del contenido total de agregados gruesos por volumen.

II.2.1.- Experimento.

Para éste estudio se utilizaron 4 m³ de un concreto original (OC) de uso común, procedente de planta premezcladora, que se colocaron en elementos de cimbra de madera con dimensiones de 0.40 m x 0.20 m x 0.10 m. Se dispusieron también para el análisis del comportamiento mecánico 8 cilindros de Φ 0.15 m x 0.45 m y 50 cilindros más de Φ 0.15 m x 0.30 m.

Transcurridas 24 horas del colado se procedió al descimbrado, y entonces se sometieron los elementos y especímenes a condiciones de curado para su envejecimiento durante 150 días (ver Tabla III.2.1., donde se dan con detalle las particularidades de este concreto). Los elementos se hicieron después pasar una sola vez por una trituradora semifija de rodillos, con apertura de entrada de 0.45 m y tamaño máximo de salida de 0.025 m. Por último, el material resultante se clasificó en los tamaños: 0-5, 5-10, 10-20, 20-25, de los cuales se tomaron las fracciones 5-10 y 10-20 para constituir los ARC de

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

este trabajo. Dichas fracciones utilizadas representan el 41.3% (fracción 5-10) y el 38% (fracción 10-20) del OC utilizado.

Clasificación		Dosificación [kg/m ³]		Propiedades mecánicas			
Tipo de concreto	H-350-20-B	Cemento	380	Edad	ft	f'c	E
Resistencia	35 Mpa	Grava [12-20]	773	días	MPa	MPa	MPa
Consistencia	Blanda	Gravilla [5-12]	252	7	3.2	35.2	33005
Tamaño máximo de agregado	20 mm	Arena	784				
Tipo de agregado	Caliza del Garraf	Agua	168	28	3.8	38.4	33676
Cemento	CEM I 42.5 R	Plastificante	2.69				
Aditivo	Plastificante	Relación A/C	0.44	90	4.1	45.1	35179

Tabla III.2.1.- Clasificación, dosificación y propiedades del hormigón a base de áridos naturales.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P.de Cataluña, España, 2006.

III.2.2.- Comparación de agregados reciclados con agregados naturales.

La designación utilizada por tamaños fue: para ARC, grava 10-20 y gravilla 5-10; y para los agregados naturales (AN), grava 12-20 y gravilla 5-12. En las Figs. III.2.2 y III.2.2.1 se presentan las granulometrías de los ARC y en la Fig. III.2.2.2 el ajuste granulométrico utilizado para hacer coincidir los perfiles de ARC y AN. El criterio empleado para este ajuste fue el de máxima densidad compactada (el cual reduce la posible influencia de tamaños de partículas diferentes), esto es:

- Para ARC la combinación fue de 55% grava y 45% gravilla.
- Para AN la combinación fue de 70% grava y 30% gravilla.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

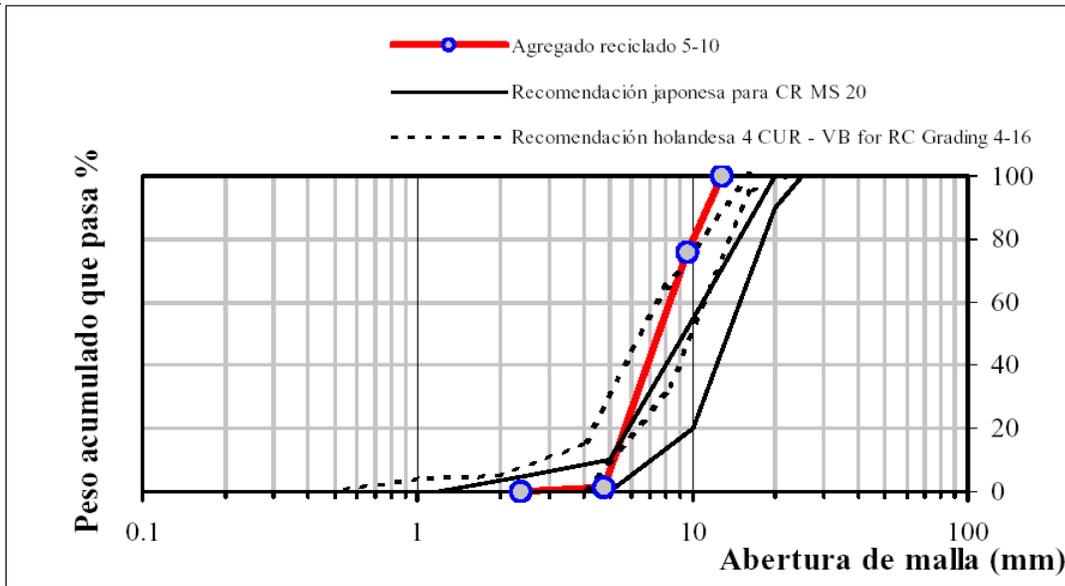


Fig.- III.2.2.- Granulometría Árido reciclado 5-10 mm

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P.de Cataluña, España, 2006.

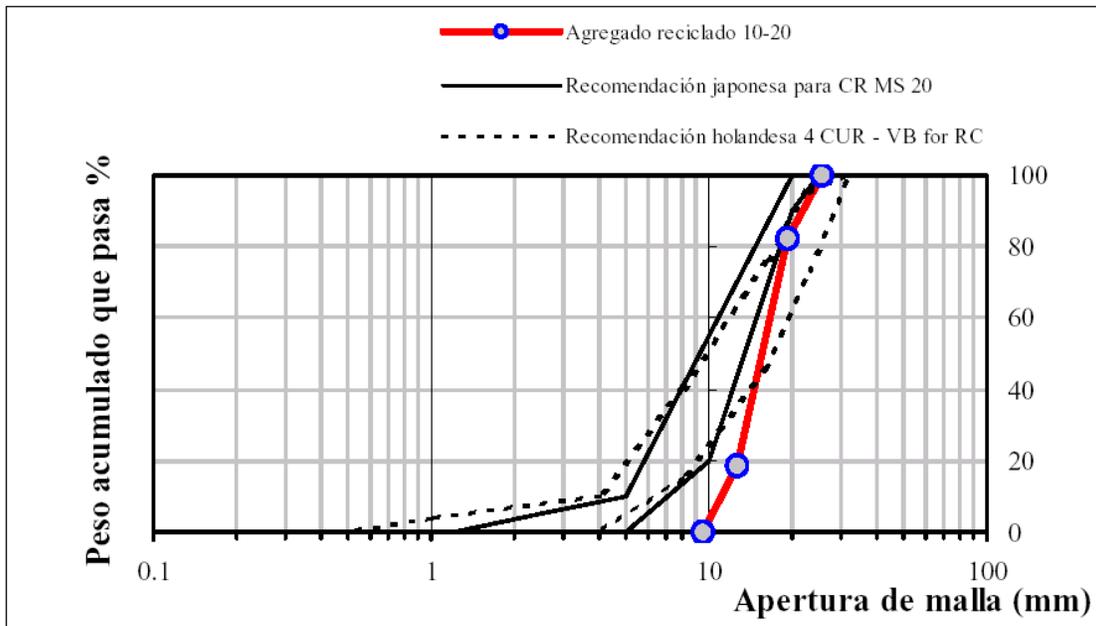


Fig.- III.2.2.1- Granulometría Arido reciclado 10-20 mm

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P.de Cataluña, España, 2006.

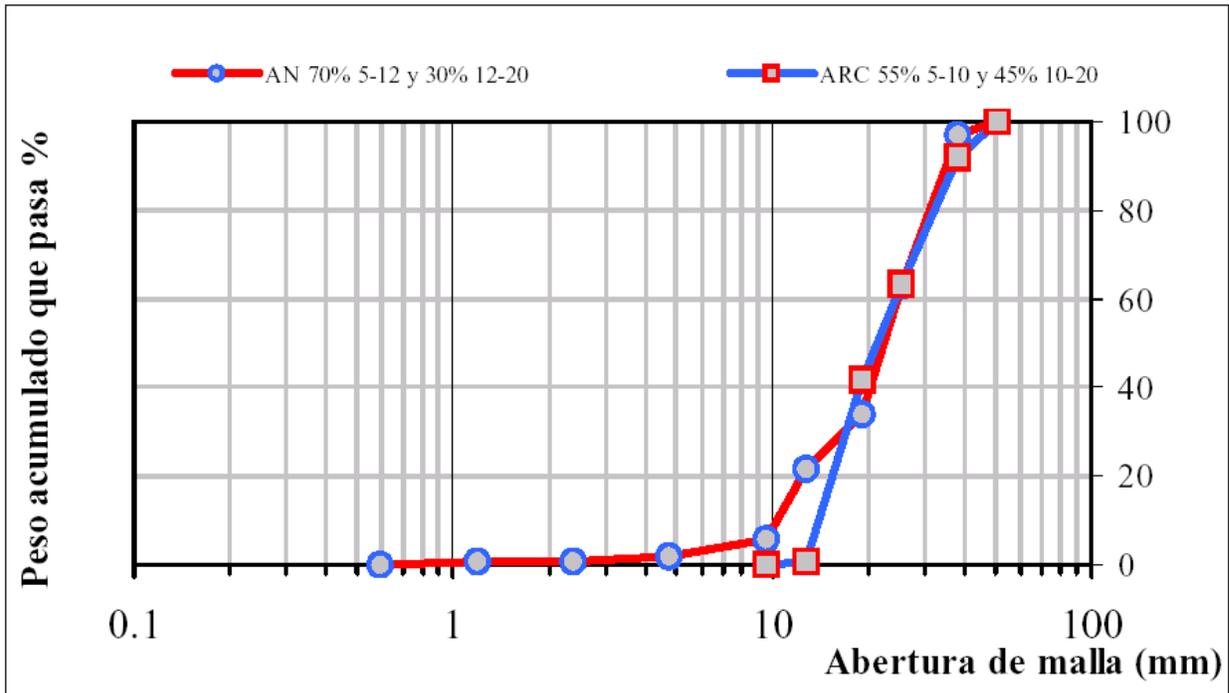


Fig.- III.2.2.2- Ajuste granulométrico de AN y ARC.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

En la Fig. III.2.2.3 se presentan todas las combinaciones de contenidos grava – gravilla para ambos agregados, obsérvese en ésta que la curva de los ARC siempre se mantiene por debajo de la curva de los AN, en el mejor de los casos ésta se encuentra a 230 kg/m^3 por debajo de los AN.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

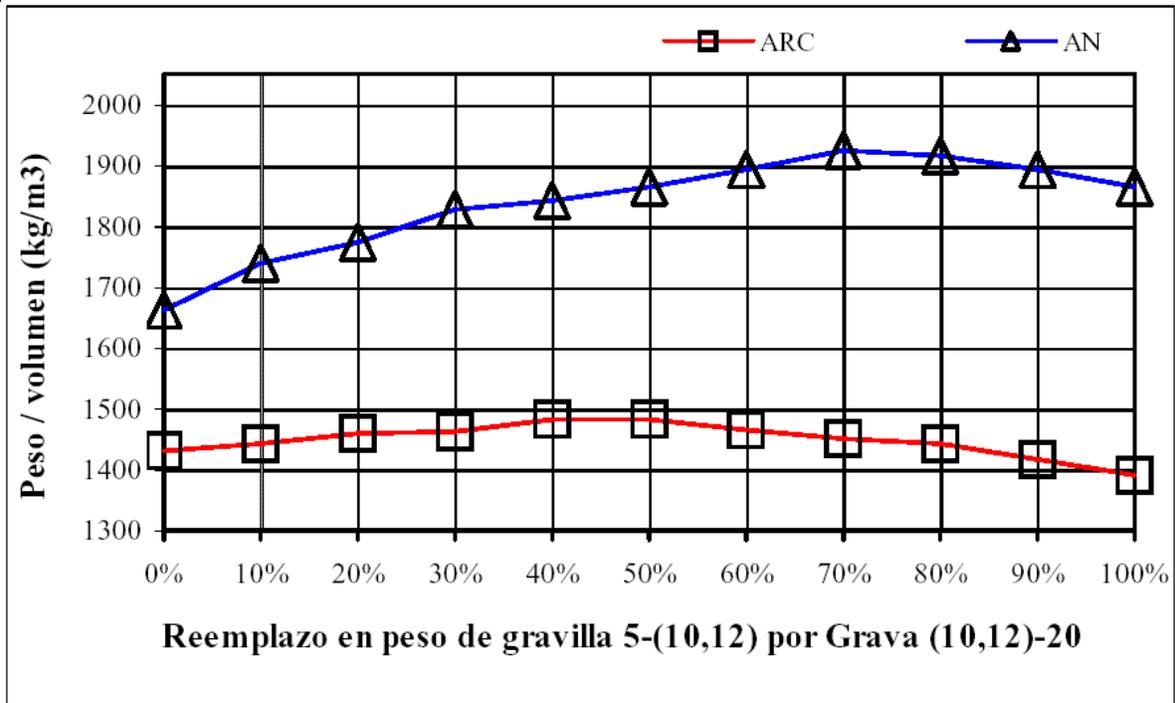


Fig.- III.2.2.3- Densidad compactada de ARC.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

En la Tabla III.2.2, se indican las propiedades de los agregados utilizados. El coeficiente de forma (CF), presentado en esta tabla, para fracción grava es similar en ambos casos; sin embargo para la fracción gravilla los ARC tienden a ser menos esféricos (20%) que los AN. Esto podría ser explicado debido a que las partículas de menor tamaño tienden a ser sometidas a mayor desgaste y sollicitación durante el proceso de triturado, aunado al hecho de que los ARC cuentan con una procedencia de constitución de carácter parcial. No obstante, el CF se mantuvo siempre por arriba de la especificación para concretos comunes (> 0.20).

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

Propiedad	ARC			AN*		
	10-20	5-10	0-5**	12-20	5-12	0-5
CF	0.36	0.46	0	0.36	0.57	0
IL	3	6	0	4	6	0
Modulo de Finura	6	15	0	8	19	0
Equivalente en arena [%]	7.2	6.2	3.8	6.9	5	3.3
Partículas < 200 µm	0	0	93.6	0	0	93.8
	0.06	0.29	9.85	0.5	2.46	9.24

*Agregado calizo, cantera del Garraf, Barcelona. **Fracción no utilizada para fabricar CR.

Tabla III.2.2.- Propiedades de agregados naturales y reciclados.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P.de Cataluña, España, 2006

En cuanto al contenido de materia < 200 µm, era de esperarse que los ARC no aportasen gran cantidad de partículas finas en sus diferentes fracciones, pues las trituradoras de rodillo generan poca cantidad de finos. Asimismo, el proceso de tamizado mecánico utilizado provocó que los finos pasaran de forma rápida a las fracciones 0-5.

Los índices de lajas (IL), reportados en la Tabla III.2.2 nos muestran que los ARC tienen un valor menor que los AN. No obstante, el IL para ambos tipos de agregados siempre se mantiene por debajo de la especificación para concretos comunes (≤ 20).

Los ensayos de la prueba Los Ángeles (LA), presentados en la Fig. III.2.2.3, fueron hechos sometiendo las fracciones gravilla a una carga abrasiva de 8 esferas y la fracción grava a 11 esferas, en ambos casos la prueba comprendió 500 ciclos. Como se observa en dicha figura, la correlación entre el incremento de contenido de ARC (factor "r") y el

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

coeficiente LA es directa hasta llegar a un máximo de 34.48 para ambas fracciones con un $r = 0.60$

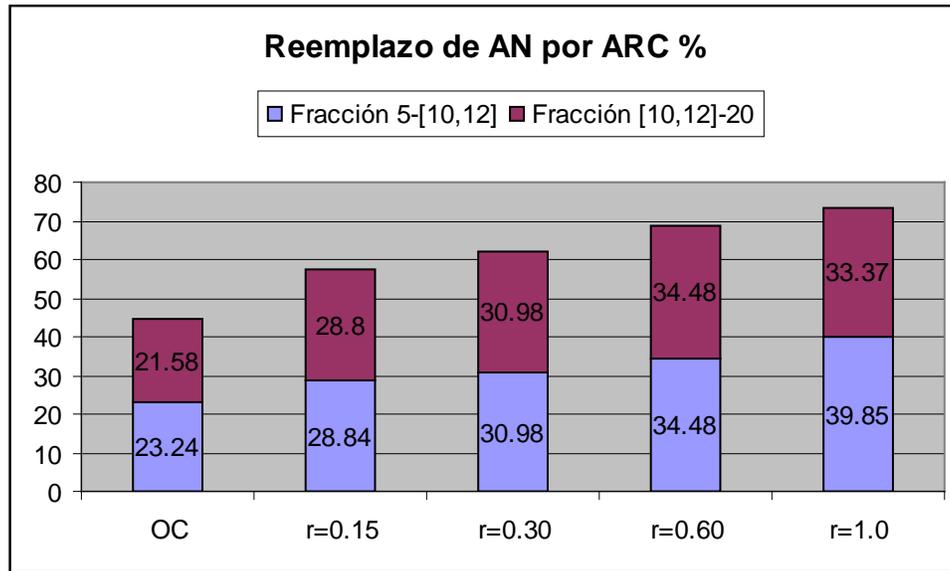


Fig.- III.2.2.3- Granulometría Árido reciclado 10-20 mm

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

La Fig. III.2.2.4 presenta la densidad seca (D_s), la densidad saturada superficialmente seca (D_{sss}), la absorción y la porosidad total al agua para ambos agregados en las fracciones de estudio. Se puede observar en esta figura que la absorción de los ARC (de 5.83% a 8.16%) es mayor que la de los AN (de 0.88% a 1.49%); y que mientras que para los AN es sensiblemente la misma en todos los tamaños, para los ARC esta se incrementa de forma directa al reducirse el tamaño de las partículas. La porosidad total al agua es la que presenta mayor variación entre los ARC y AN (Fig. III.2.2.4), llegando a pasar en el peor caso de 2.82% para el AN a 14.86% para ARC en la fracción gravilla.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

En cuanto a las densidades, los ARC son menos pesados que los AN (promedio de 14% menos en D_s y de 9% en D_{ss}).

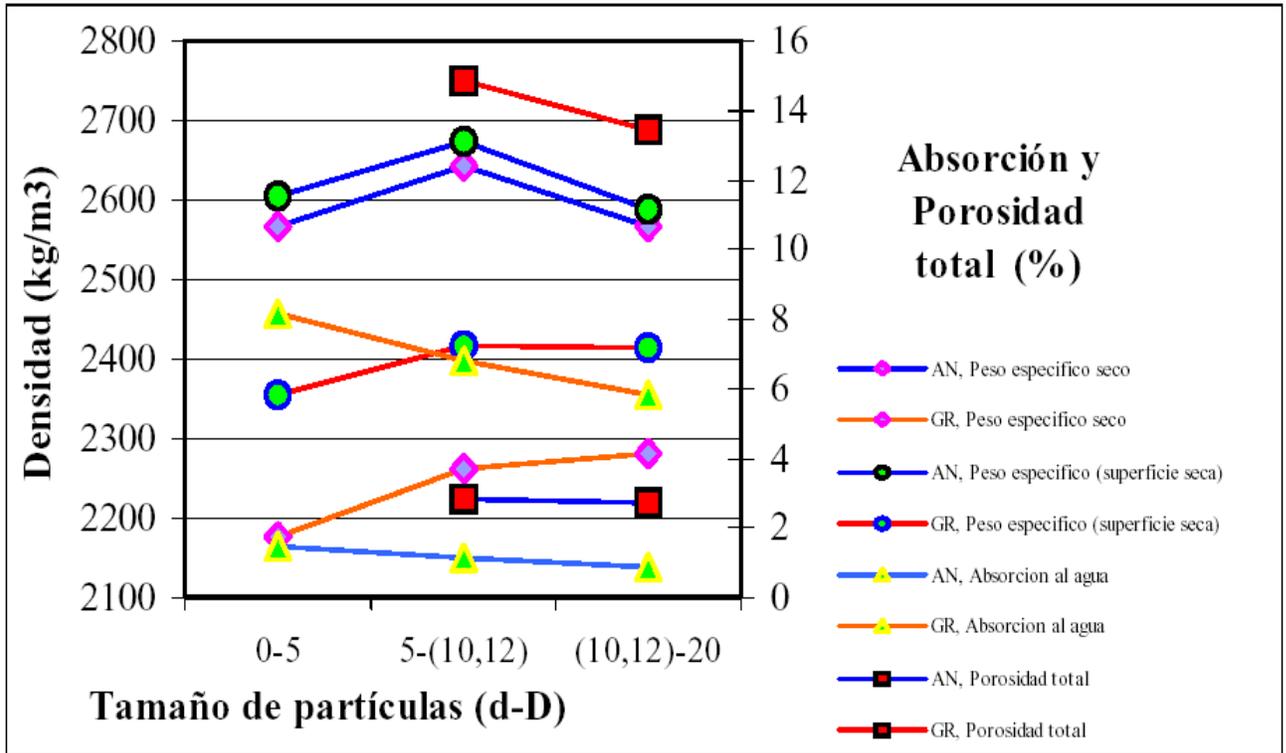


Fig.- III.2.2.3- Granulometría Árido reciclado 10-20 mm

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

Estos ARC incrementan sus densidades directamente proporcionales al aumento en su tamaño de partícula. Por último, las diferencias entre las condiciones secas o saturadas superficialmente seca son mayores entre los ARC que entre los AN. Expuestas las anteriores propiedades de los ARC en estudio se concluye que éstos se encuentran dentro de la recomendación RILEM para ARC TIPO II (absorción $\leq 10\%$ y $D_s \geq 200 \text{ kg/m}^3$), para la Belga son GBSBII (absorción $< 9\%$ y $D_s > 210 \text{ kg/m}^3$) y en cuanto a la Japonesa cumplen con el requisito de absorción $\leq 7\%$ y $D_s \geq 220 \text{ kg/m}^3$ en las fracciones utilizadas. Por todo ello, los ARC empleados en este trabajo pueden ser utilizados como

concreto simple o reforzado teniendo en cuenta su aplicación y coeficientes de comportamiento.

III.2.3.- Dosificación de los concretos.

Dada la dificultad de determinar la relación real A/C por la alta variación de absorción de los ARC, se optó por utilizar los conceptos básicos de dosificación del ACI 211.1 y del ACI 211.2 con los siguientes criterios:

1) La sustitución de ARC por AN se realizó con iguales volúmenes de los porcentajes de peso a sustituir, con la siguiente condición:

$$r = \frac{RAC_{grueso}}{(RAC_{grueso} + NA_{grueso})} \quad (0.00 \leq r \leq 1.00)$$

donde: r = porcentaje de AN sustituido por ARC; RAC_{grueso} = 55 % Grava reciclada + 45% gravilla reciclada; NA_{grueso} = 70 % Grava natural + 30% gravilla natural.

Los porcentajes de estudio de los cinco tipos de CR fueron: $r = 0.0, 0.15, 0.30, 0.60$ y 1.00 . Como agregado fino se utilizó 100% de arena natural caliza triturada procedente de la cantera del Garraf, Barcelona.

2) Los ARC aumentan su absorción proporcionalmente con el tiempo de inmersión en agua, ver Fig. III.2.3. Para la dosificación se tomaron 20 minutos de inmersión,

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

alcanzando un 97% en gravilla y un 77% para grava, respectivamente de los valores observados en los ensayos a 24 horas.

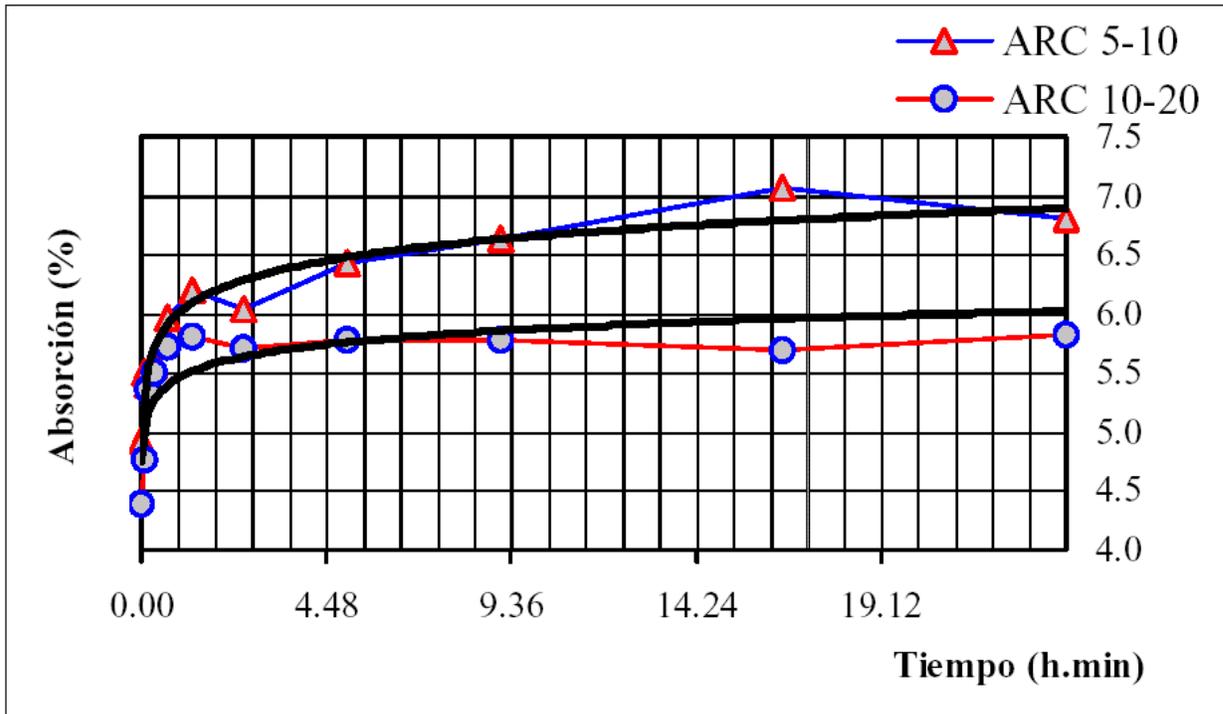


Fig.- III.2.3- Variación de absorción con el tiempo.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

3) La cantidad de agua absorbida por los agregados se tomó en cuenta por separado, además de la humedad que tenían antes del amasado y del agua libre que forma parte de la mezcla. Con el tiempo de amasado establecido y la cantidad de agua requerida, el orden de introducir los materiales de mezclado garantiza (en lo posible) inmovilidad de agua y mejora de la zona de transición. Se optó la siguiente secuencia: a) Todos los agregados gruesos y el agua fueron introducidos en la amasadora, b) Estos se mezclaron durante 2 minutos, c) La amasadora se mantuvo en reposo por 3 minutos, d)

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

Se repitieron el proceso b y c dos veces más, e) Se introdujo el cemento y se amasó 3 minutos, y f) Se adicionó la arena y se amasó 3 minutos más.

Las dosificaciones de mezclas obtenidas con los anteriores criterios se dan en la

Tabla III.2.3.

Componente		r=1.0 0	r=0.6 0	r=0.3 0	r=0.1 5	r=0.0 0
Cemento [kg/cm ³]		400 (CEM I 52.5 R UNE 80 301 96 RC/97)				
Agua [kg/m ³]		207.6				
RAC [kg/cm ³]	Gravilla [5-10]	406	258	134	69	0
	Grava [10-20]	497	315	164	84	0
AN [kg/cm ³]	Gravilla [5-12]	0	268	488	604	710
	Grava [12-20]	0	115	209	259	304
Agregado fino [kg/m ³]		662				
A/C		0.52				
A. Grueso / A. fino [Vol.]		1.53				

Propiedades						OC	
Revenimiento [m]		0.105	0.105	0.123	0.11	0.123	0.167
Peso Vol. Fresco [kg/m ³]		2513	2538	2556	2574	2571	2400
f'c 28 días [Mpa]		34.5	35.8	37	38.1	38.8	38.4*
Nivel de esfuerzos en fluencia [MPa]**		12.08	12.53	12.95	13.34	13.58	13.44
ε _{sh} básica [mm/m]		-	-	-	-	-	-
		0.032	0.023	0.026	0.039	0.056	0.185** *
ε _{sh} secado [mm/m]		0.541	0.518	491	0.423	0.37	0.065** *
ε _{sh} básica	instantanea [mm/m]	0.137	0.147	0.164 5	0.135	0.143	0.118** *
	φ [90 días,t0]	1.3	1.1	1	1.3	1	0.5***
ε _{sh} secado	instantanea [mm/m]	0.158	0.153	0.138	0.135	0.16	0.127** *
	φ [90 días,t0]	4.6	4.2	4	3.5	3.4	1.7***

*La edad del ensayo es de 200 días., **0.35f'c.,***φ(262 días, 172días)

Tabla III.2.3.- Dosificaciones utilizadas y parámetros de ensayo para los concretos reciclados.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P.de Cataluña, España, 2006

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

Como se aprecia en ésta, la variación en consistencia y pesos volumétricos para los diferentes porcentajes de reemplazo son tolerables (revenimiento 0.10 ± 0.03 m y concreto con peso volumétrico normal).

III.3.- COMPORTAMIENTO DE LOS CONCRETOS RECICLADOS.

III.3.1.- Absorción, densidad, porosidad y permeabilidad al agua.

Como se observa en la Fig. III.3.1, la absorción de los CR se incrementa proporcionalmente al contenido de ARC, pasando de 7.4% para $r = 0.0$ a un 8.6% para $r = 1.00$, mientras que sus densidades decrecen ligeramente en sentido opuesto. Por otra parte, la porosidad al agua, al igual que la absorción, se incrementa proporcionalmente con el contenido de ARC.

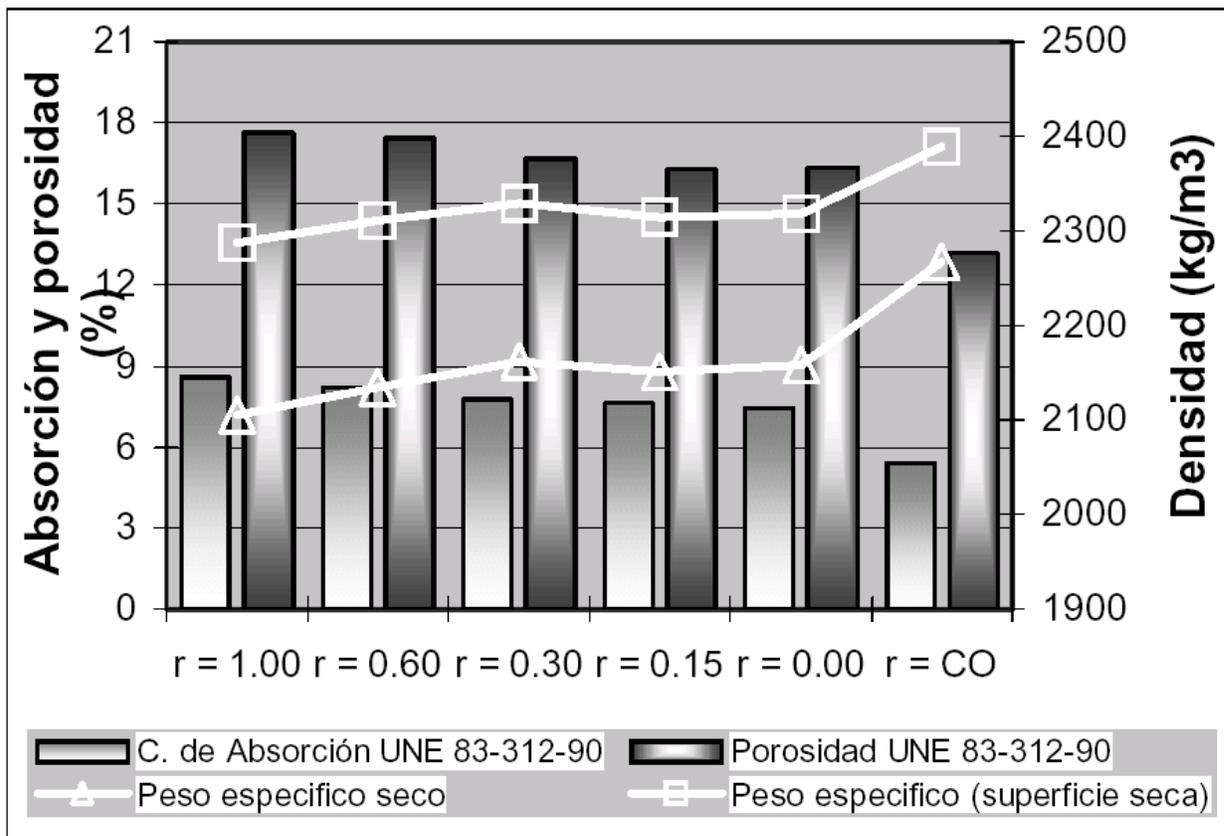


Fig.- III.3.1 Correlación entre absorción, porosidad y densidad de concreto reciclado

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

En cuanto a la permeabilidad al agua (ver Fig. III.3.1.1), el promedio de las lecturas de penetración no tiene incrementos significativos; mientras que la penetración máxima pasa de 0.104 m para $r = 0.0$ a 0.143 m para $r = 1.0$. La gran diferencia entre las penetraciones promedios y máximas podrían ser explicadas por el hecho de que el ARC se posicione en la superficie de ensayo, vulnerando de esta forma la zona y permitiendo el paso del agua.

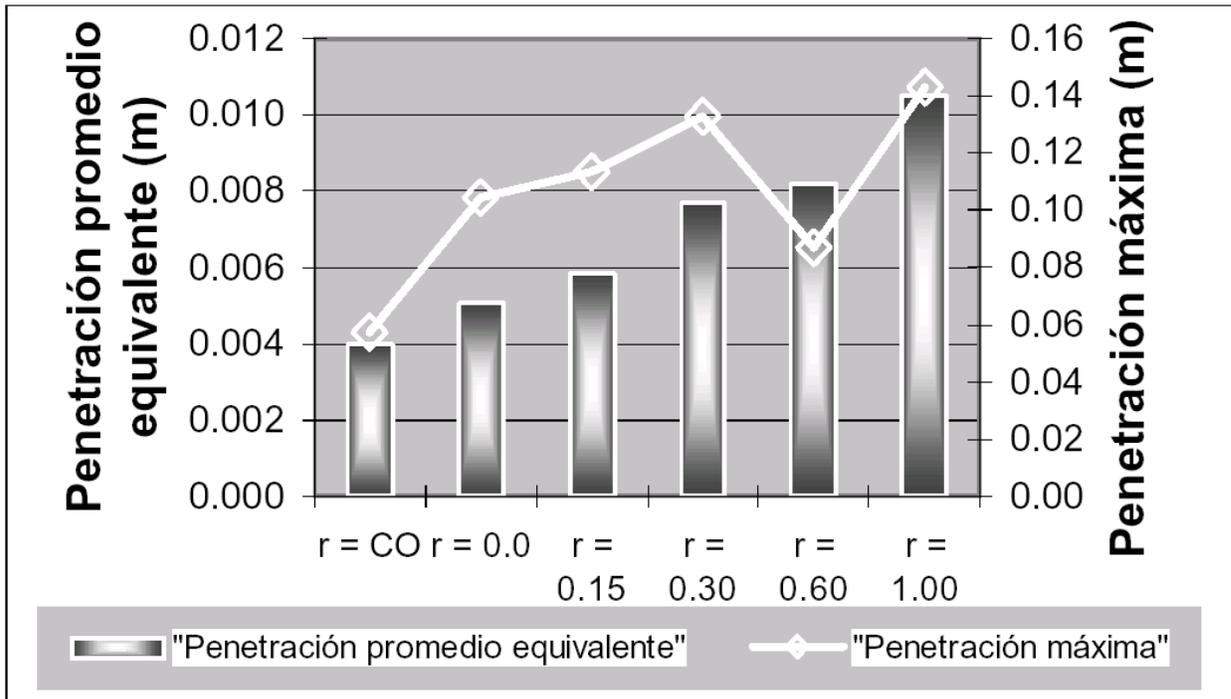


Fig.- III.3.1.1- Permeabilidad del agua (profundidad de penetración) para concreto reciclado.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

III.3.2.- Compresión simple.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

Los ensayos se realizaron en cilindros de Φ 0.15 m x 0.30 m y las edades de ensayos fueron 7, 28 y 90 días para los CR y de 179, 200 y 262 días para el OC; cada punto de las figuras es un promedio de 3 ensayos.

Puede apreciarse que para las edades de estudio el $f'c$ decrece al incremento del factor r (Fig. III.3.2). Si se comparan los resultados con el concreto de referencia ($r = 0.00$), de forma independiente a la edad de ensayo, se obtienen las siguientes relaciones:

$$f'c_{r=CO} = 124.1\% f'c_{r=0.00}$$
$$f'c_{r=0.15} = 99.6\% f'c_{r=0.00} \qquad f'c_{r=0.30} = 97.8\% f'c_{r=0.00}$$
$$f'c_{r=0.60} = 91.6\% f'c_{r=0.00} \qquad f'c_{r=1.00} = 90.0\% f'c_{r=0.00}$$

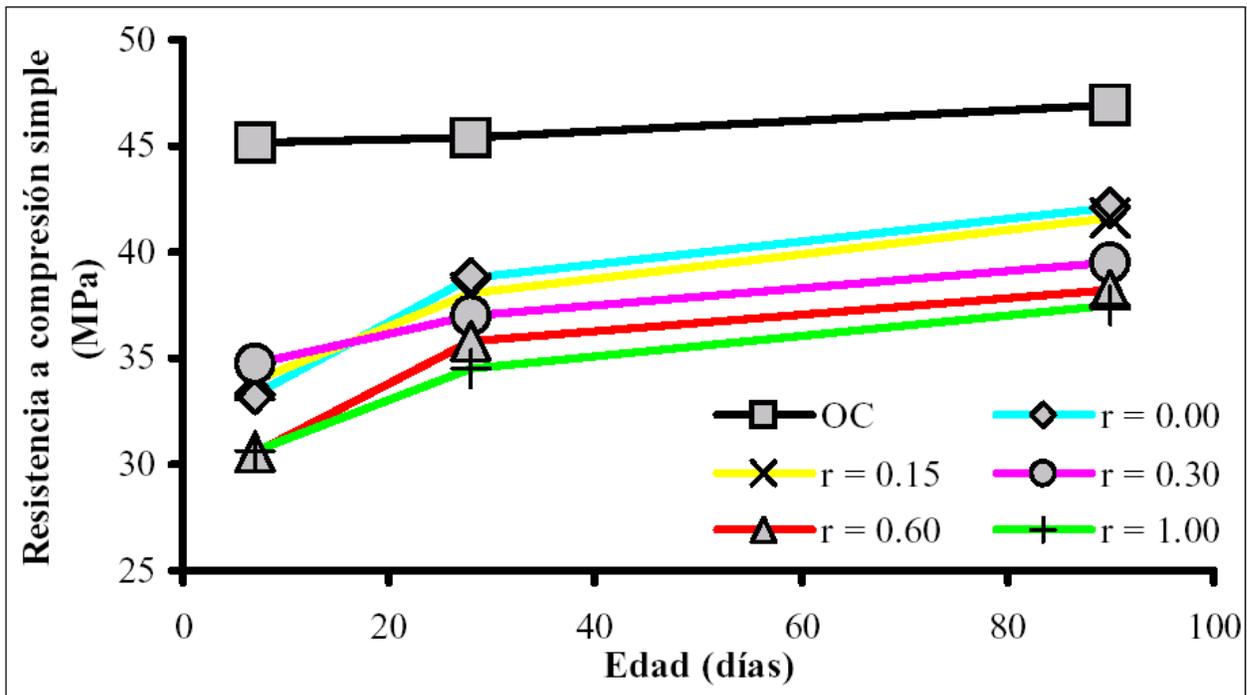


Fig.- III.3.2- Resistencia a la compresión simple de concretos reciclados.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

Se puede decir que para $r \leq 0.30$ el $f'c$ es sensiblemente igual al concreto de referencia.

Cuando se toma en cuenta la edad de los ensayos y se comparan con el concreto de referencia se puede observar que las evoluciones de los CR son iguales, aunque claro esta, los niveles de tensión son menores. Por último, se observa que el tipo de falla ocurre usualmente en el nexo del mortero adherido al agregado original; echo que puede ser explicado por la incompatibilidad elástica entre el agregado y la fase de la pasta.

III.3.3.- Tensión Indirecta.

En la Fig. III.3.3. se muestran los ensayos realizados de tensión indirecta (f_t) para iguales edades y especímenes que en el apartado anterior. Si se expresan los valores de esta figura en función de sus respectivas resistencias a compresión simple, se obtiene:

$$f_t = \frac{f'c}{C}$$

donde: $C = 10.00$ para $r = 0.00$, $C = 10.31$ para $r = 0.15$, $C = 10.46$ para $r = 0.30$, $C = 11.66$ para $r = 0.60$ y $C = 12.59$ para $r = 1.00$.

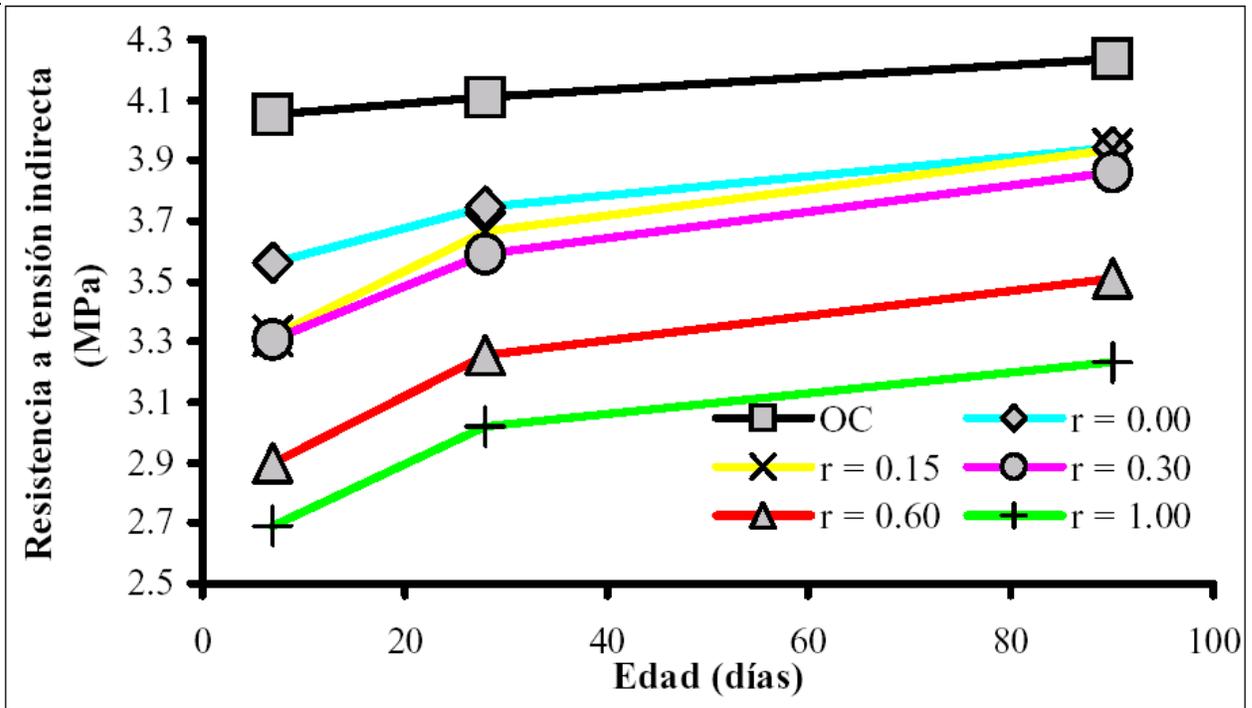


Fig.- III.3.3- Resistencia a la tensión indirecta de concretos reciclados.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

III.3.4.- Módulo de Elasticidad.

Para el estudio de esta propiedad mecánica se optó por igual número y edad de ensayo que en apartados anteriores; en los registros de las deformaciones se utilizaron dos galgas extensométricas posicionadas en sentido vertical sobre dos generatrices opuestas de los cilindros. Las galgas utilizadas fueron del tipo PL-60-11-1L TML y el ensayo se rigió por la normativa UNE 83.316: 1996.

En la Fig. III.3.4 se presentan los valores del módulo de elasticidad (E) para los diferentes concretos de estudio. Se observa que el valor medio del E, sin importar la edad de ensayo, alcanza su cota mínima para $r = 0.60$, presentando un 89% del E del concreto

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

de referencia; siguiéndole de cerca $r = 1.00$ que tan sólo alcanza un 90% del E del concreto de referencia.

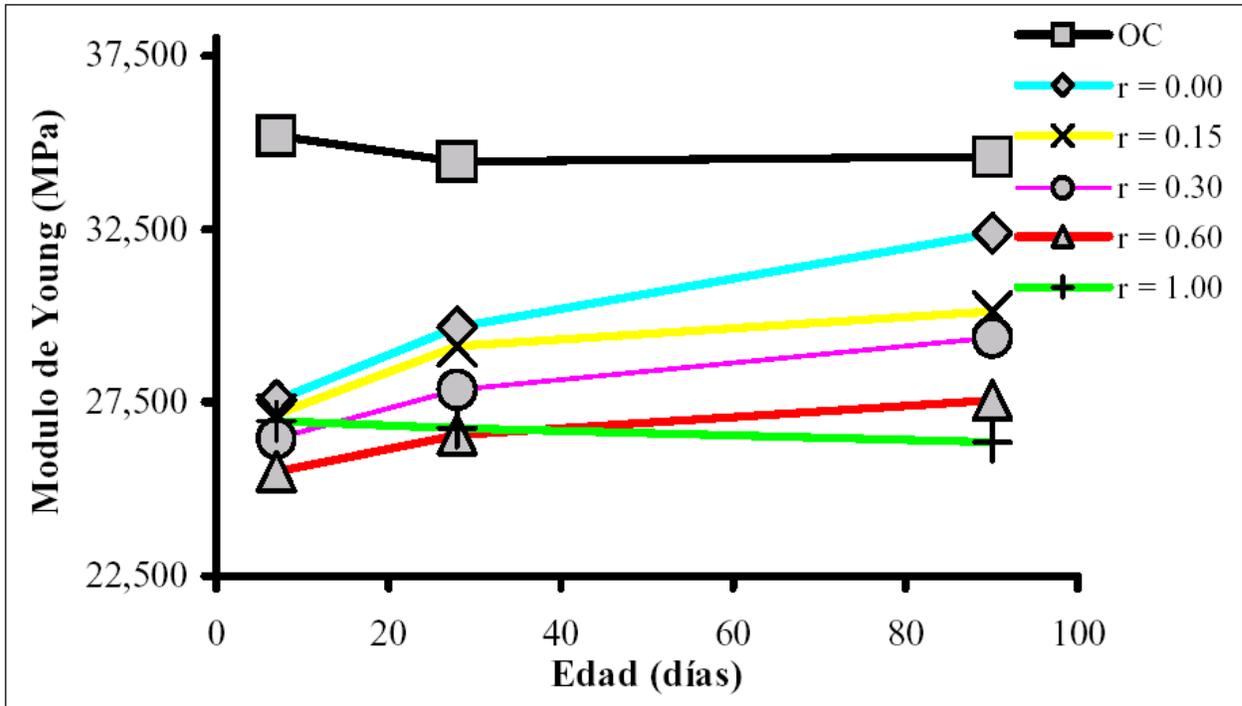


Fig.- III.3.4- Módulo de Young para concretos reciclados.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

Como es bien sabido, el E de los CR decrece con el incremento de la sustitución del NA por el ARC. Este comportamiento también fue observado en estos ensayos; llegando en el caso extremo a reducir el E en un 81% menos que el concreto de referencia, cuando $r = 1.00$ a la edad de 90 días.

III.3.5.- Contracción y Fluencia.

Para los ensayos restantes de esta campaña experimental se utilizaron ocho cilindros de $\Phi 0.15 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$ para cada una de las variable antes propuestas. Las medidas de

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

deformación fueron realizadas con galgas embebidas (tipo EGP–Series MM) colocadas en el centro de los especímenes de concreto (ver Fig. III.3.5).

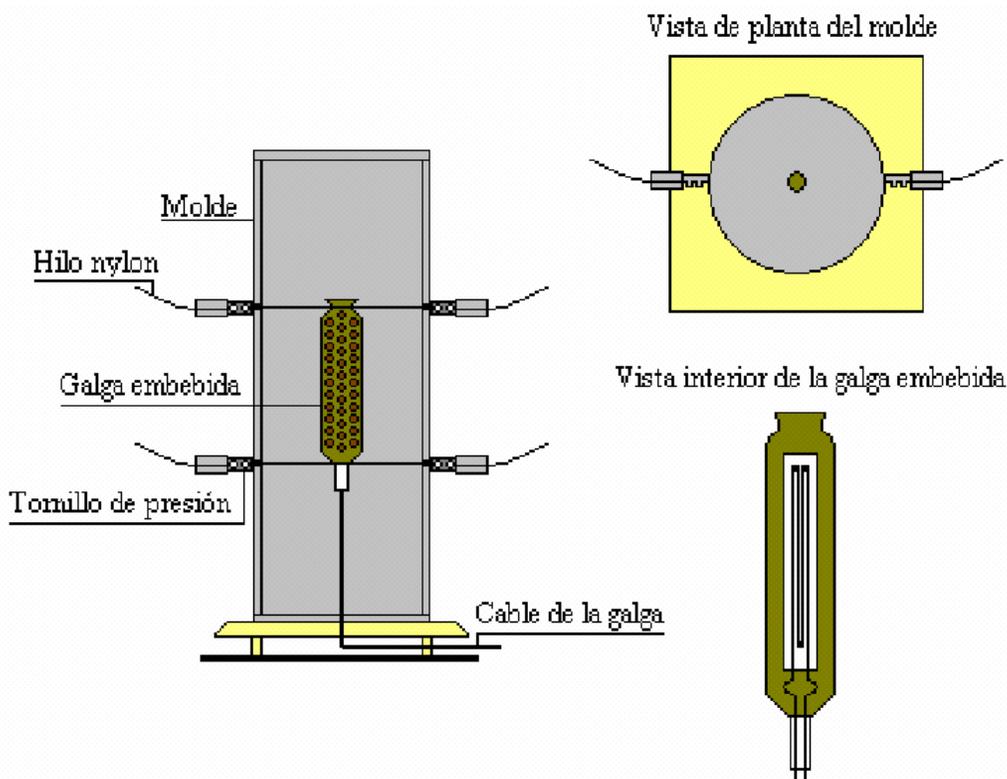


Fig.- III.3.5- Instalación de las galgas embebidas, $\frac{1}{4}$ de puente de Wheatstone.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

Los especímenes se mantuvieron en cámara de curado durante 28 días ($T = 20\text{ °C} \pm 2$ y $HR = 90\% \pm 5$), a partir de entonces los especímenes pasaron a una cámara climática ($T = 20\text{ °C}$ y $HR = 50\%$) hasta el final del periodo de ensayo (90 días). Los instantes de inicio de registro de deformaciones fueron: para contracción básica y por secado $t_0 = 24$ horas después de colados los especímenes, para fluencia básica y por secado $t_0 = 28$ días.

Cuando se procedió al paso de especímenes a la cámara climática, cuatro de los ocho especímenes por cada variable de estudio (dos para contracción básica y dos más

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

para fluencia básica) fueron sellados en toda su superficie con parafina (± 0.003 m de espesor) y, por último, envueltos con 3 capas de papel estaño para evitar movimiento de agua con el medio ambiente de la cámara.

La configuración de los bastidores utilizados para los ensayos de fluencia básica y por secado se presenta en la Fig. III.3.5.1; de igual forma en la Tabla III.2.3., se muestran los valores de f'_c , niveles de tensión de ensayo para los diferentes concretos y deformaciones instantáneas y finales para las diferentes propiedades estudiadas.

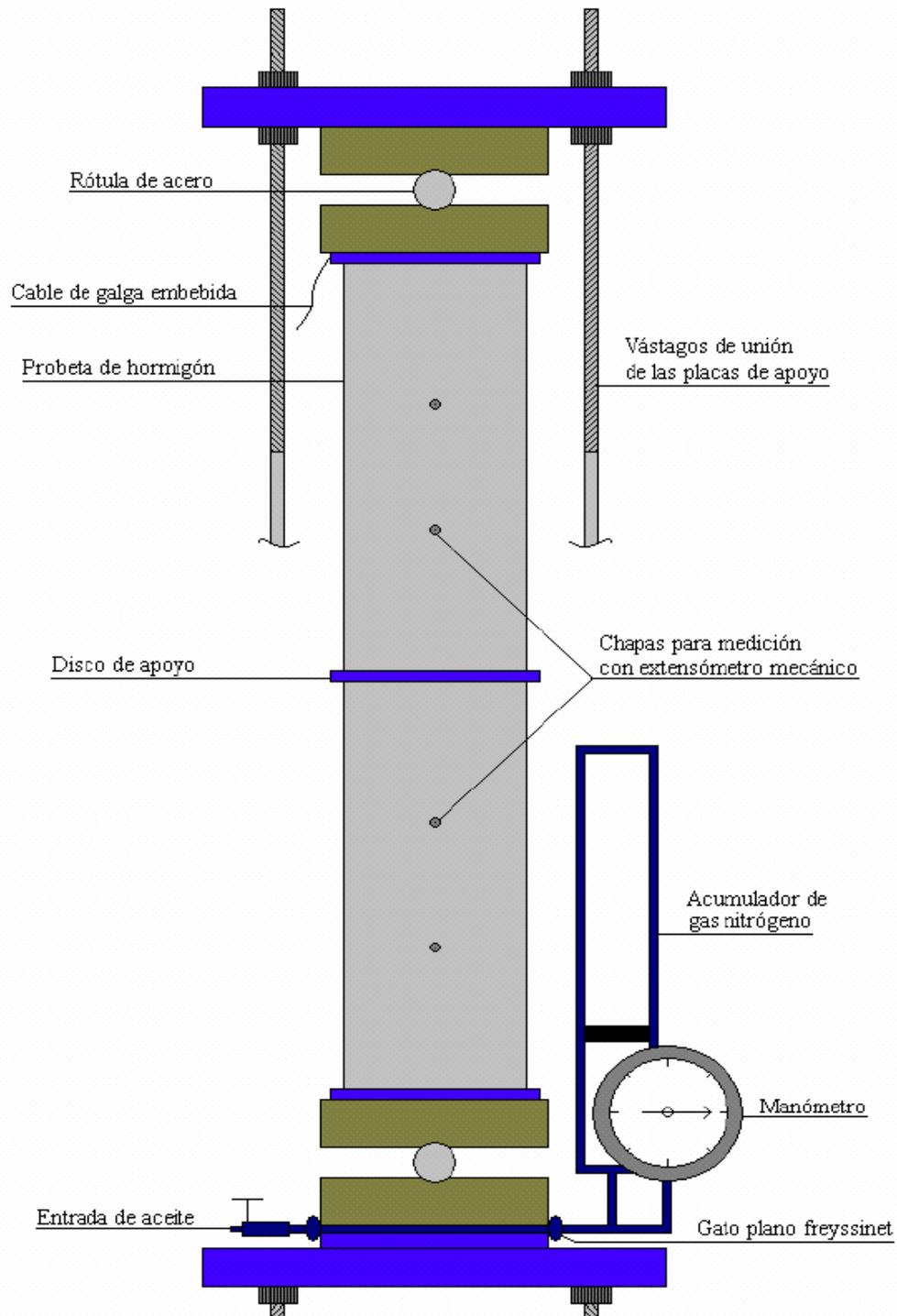


Fig.- III.3.5.1- Configuración de bastidores de carga para fluencia.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

En la Fig. III.3.5.2 se presentan las curvas para los ensayos de contracción básica (cada una de las curvas es el promedio de 2 especímenes). Como se aprecia en éstas, en los primeros 28 días (cámara de curado) los especímenes $r = 0.60$ y 1.00 experimentan considerable expansión; mas sin embargo, rápidamente se recuperan y contraen casi a iguales valores que el resto de los CR a edad de 90 días en cámara climática.

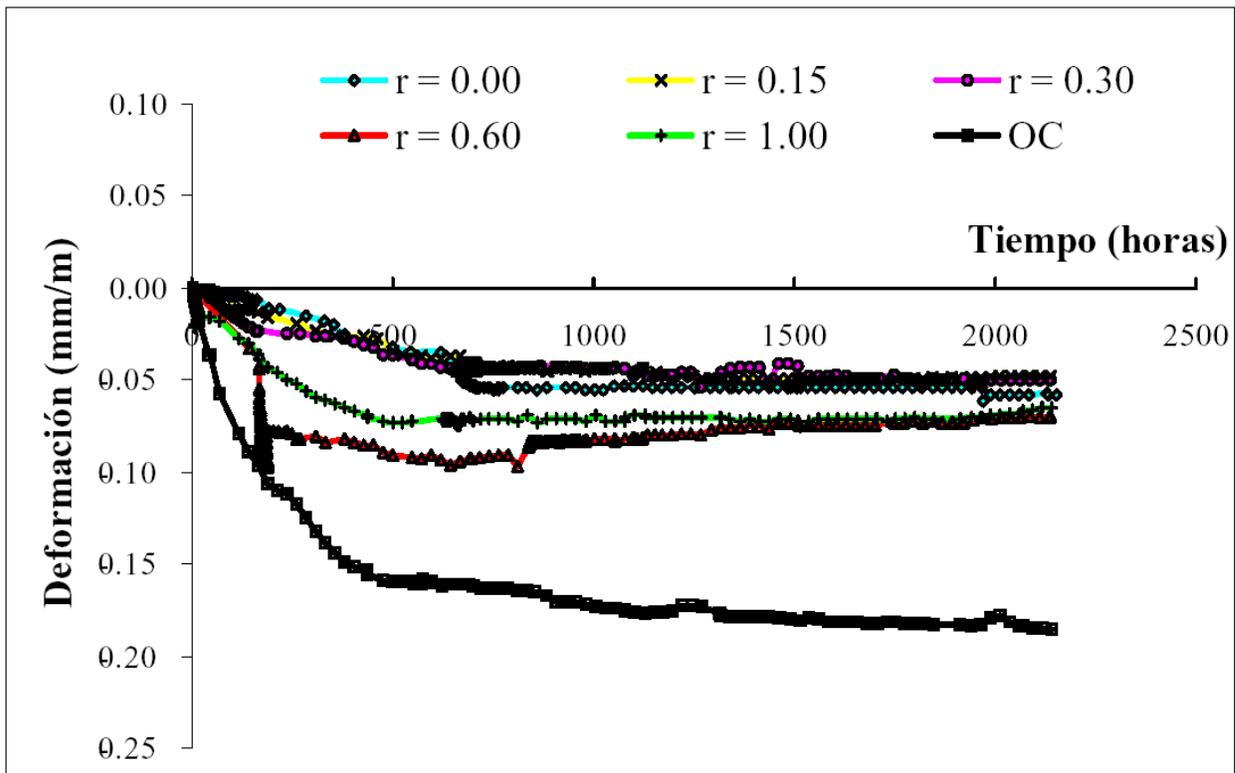


Fig.- III.3.5.2- Contracción básica para los diferentes concretos reciclados.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.