

Tesis de Becarios de Investigación

“FIJACION DE RESIDUOS EN MATRICES CEMENTICIAS”

BECARIO: Nieto Juan Pablo

TUTOR: Sota Jorge Daniel

AREA: Estructuras y Materiales de Construcción

Año: 2008

EVALUACION
DE
RESIDUOS
EN EL
HORMIGON

1. Hormigón (H°).
Introducción [4]

2. Incorporación de residuos en el H°. [6-24]

- 2.1.1-Residuos de la construcción y demolición (RCD). [7-11]
- 2.1.2-Residuos de la industria metalmecánica (Cromo IV, VI). [12-14]
- 2.1.3-Hormigón de corte. [15-18]
- 2.1.4- Residuos en la industria de la fundición. [19-21]
- 2.1.5-Residuos cerámicos. [22-24]

3. Anexo. [25-30]

- 3.1.1-Tratamientos de residuos. [25-306]

1. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCION:

El impacto medioambiental que generan hoy en día los residuos condujo a exigir una **política de gestión** de los ya existentes y prevenir su producción, jerarquizando los conceptos de Reducción (minimizar su generación, **reutilización**), Valorización (dar **uso al residuo**). La misma trata el gran problema de minimizar el uso de materiales no renovables por sustitución (aunque a veces parcial) de uno equivalente proveniente de los residuos.

Respecto a su “Valorización” se centra en **fijar** (confinarlo para que no actúe desfavorablemente con el medio) o **incorporar** (determinando las propiedades del material con el objetivo que forme parte del compuesto) el residuo (haciendo referencia al residuo ya tratado) en **matrices cementicias** (pasta de cemento) para materiales en la construcción (en este caso Hº para estructuras).

HORMIGON



RESIDUO EN EL HORMIGON

2.1.1-Residuos de la construcción y demolición (RCD).

(a) INTRODUCCION.

El residuo, a reciclar y reutilizar, proviene de la actividad de demolición de obras civiles. Su incorporación en hormigón estructural, según el reciclado, corresponde a la sustitución parcial o total del agregado grueso, y es este interés el que motiva su estudio.

(b) METODOLOGIA (MATERIALES Y DESARROLLO EXPERIMENTAL).

El reciclado del producto de la demolición se realiza por trituración del mismo (ejemplo, trituradora a mandíbula con producción de 4m³/hs), obteniéndose agregados (de tamaño máximo) **AR 37.5, 25.4 y 9.5**.

En la tabla 1 se evaluaron los materiales empleados para confeccionar los H° de prueba y patrón.

DESIGNACION	TM	MF	DENS. RELA. (sss)	ABSORCION		
				5min	10min	24 hs
ARENA	-----	2.54	2.49	-----	-----	0.18%
AN 37.5	37.5	7.64	2.67	-----	-----	0.71%
AN 25	25.4	6.64	2.56	-----	-----	0.73%
AR 37.5	37.5	7.73	2.52	3.11%	3.66%	4.43%
AR 25	25.4	6.55	2.47	3.5%	4.37%	5.19%
AR 9.5	9.5	3.9	-----	-----	-----	8.46%

AN(Arena natural)—AR(Arena reciclada)

TABLA 1.

DESIGNACION	MORTERO ADHERIDO (%)
AR 37.5	17.34
AR25.4	41.83
AR 9.5	65.72

Inmersión en sulfato de sodio.

TABLA 2

Es importante destacar que la arena **AR 9.5** no se considera, debido al elevado porcentaje de mortero adherido (efecto indeseable que se aclarara en conclusiones) indicado en la tabla2.

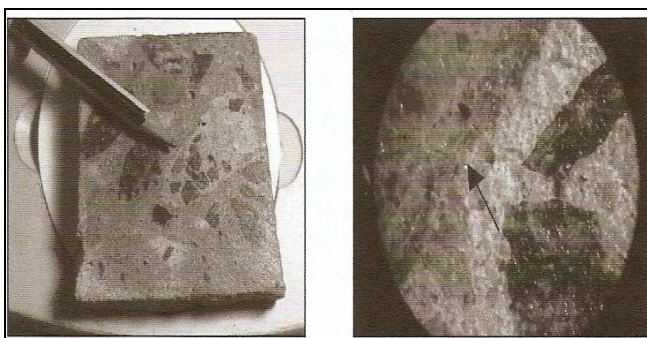


Fig.-2

Fig.-3

Fig 2.
Corte de HR 75.

Fig3.
Evaluación visual de la adherencia mortero-agregado reciclado de un HR 75.

Los H° confeccionados fueron realizados con agregados naturales (H° patrón) y con la sustitución del árido fino natural por el árido reciclado para H° de evaluación del reciclado. En la tabla 3 se tiene la dosificación de los distintos H°, resultando en total **15 probetas cilíndricas** (15x30cm) confeccionadas en **tres pastones de 5 cada una**, con el objetivo de ensayar a **compresión simples 3** probetas (una de cada pastón) a las edades **7, 28 y 60** días, otras **3** (en igual elección) **tracción por compresión diametral**, y el resto para determinar el **módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson**.

Los parámetros de diseño de los H° fueron:

- ✓ Resistencia característica 25 MPa
- ✓ Desvío estándar 4 MPa.
- ✓ Contenido de C° 350kg/m³.
- ✓ a/c= 0.50
- ✓ asentamiento cono de Abrams 5 a 10 cm (H° plásticos).
- ✓ Mezclado en seco de agregados.

En la tabla 3 se indican la composición en peso seco de los H° elaborados. La designación HR 25 (etc.), corresponde a hormigones (H) reciclados (R) con un 25% de reemplazo del agregado natural.

MATERIALES	HORMIGONES			
	HR0	HR25	HR50	HR75
AGUA	175 litros			
CEMENTO CPN40	350Kg			
a/c	0.5			
ARENA SILICIA	610 kg	610 kg	610 kg	610 kg
AN 37.5	377 kg	188 kg	-----	-----
AN 25	814 kg	702 kg	588 kg	294 kg
AR 37.5	-----	172 kg	343 kg	343 kg
AR G 25	-----	103 kg	208 kg	479 kg
% REAL ARIDO RECICLADO MF	0%	23.6%	48.37%	73.65%
MEZCLA AGREGADO GRUESO	5.70	5.67	5.41	5.4

Composición en peso seco de los H°

TABLA 3

La mezclas con inclusión de AN 37.5 en H° HR 50 y HR75, por razones de trabajabilidad de la mezcla (curva de Fuller), no se materializaron.

(c) RESULTADOS.

- Asentamiento y valorización de la plasticidad

HR 25: se observa un incremento del asentamiento (9 cm contra 5 cm) pero manteniéndose en el rango plástico. (TABLA 4)

HR 50 y HR 75: los asentamientos fueron aun mayores (TABLA 4), no cumpliendo con lo requerido, pero un reposo mayor en la etapa de mezclado aseguro el asentamiento en los niveles prefijados (posible no saturación en la etapa de mezclado en hormigonera en tiempos normados).

DESIGNACION	7días	28	60	ASENTAMIENTO
HR0	0.93	1.92	2.00	5.0cm
HR25	0.92	1.02	2.45	9.0cm
HR50	2.18	0.58	1.95	8.8cm
HR75	0.85	1.05	1.06	8.8cm

Desvío estándar por edad y asentamiento

TABLA 4

- Resistencia a la compresión 7 – 28 - 60 días.

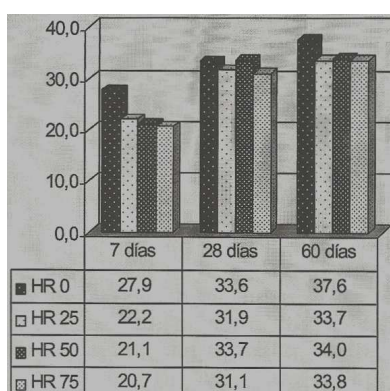


Fig.-1

En la figura 1 se observan resistencias a los 7 días que van del 71% HR 25, 63% HR 50, 67% HR 75 y 83% (de la resistencia a 28 días) para HR 0.

A los 28 días la resistencia alcanzada por los HR (25-50-75) respecto al patrón (HR 0) no presentan diferencias significativas, repitiéndose igual concepto a los 60 días.

- Tracción por compresión diametral.

HORMIGON	TRACCION	COMPRESION	RELACION
	28días	28días	
HR0	3.09	33.6	9.2%
HR25	3.05	31.9	9.6%
HR50	3.08	33.7	9.1%
HR75	3.05	31.1	9.8%

TABLA 5

Los valores obtenidos a 28 días de los HR 25 – 50 - 75 respecto al patrón HR 0 no presentan diferencias de comportamiento.

- Módulos de elasticidad y coeficiente de Poisson.

DESIGNACION	Gpa	%
HR0	23.62	100.00
HR25	22.98	97.29
HR50	22.46	95.09
HR75	19.57	82.85

El módulo elástico se ve disminuido con el incremento de reciclado, hecho relacionado con el aumento del mortero adherido en el mismo.

Módulos de elasticidad

TABLA 6

DESIGNACION	POISSON	%
HR0	0.155	100.00
HR25	0.182	117.42
HR50	0.225	145.16
HR75	0.235	151.61

Coefficiente de Poisson

TABLA 7

(d) CONCLUSIONES.

- Los H°, valorizados para diseño estructural (edificios – pavimentos - etc.), con reciclados triturados recuperados de demolición o descarte son aptos para tal fin.
- El ensayo de absorción temprana (5 a 10 minutos) aporta información para regular la consistencia de los hormigones, para un mezclado en seco.

2.1.2 - Residuos de la industria metalmeccánica (Cromo IV, VI).

(a) INTRODUCCION.

Una gama de metales, proveniente de las distintas industrias, presentan el inconveniente de su movilidad física, manipuleo debiéndose tratar previamente para poder reciclado (técnicas de solidificación/estabilización). Tal es el caso del Cr (Cromo) obtenido de la industria metalmeccánica (caso que se analizara) donde se busca la estabilización y confinado en una matriz cementicia, formando parte de un H° como **árido fino** con fines estructurales.

(b) METODOLOGIA (MATERIALES Y DESARROLLO EXPERIMENTAL).

La inclusión del Cr en matrices cementicia es sabido que depende del estado de oxidación presente, así el Cr (VI) se incorpora en la fase hidratada del cemento con elevado porcentaje de Cr (VI) en el agua de poros, en cambio el Cr (III) se incorpora en la fase sólida del cemento con bajos contenidos de Cr (III) en el agua de poros.

Los parámetros de diseño de los H° fueron:

- ✓ Resistencia característica 30MPa y resistencia media esperada a 28 días de 37MPa.
- ✓ Desvío estándar 4MPa.
- ✓ Contenido de C° 350kg/m³, clasificación CPF - 40.
- ✓ a/c= 0.35
- ✓ asentamiento de Abrahams del orden de los 6 cm (Hormigón plásticos) con uso de aditivo superfluidificante.
- ✓ Mezclado en seco de agregados.

DESIGNACION	% Cr
H1	0
H2	3
H3	5
H4	7
H5	10

Se confecciono H° con un porcentaje creciente, en peso de cemento, de residuo.

Cabe destacar el número de moldeo de **probetas cilíndricas** (15cmx30cm) de cada tipo de Hormigón (para la batería de ensayos fijadas) siendo de 15 distribuidas en 3 pastones de 5 cada una. En la etapa de **curado** (inmersión en agua) no hubo inclusión de cal con el propósito de evaluar el “ph” del H°.

(c) RESULTADOS.

○ Ensayos **físico-químicos**.

PARAMETRO	RESULTADO
ph	7.4
SUSTANCIAS SOLUBLES EN ETER ETILICO (g/100g muestra húmeda)	3.35
HUMEDAD(g/100g)	228.5
SÓLIDOS VOLATILES (g/100g muestra húmeda)	14.4
Cr TOTAL (g/100g muestra húmeda)	18.6
Cr VI (g Cr/100g muestra húmeda)	<0.01
Pb (g Pb/100g muestra húmeda)	0.03
Cu (g Cu/100g muestra húmeda)	1.3
He (g He/100g muestra húmeda)	0.08
Ni (g/100g muestra húmeda)	0.02

TABLA 1

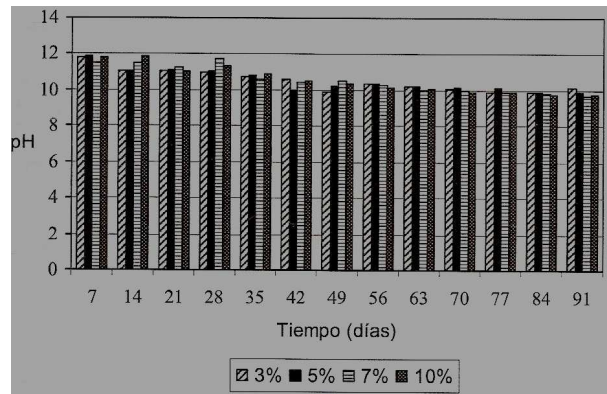


Fig.-1

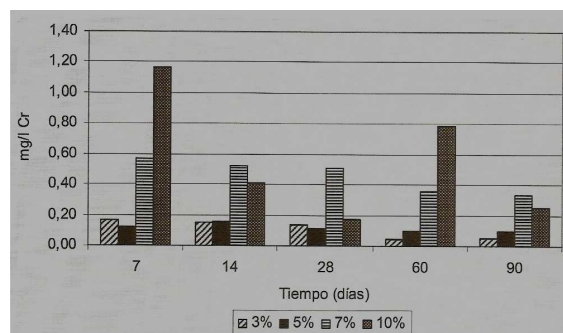


Fig.-2

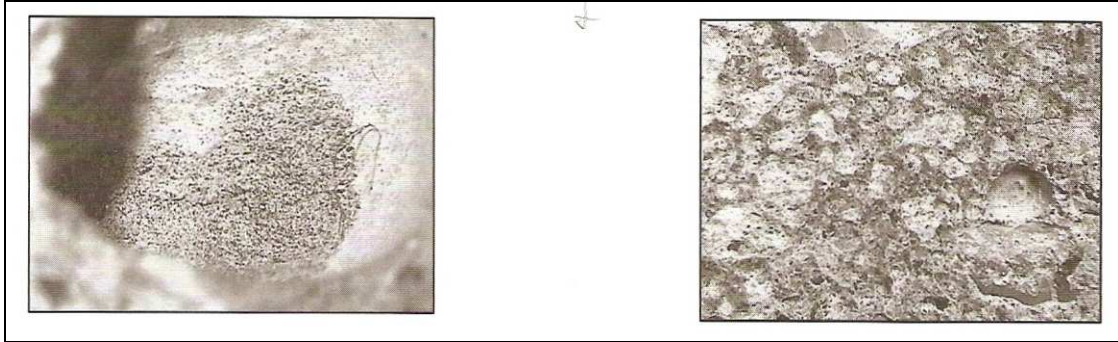


Fig.-3 : Poro de 3% de residuo

Fig.- 4 :Pastón de 3% de residuo

○ Ensayos **mecánicos**

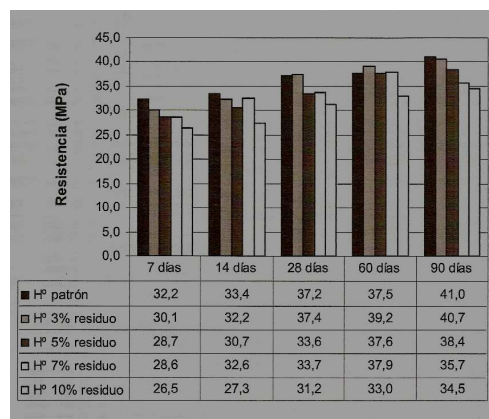


Fig.-5

(d) **CONCLUSIONES.**

La batería de ensayos del que se desprende las conclusiones es a **corto plazo**, siendo conveniente un estudio a largo plazo.

○ **Lixiviados**

La ausencia de **Cr (VI)** se verificó hasta las condiciones más severas de trituración y molienda del H° con residuo hasta los 90 días, mientras que el **Cr (III)** se mantuvo en los límites de contenido de la Ley de Residuos Peligrosos 24051 (<5mg/l).

○ **Cr-Matriz**

A partir de los ensayos **físico-químicos** y la observación de la dispersión del residuo en la matriz cementicia se concluye que en los porcentajes de 3 %, 5 % y 7 % la fijación del residuo es buena.

○ **Resistencia a compresión.**

Los valores hallados muestran un buen comportamiento resistente en toda la gama de porcentajes de residuo, asegurando su uso para H° estructural.

2.1.3-Hormigón de corte.

(a)INTRODUCCION.

El **H° de corte** es el resultado del H° en estado fresco (previo al colado) sobrante de una parida (mixer) en general. El mismo puede ser reutilizado en planta o depositados en acopios como material residual. En esta instancia, donde se generan altos volúmenes de residuo, se estudia su reciclado en H° con fines estructurales también como desarrollo sustentable de agregado natural).



Acopio de H° de corte

Es importante la **procedencia** (zona de acopio, como se ve en la figura) del H° de corte como así también, **tiempo** en deposito, **temperaturas** y **humedad** y las **características de diseño**, ya que sin lugar a duda son parámetros principales de reciclado.

(b)METODOLOGIA (MATERIALES Y DESARROLLO EXPERIMENTAL).

El residuo (acopio al **aire libre** durante **2 meses**, con temperaturas medias de **10 °C** y **humedad relativa del 75 (%)**) para su reciclado y posterior uso en la dosificación de H° es triturado con premisa de alcanzar el tamaño de agregado grueso para H° estructural. Debido al proceso de triturado y porcentaje de mortero adherido, el material granular obtenido presenta una elevada **absorción “A (%)”** (Porosidad) como dato mas destacado, indicado en la tabla 1, además de otros ensayos requeridos para agregados gruesos con fines en H° estructural, comparado con una piedra granítica partida.

PROPIEDADES	PIEDRA PARTIDA GRANTICA	AGREGADO GRUESO RECICLADO
D _{ss}	2.72	2.44
A(%)	0.2	5.8
PASA TAMIZ 75µm (%)	1.0	3.9
DESGASTE LOS ANGELES (%)	25.0	33.6

TABLA 1

Los parámetros de diseño de los H° fueron:

- ✓ Resistencia característica 30MPa.
- ✓ Desvío estándar 4MPa.
- ✓ Contenido de C° 350 kg/m³ , clasificación CPF - 40.
- ✓ a/c= 0.45
- ✓ Arena silicia natural, MF = 2.30 – D_{ss} = 2.63 (H° patron)
- ✓ Piedra partida granítica 6 - 20, similar a la del H° de corte (H° patrón).
- ✓ Mezclado en seco de agregados.

Los pastones de H°, diseñados con agregado grueso reciclado, fueron acrecentando el porcentaje en 25 %, 50 %, 75 % de reemplazo del agregado natural con una adición de aditivo plastificante en porcentajes también crecientes, con el fin de mantener la trabajabilidad del H° (evaluada en el asentamiento).

MATERIALES	HC	HR25	HR50	HR75
AGUA	165	165	165	165
CEMENTO	370	370	370	370
AGREGADO FINO	865	865	865	865
PIEDRA PARTIDA GRANITICA	1010	760	505	250
AGREGADO GRUESO REICLADO	-----	230	455	680
ADITIVO PLASTIFICANTE	-----	1.48	1.85	2.59
PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO				
ASENTAMIENTO	70 mm	50mm	30mm	25mm
PUV(Kg/m ³)	2417	2385	2373	2317
AIRE NATURAL INCORPORADO	1.9	2.3	2.5	3.0

TABLA 2

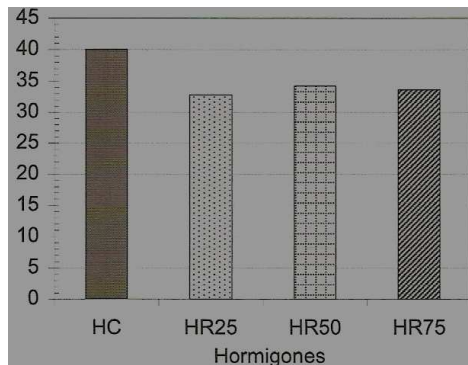
La disminución del asentamiento (a pesar del incremento de aditivo) se adjudica a la considerable absorción del agregado reciclado, de agua y aditivo, en el diseño de secos al aire, influenciando en los costos de reciclado.

La disminución del peso por unidad de volumen del H° se debe al bajo peso específico del agregado reciclado.

Los ensayos realizados para H°:

- Resistencia a compresión
- Tracción indirecta.
- Modulo de elasticidad estático.

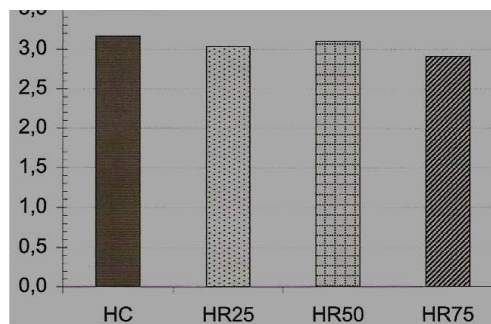
Respecto al ensayo de **resistencia a compresión** (determinado como el promedio de tres probetas para cada tipo de H°) se observa una disminución de aproximadamente el 17% respecto al HC. Este valor se mantiene aun en los distintos porcentajes de HR (25 %, 50 %y 75 %).



Resistencia a la compresión

Fig.-2

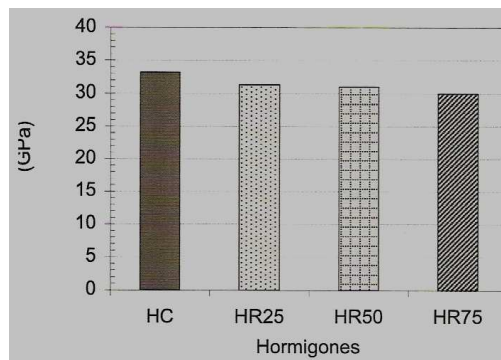
En el ensayo de **tracción indirecta** también se refleja la disminución de la resistencia.



Tracción indirecta

Fig.-3

En el ensayo de **módulo de elasticidad estático** la presencia de mortero en el agregado reciclado supondría una mayor deformabilidad del Hº, hecho que se verifica según los resultados obtenidos, siendo mayor a medida que se incrementa el porcentaje de agregado reciclado.



Módulo de elasticidad estático

Fig.-4

(d) CONCLUSIONES.

- Los AGR, respecto a agregados naturales graníticos, presentan **densidad** menores, **absorción** mayor, **desgaste los ángeles** mayores, **finos** mayor porcentaje.
- Los AGR en condiciones de seco al aire en la elaboración de H° reciclados produce una disminución de la **consistencia** aun con la incorporaron de aditivo plastificante
- Los H° con AGR presentan un menor **peso por unidad de volumen** estado fresco debido a la baja densidad del AGR, y un aumento del aire naturalmente incorporado.
- **La resistencia a compresión** se vio disminuida indistintamente del porcentaje de AGR.
- El **modulo estático** se ve disminuido por la mayor deformabilidad del AGR, siendo mayor a medida que aumenta el porcentaje de AGR.

Debe tenerse en cuenta que el AGR no tuvo ningún tipo de cuidado (curado, compactación,...) los resultados fueron satisfactorio.

2.1.4- Residuos en la industria de la fundición.

(a) INTRODUCCION.

El material valorizado proviene de la industria de la fundición.

El residuo es la arena que sirve de molde, al ser tratada adecuadamente, definiendo el RAF (residuo de arenas de fundición).

El estudio se centra en incorporar el RAF en matrices de Cemento Portland para uso vial.

(b) METODOLOGIA (MATERIALES Y DESARROLLO EXPERIMENTAL).

Los procesos de fundición generan dos tipos de agregado por colapso de los moldes, desagregados y conglomerados en forma de terrones **RAF1** (reciclado por reemplazo del **árido grueso**) y simplemente desagregado **RAF2** (reciclado por reemplazo del **árido fino**).

CARACTERIST.	RAF 1		RAF 2	
	(a)	(b)	(a)	(b)
METAL FUNDIDO	Aluminio	Aluminio	Hierro gris	Hierro nodular
AGLOMERANTES	Base resina	RECIRCULADA Base resina	Arena en verde Tierra sintética	Arena en verde Tierra sintética
MOLDEO	Resina de reacción poliuretánica	Resina de reacción poliuretánica	Bentonita, carbón mineral, otros	Bentonita, carbón mineral, otros
TIPO DE PRODUCCION	Discontinua Una pieza	Discontinua Una pieza	Continua Grandes series	Continua Grandes series
RECIRCULACION	Un solo uso y descartable	Desagregado y reciclado	90%	90%
CARACTERISTICA FISISCA	Agregado en terrones	Desagregado y agregado en terrones	Desagregado	Desagregado

TABLA 1

En la fundición, las arenas de moldeo absorben compuestos químicos especialmente por el tipo de aglomerante usado. La evaluación del porcentaje de estos metales pesados se realiza por ensayos de lixiviados.

METALES E HIDROCARBUROS DETERMINADOS	RAF 1		RAF 2	
	(a)	(b)	(a)	(b)
COBRE (mg/Kg)	4.2	3.4	15.2	15.0
CINC (mg/Kg)	4.4	37.0	4.8	4.7
NIQUEL (mg/Kg)	1	Nd	Nd	Nd
PLOMO (mg/Kg)	70.0	157	0.2	0.2
CADMIO (mg/Kg)	0.4	0.4	1.4	1.4
CROMO (mg/Kg)	Nd	Nd	Nd	Nd
HIDROCARBUROS TOTALES (g/Kg)	0.64	0.76	--	--

TABLA 2

(c) RESULTADOS.

Los resultados obtenidos indican que el RAF1 (reciclado por reemplazo del árido grueso) la incorporación del mismo en H° con aire intencionalmente incorporado dan resultados satisfactorios de lixiviados y baja velocidad y capacidad de succión capilar. Para el RAF2 (reciclado por reemplazo del árido fino) no se tiene una disminución considerable y manteniéndose los valores de succión capilar.

MATERIALES P/1m ³ y ENSAYOS	RAF 1			RAF 2		
	Patrón	RAF (a)	RAF (b)	Patrón	RAF (a)	RAF (b)
CEMENTO	245	245	245	350	350	350
ESCORIA	105	105	105	150	150	150
AGUA	175	175	175	180	180	180
AGREGADO GRUESO	1120	1000	1000	1019	1019	1019
AGREGADO FINO	644	644	644	670	535	535
RAF	0	120	120	0	135	135
INCORPORADOR DE AIRE	0.186	0.186	0.186	0	0	0
SUPER FLUIDIFICANTE	0	0	0	3	3	3
ASENTAMIENTO	11	10	11	10	9	8
CONTENIDO DE AIRE %	4	4	4	3	3	3
f 'c 28 días MPa	30.0	30.0	24.6	40.6	39.0	37.0
f 'c 60 días MPa	44.6	40.7	35.8	48.8	45.1	47.6
f 'c 90 días MPa	46.1	42.2	37.0	51.0	51.7	51.3

TABLA 3

	SUCCION CAPILAR		
	HORMIGON	CAPACIDAD (g/m ²)	VELOCIDAD (g/m ² /seg ^{1/2})
RAF 1	PATRON	1763.4	3.89
	RAF (a)	1507.5	3.15
	RAF (b)	1487.1	3.13
RAF 2	PATRON	2233.1	3.72
	RAF (a)	1855.0	2.96
	RAF (b)	2138.2	3.48

TABLA 4

MUESTRAS	RAF 1			RAF 2		
	Patrón	RAF1(a)	RAF1(b)	Patrón	RAF 2(a)	RAF2 (b)
COBRE (mg/Kg)	2.40	3.00	3.00	4	10.8	11.4
CINC (mg/Kg)	nd	nd	Nd	14	32	40
NIQUEL (mg/Kg)	7.4	6.2	3.8	42	14	12.4
PLOMO (mg/Kg)	2.4	2.2	2.80	nd	nd	nd
CADMIO (mg/Kg)	1.2	1	1.20	nd	nd	nd
CROMO (mg/Kg)	1	1	1	3	7.2	10.4

TABLA 5

d) CONCLUSIONES

- Los H° presentan comportamientos satisfactorios como medio de fijación, valorizados por ensayos de lixiviados y succión capilar.
- **RAF como agregado grueso.**
Los moldes reciclados que fueron tratados con hidrocarburos, presentan características físicas que permiten sustituir el árido grueso del H°; el arrastre por succión capilar de los contaminantes, se ve reducida con la incorporación de aire intencionalmente incorporado.
Un mayor porcentaje de RAF se traduce en una disminuir de la resistencia a compresión.
- **RAF como agregado fino.**
Los moldes reciclados procedentes de la fundición del hierro, permiten sustituir el árido fino del H° con el agregado de superfluidificante (para mantener la trabajabilidad); el efecto de succión capilar se encuentra en los rangos preestablecidos por norma, no viéndose afectada la resistencia a compresión respecto al H° patrón.

2.1.5-Residuos cerámicos.

(a)INTRODUCCION.

En la industria de la cerámica como consecuencia del corte y rectificación de piezas se genera polvo cerámico como residuo, posteriormente se lo trata en piletones, donde por acción de floculantes sedimenta para luego ser depositado en acopios. El contenido de compuestos (cuarzo, albita, mulita y fase vítrea) y las etapas por el cual son sometidas las piezas cerámicas, en especial los tratamientos térmicos, hacen del residuo una potencial **adición activa** para el cemento portland.

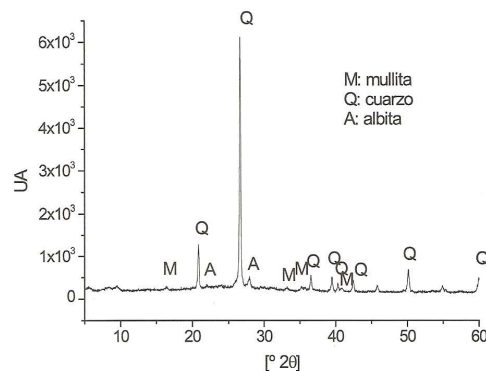
(b)METODOLOGIA (MATERIALES Y DESARROLLO EXPERIMENTAL).

En la tabla siguiente se cuantifico los componentes químicos del pulido o polvo cerámico (TABLA 1), coma también un análisis por DRX evidenciando otro tipo de compuestos (Fig-1).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
71.0	17.55	1.36	3.36	1.25	2.11	0.70
TiO₂	P₂O₅	MnO₂	BaO	Cr₂O₃	SrO	PPC
0.60	0.05	0.02	0.11	0.01	0.01	1.84

Componentes del polvo cerámico (determinación química)

TABLA 1



Caracterización del polvo cerámico por Difracción de Rayos X (DRX)

Fig.-1

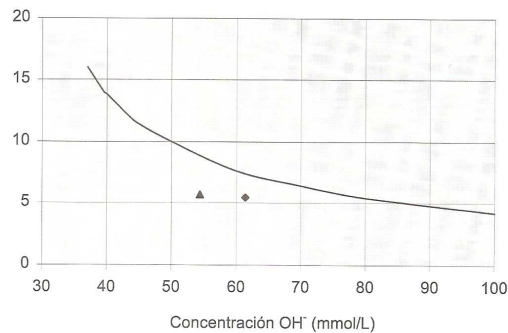
Desde el punto de vista físico se obtuvo el tipo de granulometría (TABLA 2) evidenciando un alto porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200.

TAMIZ	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO
80(177 μm)	7.4	7.4
100(149 μm)	4.0	11.4
170(88 μm)	3.4	14.8
200(74 μm)	2.1	16.9
Pasa 200	83.1	-----

TABLA 2

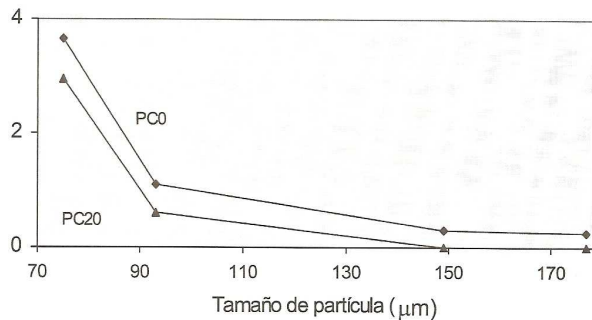
El estudio del polvo cerámico consistió en estudiar su **actividad puzolánica** con un reemplazo del cemento del 20 %, posteriormente se **molieron** en iguales condiciones una muestra de cemento (patrón) con otra de 20 % de cemento reemplazado por el polvo cerámico (PC20). El primer paso fue realizar el ensayo de Frattini (IRAM 1651) para la determinación de la potencial actividad puzolánica (Fig.-2). La **hidratación** de las muestras se realizó con una relación **a/c = 0.4**, concluyendo similares actividades reológicas de ambas mezclas.

El seguimiento de la hidratación temprana (48hs) se realizó por **calorimetría diferencial** (TABLA3). La resistencia mecánica de la pasta de cemento se realizó sobre probetas cilíndricas de 15cmx17cm ensayadas a diferentes edades, incluyendo un ensayo a largo plazo (10 meses y 20 días) con el fin de un seguimiento de la actividad puzolánica.



Ensayo **positivo** del “PC 20” Frattini
Fig.-2

Para analizar la finura del PC 20, se realizaron los ensayos de **superficie específica Blaine** con valores de 343 m²/Kg (cemento) y 490 m²/Kg, más las granulometrías, concluyendo la aprobación de la finura del material.

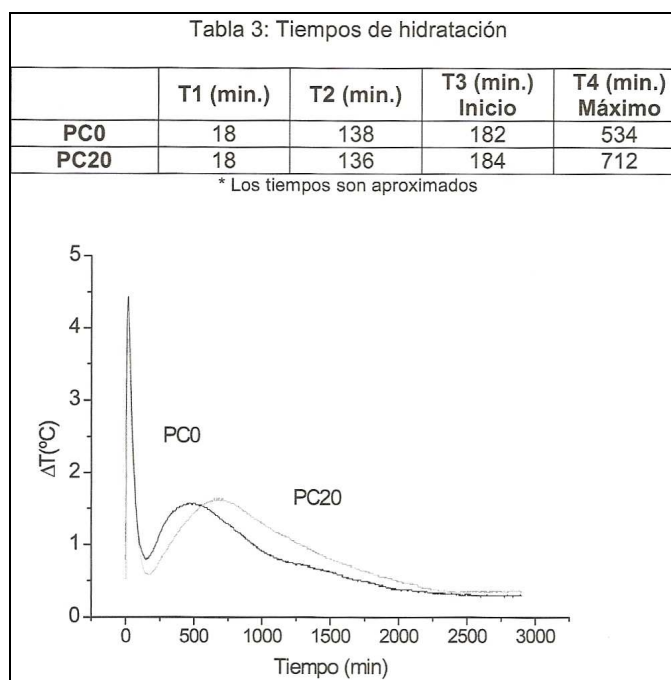


Porcentaje retenido por tamices.
Fig.-3

	T1 (min)	T2 (min)	T3 (min)	T4 (min)
			INICIO	Máximo
PC0	18	138	182	534
PC20	18	136	184	712

Calorimetría diferencial
TABLA 3

El corrimiento de la curva calorimétrica se explica como un retardo del tiempo de fraguado producido por el reemplazo del 20% del cemento por el polvo cerámico, en aproximadamente 3hs.



Curvas calorimétrica primeras 48hs.

Fig.-4

La valorización de la resistencia mecánica concluye que el reemplazo de un 20 % de cemento no modifica la resistencia mecánica respecto del patrón, además el calculo del **índice de actividad puzolánica (Ip)** no difiere de un 25 % respecto del patrón como especifica la norma.

EDADES(días)	7	28	130	320
PC0	33	29	38	-----
PC20	25	31	-----	38
% RESPECTO A PC0	75.5	106.8	-----	-----

Resistencia mecánica.

TABLA 4

(d)CONCLUSIONES.

- La determinación de **absorción temprana** (5 y 10 min.) en áridos reciclados, aporta información importante para regular la consistencia de los H° (en la técnica de premezclado en seco).
- Los ensayos de **sustancias nocivas** de los agregados, permeabilidad al ion cloruro, penetración del agua a presión o absorción del H° endurecido complementarían su uso y aplicaciones.

ANEXO

3.1.2-Tratamientos de residuos.

Residuos en matrices cementicias

La industria cementera y los materiales de la construcción admiten una gama inmensa de calidades estandarizadas y adecuada de materiales pudiendo **fijar e incorporar** los residuos como MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN con objetivos diferentes, como:

- Refuerzos en matrices cementicias (inorgánicas, también orgánicas o poliméricas).
- Adicción.
- Carga y nanopartícula (composites: nanotecnología)
- La simple inmovilización y/o sustitución.

En cada caso (y otros) se persigue mejorar las calidades de los distintos productos o mantenerla, como así también minimizar el uso de materiales naturales, de forma tal que el conjunto sea económicamente óptimo.

Fijación e incorporación:

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:

- ✓ **CARGA y NANOPARTÍCULA** (composites: nanotecnología):

Comprende el estudio de la nanotecnología aplicada al hormigón, un macro-material influenciado por sus Nano-propiedades (estudio de los materiales a escala “ $1 \times 10^{\text{exp } (-9)} \text{ m}^{\text{”}}$). La compacidad de las partículas en el H° puede mejorarse empleando **Nano-sílice (SiO₂)** lo que lleva a la densificación de la microestructura (estudio de los materiales a escala “ $1 \times 10^{\text{exp } (-6)} \text{ m}^{\text{”}}$) y nano estructura mejorando las propiedades mecánicas, y reduce la penetración del agua (mejorando la resistencia a la lixiviación)

- Cenizas volantes:

- Residuo de las industrias incineradoras de RSU.
- Tratamientos más utilizados
 - **Separación**
 - **Estabilización/ Solidificación** (más usado sin solidificación)
 - **Tratamiento térmico** (Vitrificación)

Su mayor inconveniente es su resistencia a la lixiviación a largo plazo.

- Valorización:
Su incorporación en la molienda del clinker, permite una sustitución (parcial) del cemento siendo importante para su sustentabilidad, mejora la durabilidad y resistencia del H°, pero el proceso de hidratación es más lento (respecto a H° corrientes).

Se combinan nano - sílice con cenizas volantes (de incineradoras RSU) reemplazando parte de cemento, otorgando al H° las propiedades indicadas y características medioambientales exigidas.

✓ **ADICIÓN y REFUERZO:**

REFUERZO: material encargado de suministrar resistencia y buen comportamiento mecánico a los "materiales compuestos" definiendo las características mecánicas de la pieza.

ADICIÓN: se define a compuestos naturales o artificiales que se incorporan al cemento o directamente al H° con el objeto de mejorar el comportamiento del mismo en estado fresco o seco.

En este trabajo se refiere a materiales provenientes de la valorización de residuos, y más aun proveniente de desechos o subproductos Agro - Industriales (Y Agro - forestales), para el ahorro de materiales cementantes de naturaleza mineral (Cemento Pórtland) y naturaleza orgánica (Polímeros). El gran problema de los frutos agrícolas se centra en que sólo el 4% de su biomasa es de utilización o aprovechamiento industrial, generándose gran cantidad de residuos.

La **incorporación** es a través de componentes particulados (compositos) y fibrosos, buscando un mejoramiento o extensión de las propiedades ya existentes de los elementos en la construcción.

✓ **INMOVILIZACIÓN y/o SUSTITUCIÓN:**

El reciclado comprende la incorporación del residuo con el objetivo que el producto mantenga relativamente (en un rango aceptable) las propiedades respecto a uno patrón.

- **Residuos con Cromo, Cr (III), Cr (VI):**

- Residuo sólidos de tratamientos y revestimientos de metales (galvanizado, fosfatado, decapado)

→ **Precipitación** del óxido de cromo en baños de sulfato (recuperación del Cr)

→ **Electrodiálisis**: recuperación de sales de Cr.

→ **Procesos térmicos**: recuperación del óxido de cromo a partir de las cenizas de los procesos térmicos de lodos u otros residuos ricos en Cr.

Tratamientos

- Tales residuos pueden ser inmovilizados en matrices cementicias (CP) dependiendo del estado de oxidación del Cr:

→ Cr (III): se incorpora en la fase sólida del cemento, con bajos niveles de Cr en el agua de poro.

→ Cr (VI): se incorpora en la fase hidratada del cemento, y el agua de poro contiene niveles elevados de Cr.

El material usado, para la inmovilización del Cr, es el H^o. Consiste en trabajar el residuo como parte de la fracción fina de los agregados, fijando los porcentajes de los mismos en función del porcentaje variable del residuo. Además debe hacerse una caracterización físico-químico del residuo, acopio, análisis granulométrico de los agregados y la dosificación del H^o patrón.

Caracterización físico-químico: (Determinación de elementos en el residuo)

- PH (método electrométrico)
- Humedad (Evaporación y secado en estufa a 105 °C)
- Sólidos volátiles (Secado en mufla a 55 °C)
- Sólidos solubles en Éter Etilico (Extracción con éter etílico y evaporación).
- Espectrometría de Absorción Atómica de llama: contenido de Cr, Ni, Pb, Cu, Fe.
- Ensayo de lixiviado (TCLP, EPA-1310A)
- Análisis por RAYOS X con Sonda de electrones

- Arenas de fundición:

Constituye el residuo más importante de las fundiciones convencionales. Las mismas se aglomeran con compuestos orgánicos, arcillas bentonitas o sintéticos (es mas utilizado), permitiendo ser conformadas para recibir el metal fundido.

- Residuo inorgánico proveniente de procesos térmicos. Luego del desmoldado y en frío hay que destruirlo (técnica de moldeo perdido) obteniéndose un residuo mas o menos conflictivo en función del proceso que ha sufrido.

Durante el proceso se forma acumulación de finos y una parte debe ser retirada para mantener constante la formulación arena-aglomerante obteniéndose más residuos Su uso como material para la construcción puede evitar el riego (por lluvias) que provoca su deposición en un paso hídrico subterráneo.

- Tratamientos para su recuperación → **Instalaciones térmicas indirectas.**
- La valorización del residuo puede ser interna (reutilización de las arenas en los procesos de moldeo) o externa (industria cementera, del ladrillo, material de construcción y otros).En función de la tecnología de la cementera puede añadirse como **adición en zona caliente** o **adición convencional** como premezcla con el resto de los materiales.

Se presento el estudio para inclusión de **arenas de fundición** en H^o (matriz de cemento Pórtland) empleados para estructuras, como sustituto parcial del agregado fino (arena natural).

Los aspectos a tener en cuenta son:

Una adecuada dosificación:

- Económicos.
- Trabajabilidad
- Resistencia y durabilidad.
- Permeabilidad

Materiales y ensayos:

Materiales:

- Empleo de escoria granulada de alto horno para una baja permeabilidad.
- Agregado → Fino → Arena natural silícica fina (Arg.) y gruesa (Ori.)
- Arenas de fundición → Moldeo virgen.
- Moldeo reutilizada.
- Grueso: piedra partida granítica.
- Aditivo incorporador de aire

Ensayos:

- Ensayos de lixiviación: Estudio de los componentes del lixiviado. “EPA SW 846 (1986)”
- Caracterización química:
- Lixiviación.
- Determinación de metales por espectrometría de absorción atómica en llama.
- Determinación de hidrocarburos totales por espectrofotometría infrarroja.

En el estudio de caracterizar el H° con arenas de fundición se moldean con diferentes porcentajes de agregado y se los ensaya comparando con un H° patrón (sin residuo). También se ensayo el asentamiento de las mezclas (ESTADO FRESCO) y velocidad de succión capilar, resistencia a compresión (ESTADO ENDURECIDO)

Conclusión:

En los ensayos se obtuvo una leve disminución de la resistencia a edades avanzadas, la succión capilar cumple con lo exigido por el reglamento (Cirsoc 201 versión 2005) y reducción en el asentamiento (posiblemente por la forma del agregado).

- Hormigón reciclado:

Consiste en la comparación en cuanto a las prestaciones mecánicas que presentan los H° elaborados con sustitutos parcial o total del árido grueso por RCDs (Residuo proveniente del derribo o demolición) mediante la caracterización de sus integrantes de la unión entre ellos por la matriz de pasta de cemento y de la interfase que presentan.

Su utilización supone una disminución de materia prima natural y la generación de los subproductos de desechos (escombros)

- Residuo de la construcción proveniente del derribo o demolición (RCDs)
- Tratamientos → **Trituración y clasificación** para uso como árido.
- El H° reciclado es aquel en el cual se realiza una sustitución parcial o total de los áridos que conforman el esqueleto del H° por otros materiales susceptibles de ser

reutilizados. El estudio comprende sustituciones del 20%, 50% y 100% del árido grueso natural calizo por áridos gruesos reciclados formados, en su mayor parte, residuos de H° procedentes de derribo.

Los RCDs están formados principalmente por H° y, en menor proporción, por otros materiales como:

- Cerámicos
- Piedra
- Asfaltos
- Metales
- Pequeñas trazas de yeso o plástico.

Características físicas:

- Porosidad.
- Permeabilidad.
- Resistencia a compresión y tracción.
- Finura, propagación de la misma y análisis microestructural por sonda electromagnética de barrido.

Conclusión:

Cuando se utilizaron tanto fracciones gruesas como finas de la más baja calidad de árido reciclado en la misma mezcla, la resistencia a la compresión se reduce y la porosidad se incrementa en comparación con la resistencia de referencia y el volumen de porosidad. En relaciones de agua/cemento bajas. La resistencia se limita por la calidad del mortero adherido. Una reducción del contenido de mortero adherido aumenta el rendimiento físico del H°, mediante la reducción de la porosidad, la absorción de agua y el grado de acción capilar. La estructura del mortero adherido es un indicador de calidad importante de los áridos reciclados que afecta directamente el rendimiento del hormigón de áridos reciclados.