

UTILIZACIÓN DE ÁRIDOS SIDERÚRGICOS

Eficacia e Impacto Ambiental

Dr. Enric Vázquez Ramonich

Catedrático de la ETS Ing. Caminos de Barcelona UPC

Una oportunidad para ahorrar recursos naturales

Escoria de Acero de Horno de Arco Eléctrico



Procesado

ÁRIDO SIDERÚRGICO

En nuestro entorno 400.000 t/año



COMPOSICIÓN QUÍMICA

Fe₂O₃	35,31	P₂O₅	0,33
MnO	6,07	SiO₂	10,55
TiO₂	0,27	Al₂O₃	7,67
CaO	23,62	MgO	2,86
Cal libre	0,14%	Cr₂O₃	2,60

Propiedades técnicas de los áridos siderúrgicos

Ensayo Los Angeles UNE EN 1097-2

Árido siderúrgico 10/20 16,8%

Árido siderúrgico 4/10 18,1%

Ensayo de pulimento acelerado CPA (NLT 174/93)

Árido siderúrgico CPA = 0,56

ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA

UNE EN 1744-1

■ <i>Densidad aparente de las partículas</i>	3,50(g/cm ³)
■ <i>Absorción</i>	1,0%
■ <i>Contenido de magnesio expresado en MgO</i>	3,15%
■ <i>Tiempo total de vapor</i>	24 horas
■ <i>Expansión 24 h (%)</i>	0,14%

- *Según la norma UNE-EN 13242, "Áridos para capas granulares y capas tratadas con conglomerantes hidráulicos para uso en capas estructurales de firmes" el árido siderúrgico ensayado se clasifica como de categoría V5.*



TRAMO EXPERIMENTAL CELSA



TRAMO EXPERIMENTAL CELSA



MEBLE AMB ÀRID SIDER.
després del assaig Pistra

Ensayo de deformación plástica en pista (NLT 173/84)

Origen de la mezcla: Extendedora obra

Temperatura de ensayo: 60°C

Presión de contacto: 900KN/m²

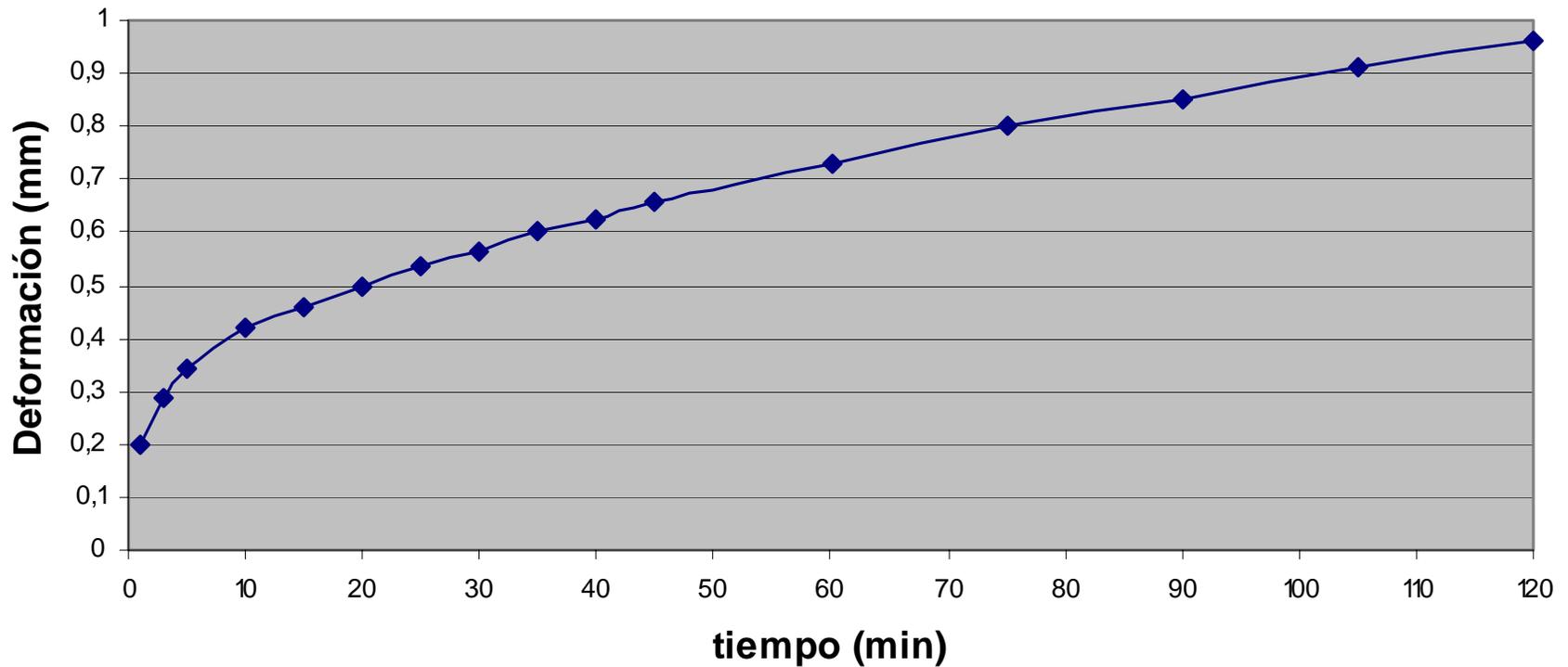


Gráfico 4: Deformación plástica mediante pista de ensayo en laboratorio

Valores de la Orden Circular 5/2001 de la Dirección General de Carreteras para mezclas bituminosas con un tipo de tráfico T00

	Árido siderúrgico	Orden Circular 5/2001
<u>Propiedad de áridos</u>		
<i>Los Angeles</i>	<i>AS. 10-20 = 16,8% AS. 4-10 = 18,1%</i>	<i><20%</i>
<i>CPA</i>	<i>0,56</i>	<i>>0,55</i>
<u>Proyecto mezcla</u>		
<i>Estabilidad</i>	<i>17 KN</i>	<i>> 15 KN</i>
<i>Deformación</i>	<i>2,1 mm</i>	<i>Entre 2mm y 3 mm</i>
<i>% huecos en mezcla</i>	<i>5,8%</i>	<i>Entre 4% y 6%</i>
<i>% huecos en áridos</i>	<i>16,03%</i>	<i>> 15%</i>
<i>Velocidad de deformación en intervalo 105 a 120min.</i>	<i>3,3 μmm/min</i>	<i><12 μmm/min</i>
<i>Resistencia perdida en inmersión compresión</i>	<i>21,3%</i>	<i>< 25%</i>

Coeficiente de fricción TRRL (6 meses) -

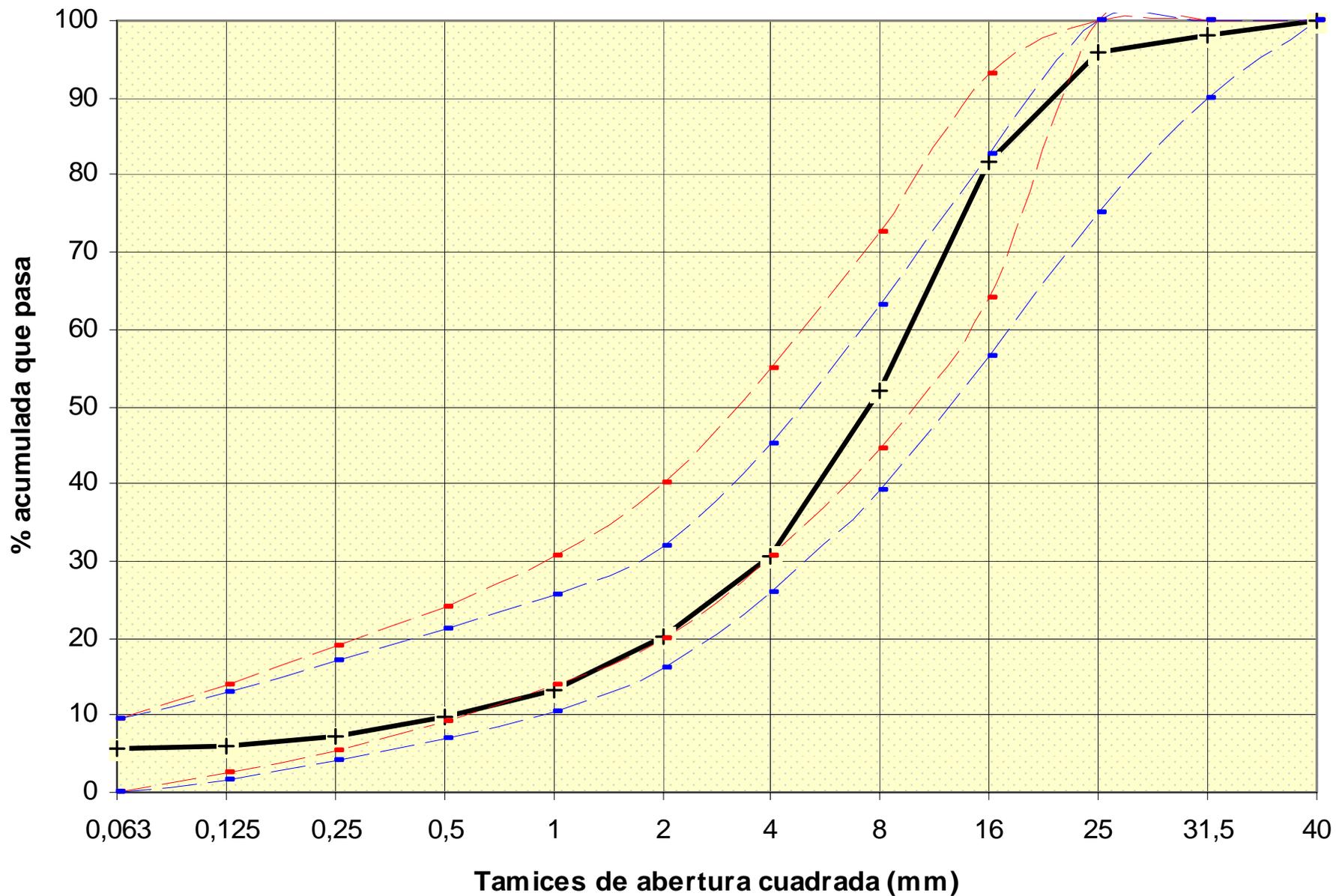
Mezcla con árido siderúrgico = 63

Mezcla con árido granítico = 62





**Árido siderúrgico 0/40
(Todo uno)**



“ASC 0411_30 total”

Densidad aparente de las partículas	3,65(g/cm³)		
Contenido total de magnesio expresado como MgO en %	4,67 %		
Tiempo total de vapor	168 horas		
	1ª det.	2ª det.	Media
Densidad aparente conjunto compactado (g/cm³)	2,73	2,74	
Contenido de huecos del conjunto (%)	25,1	25,0	
Volumen inicial de escoria (cm³)	1631,4	1638,3	
Lectura inicial (mm)	0,05	0,06	
Lectura 24 h (mm)	0,330	0,440	
Lectura 168 h (mm)	2,260	2,440	
Expansión 24 h (%)	0,59	0,80	0,70%
Expansión 168 h (%)	4,69	5,03	4,9 %

Composición química AS 0/40

Fe₂O₃	28,95	P₂O₅	0,36
MnO	5,19	SiO₂	13,23
TiO₂	0,51	Al₂O₃	8,84
CaO	31,11	MgO	4,04
Cal libre	0,87%	Cr₂O₃	1,92

UTILIZAR ESTOS ÁRIDOS REPRESENTA:

- Ahorrar recursos naturales.
- Ahorrar el vertedero.
- Tener buenas propiedades técnicas en su utilización.
- Comportamiento ambiental correcto.

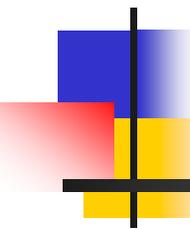
RECICLAR

UTILIZACIÓN DE ÁRIDOS SIDERÚRGICOS

Eficacia e Impacto Ambiental

Dr. Enric Vázquez Ramonich

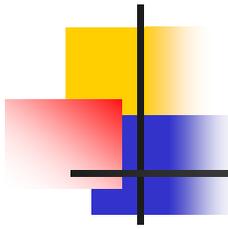
Catedrático de la ETS Ing. Caminos de Barcelona UPC



Utilización de subproductos en la construcción

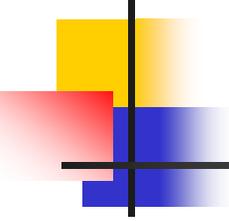
Posibilidades de los hormigones con áridos reciclados

Enric Vázquez
Doctor en Ciencias. Catedrático de
Universidad. ETS. Ingenieros de Caminos de
Barcelona. UPC



Sostenibilidad

- Report N.U. (Brundlandt)
- Desarrollo sostenible: el que cubre las necesidades de la generación actual sin poner en peligro las necesidades de las generaciones futuras.
 - Medio Ambiente
 - Aspectos Sociales
 - Aspectos económicos



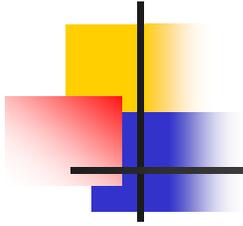
Construcción Sostenible

- Una forma de proyectar y construir que permita la salud humana y esté en armonía con el medio ambiente.

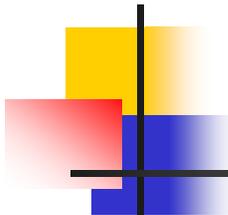
CONSTRUCCIÓN

Durable (resistir sin pérdida de funcionalidad en un cierto tiempo)

Sostenible (propiedad de un material una construcción o un elemento constructivo que no afecta a los seres vivos, el uso de materias primas, la energía, la creación de residuos etc.)

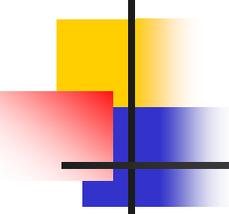


- Un elemento principal es armonizar el proyecto y la elección de los materiales de construcción.
- Chain management de la construcción es dirigido por el ciclo de los materiales de construcción.



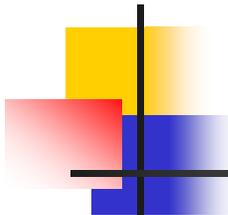
Medidas

- MÁXIMO CIERRE DE LOS CICLOS, EN RELACIÓN A LAS MATERIAS PRIMAS
 - Reducir el uso de materias primas no renovables.
 - Promocionar el uso de materias primas renovables.
 - Promocionar el uso de materias o materiales secundarios.



Medidas

- PREVENIR LA CREACIÓN DE CORRIENTES DE RESIDUOS. PROMOCIONAR EL USO DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN DEMOLICIÓ (RCD's)
 - Reducir el volumen de residuos en la construcción.
 - Recolección separada de residuos "químicos".
 - Reutilizar los RCD's.

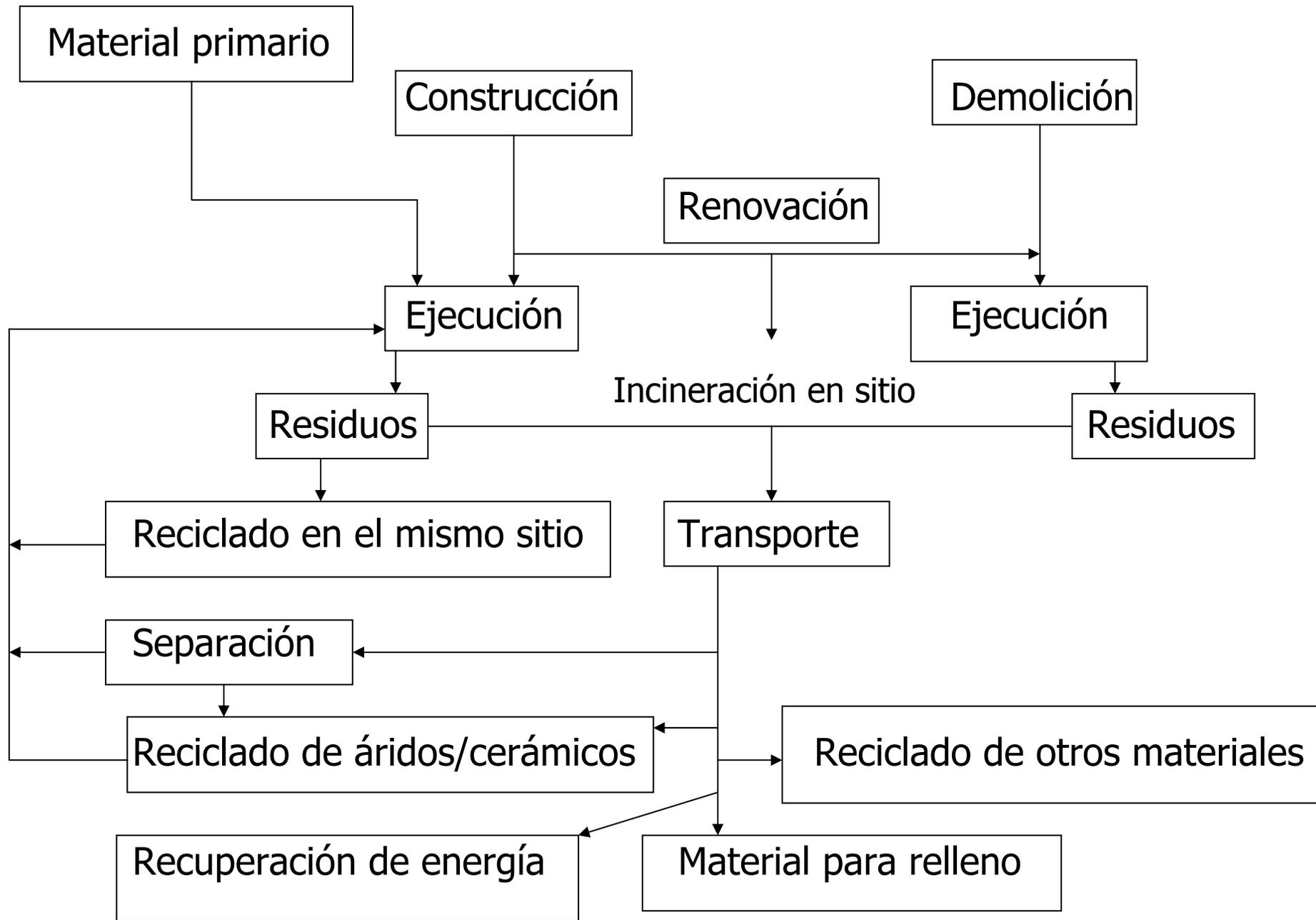


Ejemplo

En el Reino Unido se consumen en la construcción:

- 7 t/habitante/año de materias primeras.
- 1,7 t de residuos por apartamento construido.
- 50% de la emisión total CO₂ ligada a la construcción.

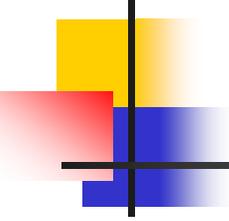
La construcción puede consumir gran cantidad de residuos.



País	Población en millones	C&D en millones de t.	C&D en Kg/cápita/año	Residuos sólidos urbanos en Kg/cap/año
Bélgica	10	7.8 - 8	700 – 800	350
Dinamarca	5.2	2.3 - 5	460 – 1000	460
Finlandia	5	1.6	320	620
Francia	56	20 - 25	340 – 450	460
Grecia	10	-	-	300
Holanda	15	13 - 14	870 – 930	500
Irlanda	3.5	2.5	710	310
Italia	58	35 - 40	600 - 690	350

País	Población en millones	C&D en millones de t.	C&D en Kg/cápita/año	Residuos sólidos urbanos en Kg/cap/año
Luxemburgo	0.4	2.7	6670	450
Portugal	10	-	-	300
España	39	11 – 22	280 – 560	320
UK	57	50 – 70	880 – 1220	350
Suecia	8.5	1.2	140	370
Alemania	79	52 – 120	840 – 1900	360
Austria	7.7	22	2860	430
UE total	364	221 - 334	607 - 918	390

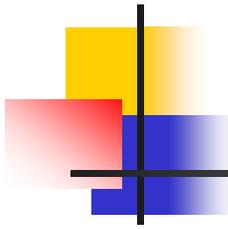
<u>PAÍS</u>	<u>% C&D RECICLADO</u>
Austria	60
Bélgica	60
Alemania	55 ↑
Dinamarca	80
Finlandia	30
Francia	15 – 20
Italia	10
Noruega	30
Holanda	90
Portugal	No hay datos
Catalunya	10 objectiu el 40
España	10 objectiu el 25
UK	60



PLAN 2006 CATALUNYA

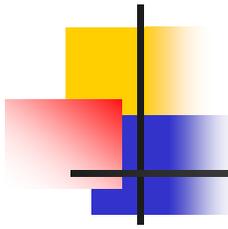
- Objetivo:

40 % RECICLADO



Reciclado de Materiales de Construcción (FACTORES QUE FAVORECEN)

- Incremento de demanda de áridos
- Déficit de áridos naturales
 - ▲ distancia a las canteras → ▲ coste del transporte.
 - Expansión zonas urbanas.
 - Protección medioambiental
- ▲ Demoliciones
 - Incumplimiento de nuevas reglamentaciones.
 - Cambio de Función.
 - Deterioro, etc.



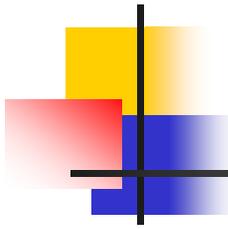
Reciclado de Materiales de Construcción (FACTORES QUE FAVORECEN)

■ Rechazos de producción

- Especímenes de pruebas.
- Hormigón premezclado fuera de especificación.
- Productos que no llegan a ser comercializados.

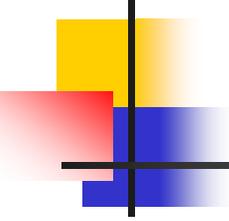
■ Eliminación de desechos

- ▲ de restricciones ambientales.
- Prohibición de vertederos mixtos.
- Disposiciones gubernamentales para vertederos y tratamiento de desechos.



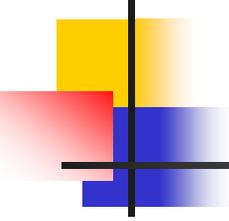
Reciclado de Materiales de Construcción (FACTORES QUE FAVORECEN)

- Optimización del uso de recursos
 - Selectividad de usos.
 - Ahorro de energía.
- Desagravio en desastres
 - Sismos
 - Erupción volcánica.
 - Conflictos armados.
 - Desastres industriales.
 - Inundaciones.



Reciclado de Materiales de Construcción (FACTORES QUE LIMITAN)

- Recursos vírgenes baratos y accesibles
- Eliminación de deshechos ilimitada y barata
- Demolición no diseñada para la recuperación de materiales
- Inexistencia de normas que reglamenten la utilización de material reciclado en la industria de la construcción



Reciclado de Materiales de Construcción (FACTORES QUE LIMITAN)

- Falta de legislación en el reciclado, recuperación, abastecimiento, destino, proceso de reconstrucción y responsabilidad de los usuarios de estos materiales reciclados.
- Coste de inversión y operación del proceso.

Tipo de agregado reciclado	ARH (hormigón)	ARM (mixto)	ARC (cerámico)	ARA (arena)
Aplicación				
<p data-bbox="0 399 533 556">Construcción de carreteras</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="0 685 247 742">-Subbases <li data-bbox="0 842 571 1085">-Hormigones pobres y gravaligante hidráulico (cemento + cenizas + cemento, cenizas + cal) 	<p data-bbox="875 699 932 756">+</p> <p data-bbox="875 913 932 971">+</p>	<p data-bbox="1199 699 1256 756">+</p> <p data-bbox="1199 913 1256 971">+</p>	<p data-bbox="1466 699 1523 756">+</p> <p data-bbox="1466 913 1523 971">+</p>	<p data-bbox="1751 913 1808 971">+</p>
<p data-bbox="0 1170 399 1256">HORMIGÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="0 1285 647 1370">- Como suplemento 	<p data-bbox="875 1242 932 1299">+</p>	<p data-bbox="1199 1242 1256 1299">+</p>	<p data-bbox="1466 1242 1523 1299">+</p>	<p data-bbox="1751 1242 1808 1299">+</p>

Reciclado de residuos de C&D en Alemania

1000 plantas de reciclaje

100 plantas separadoras

Plantas de machaqueo y
cribado

Capacidad: 50-200 t/h (cerca de 100
t/h en promedio)

Capacidad disponible

Cerca de 100-150 millones t/a

Utilización de la capacidad

32-45 million t.= cerca de 33%

Materia procesada por cada
planta

En el presente, cerca de 40.000 t/a

Plantas separadoras

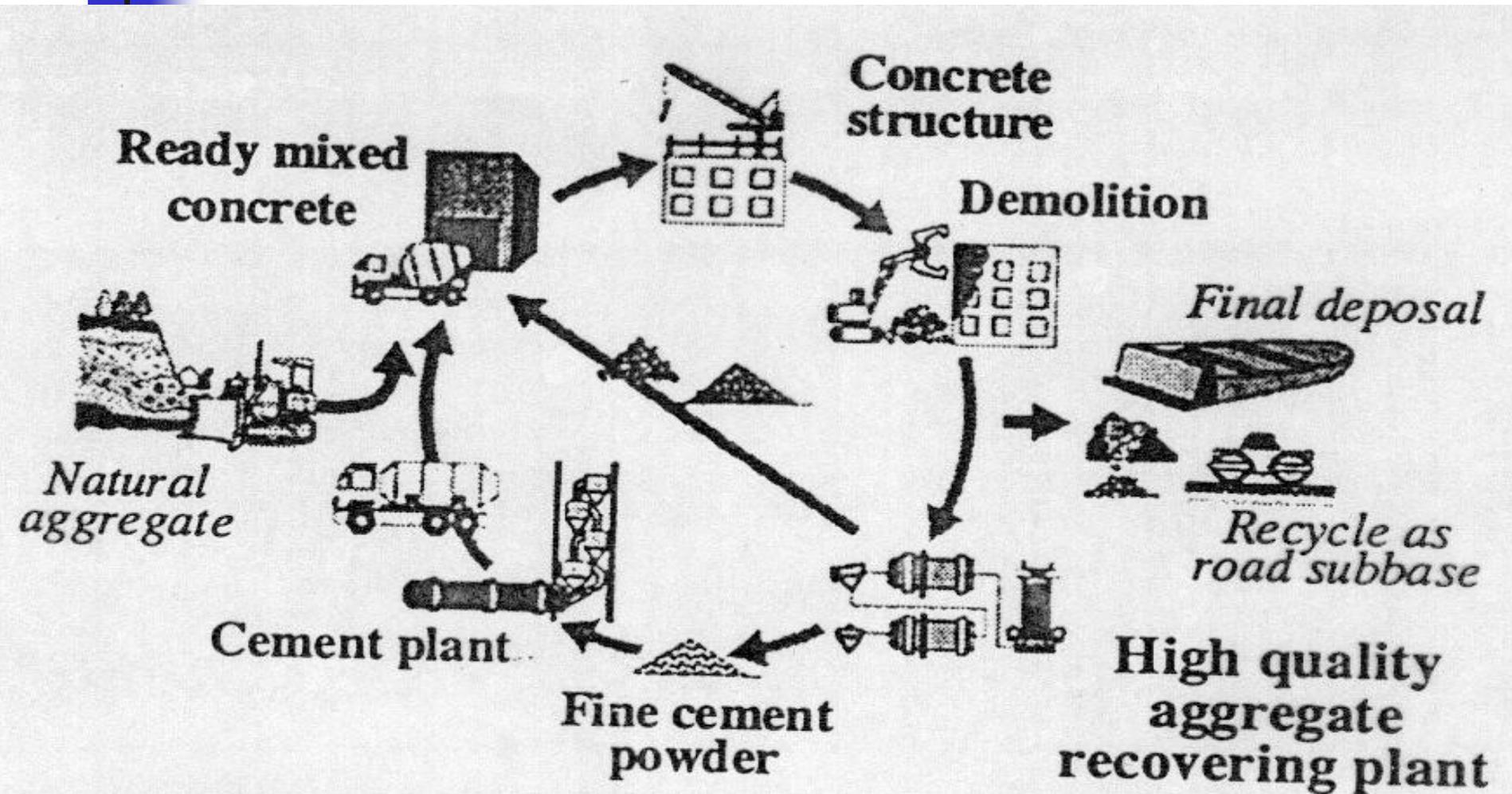
20-200.000 t/a

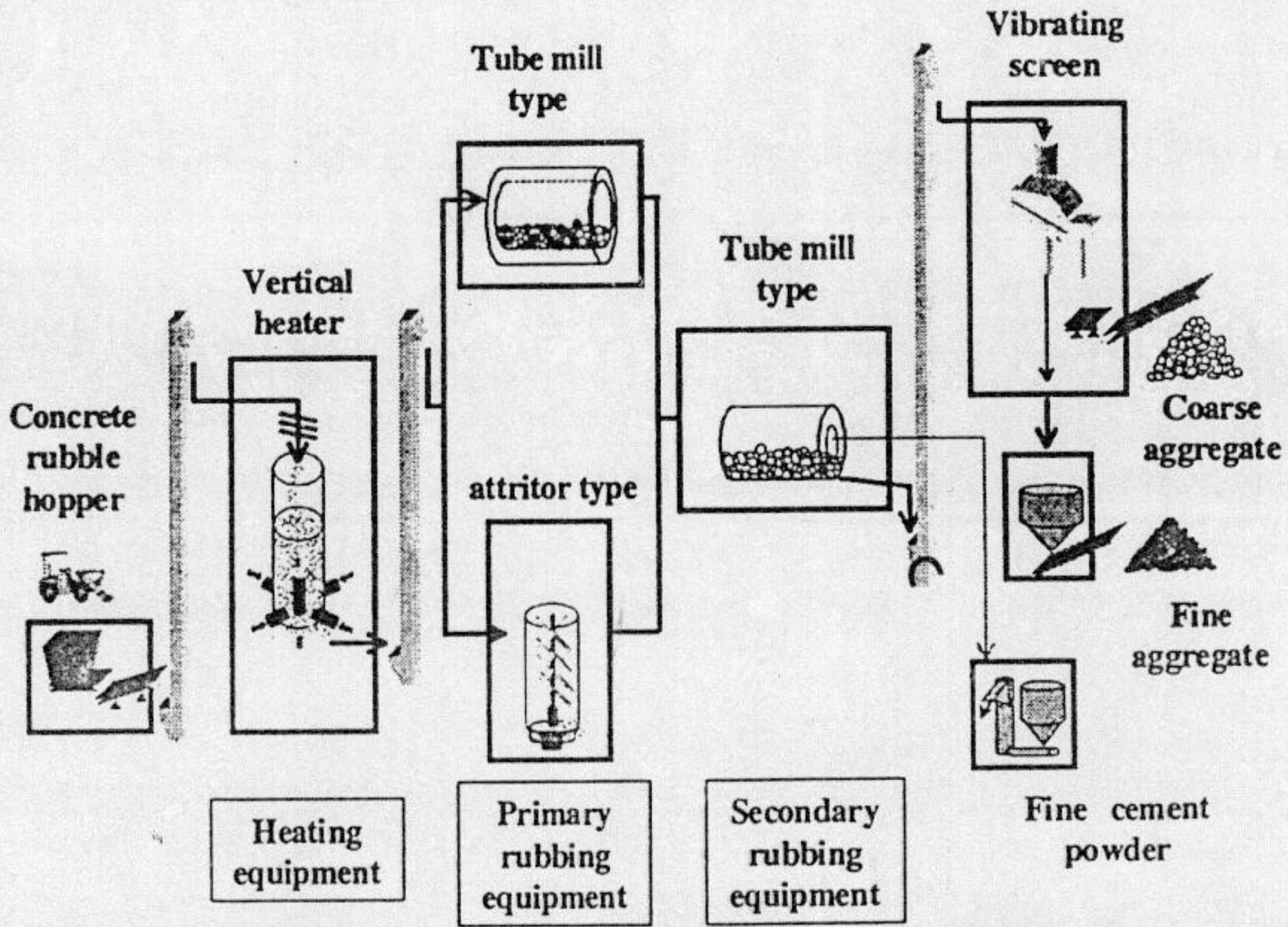
Utilización de la capacidad

30.000 t/a en promedio

	Principal Componente	Componentes Sec.
Agregado reciclado de Hormigón	min. 80% hormigón triturado o piedra, densidad seca > 1.600 Kg/m ³	máx. 10% otros agregados máx. 5% mezcla asfáltica
Agregado reciclado de Cerámica	min. 85% cualquier material cerámico o pétreo, densidad seca > 1600 Kg/m ³	máx. 15% otros agregados máx. 10% mezcla asfáltica
Agregado reciclado mixto	min. 50% material con dens. seca > 2.100 Kg/m ³ . max. 50% material con dens. seca > 1.600 Kg/m ³ .	máx. 10% otros áridos máx. 5% mezcla asfáltica

Proposed concrete recycling system



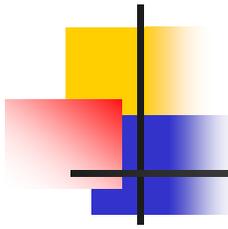


Propiedades de los áridos reciclados

- Granulometría
- Forma, textura superficial

	Grava conv.	Grava recic.	Gravilla conv.	Gravilla recic.
IF =	2.02	1.91	2.29	2.39

Propiedades de los áridos reciclados

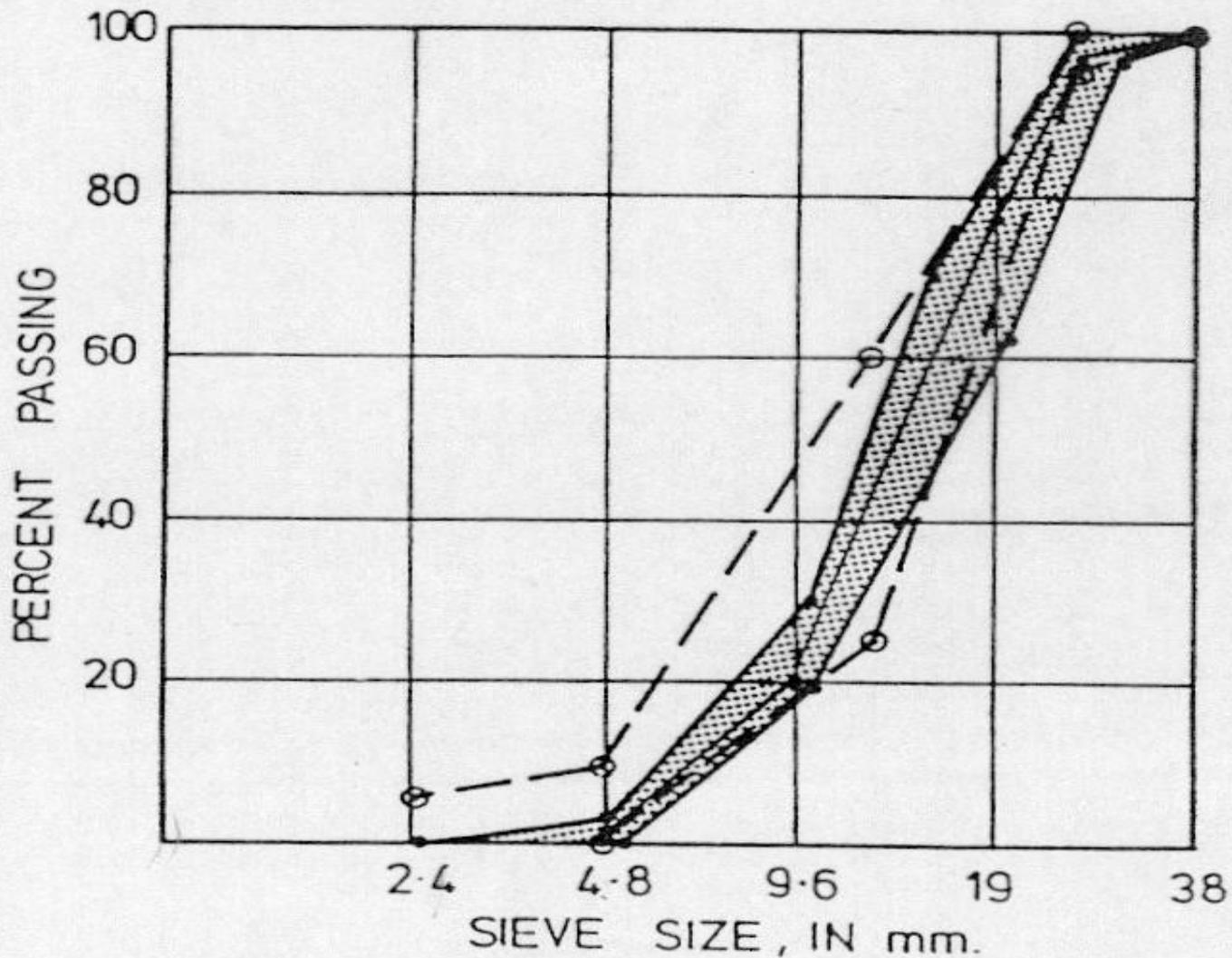


■ Mortero adherido

- Análisis de láminas pulidas
- Separación química (ácido clorhídrico)
- Tratamiento térmico (Saturación del árido, calentamiento a 500°C, enfriamiento en agua fría, separación del árido convencional-mortero viejo, tamizado húmedo y secado con estufa.

■ Densidad, absorción

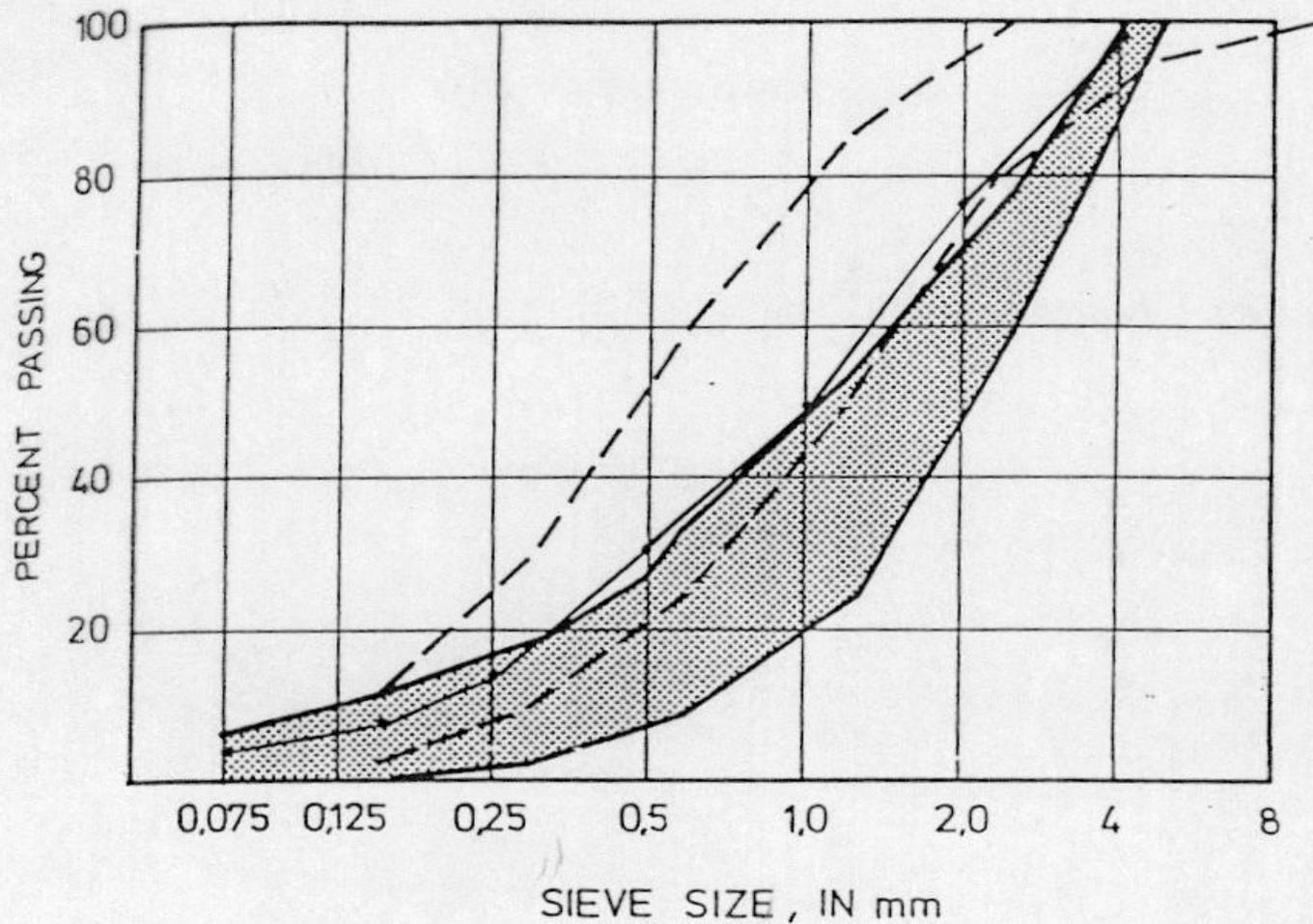
■ Coeficiente Los Angeles



--- ASTM C33 grading requirement for 25 mm max. size coarse aggregate

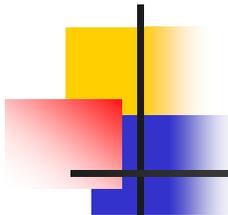


Range of gradings of 25 mm max. size coarse recycled aggregates produced by jaw crusher in one pass



--- ASTM C33 grading requirement for fine aggregate

 Range of gradings of crusher fines < 4 mm obtained when 25-30 mm max. size coarse recycled aggregates are produced by jaw crusher in one pass

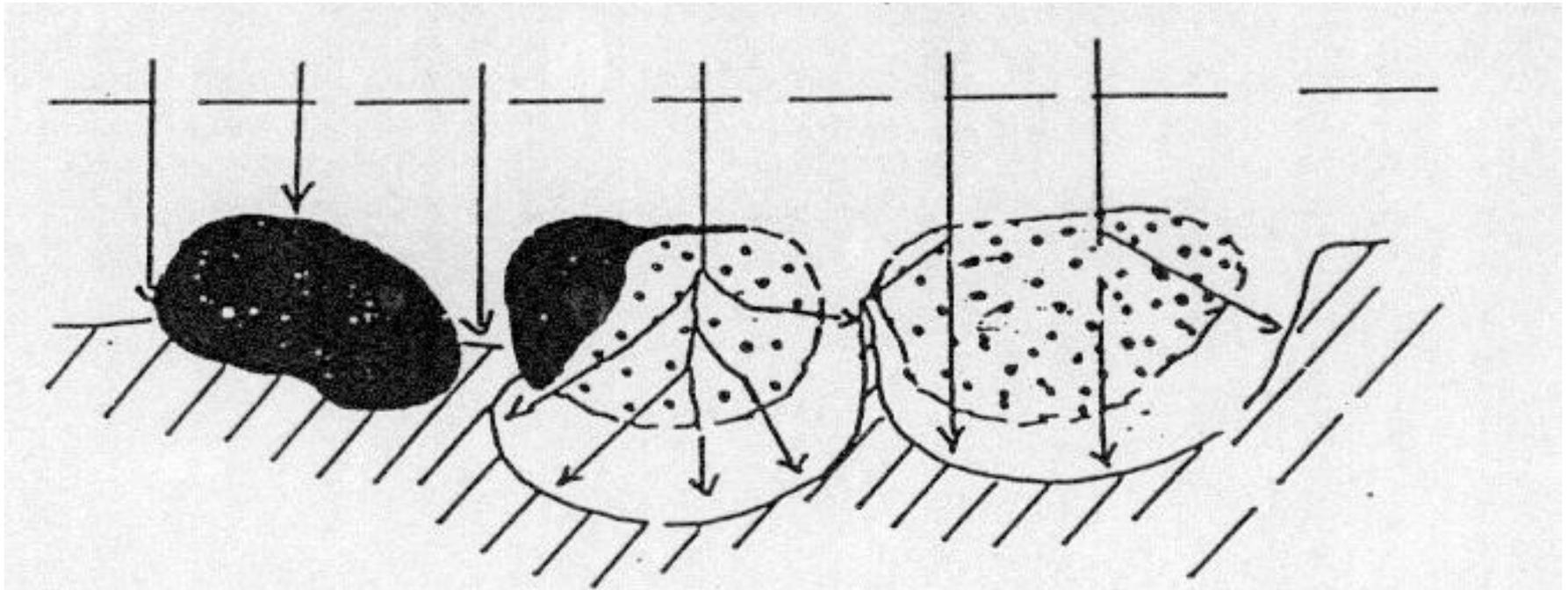


Requerimientos para la aplicación a hormigones

→ LIMITACIÓN DE CONTAMINANTES

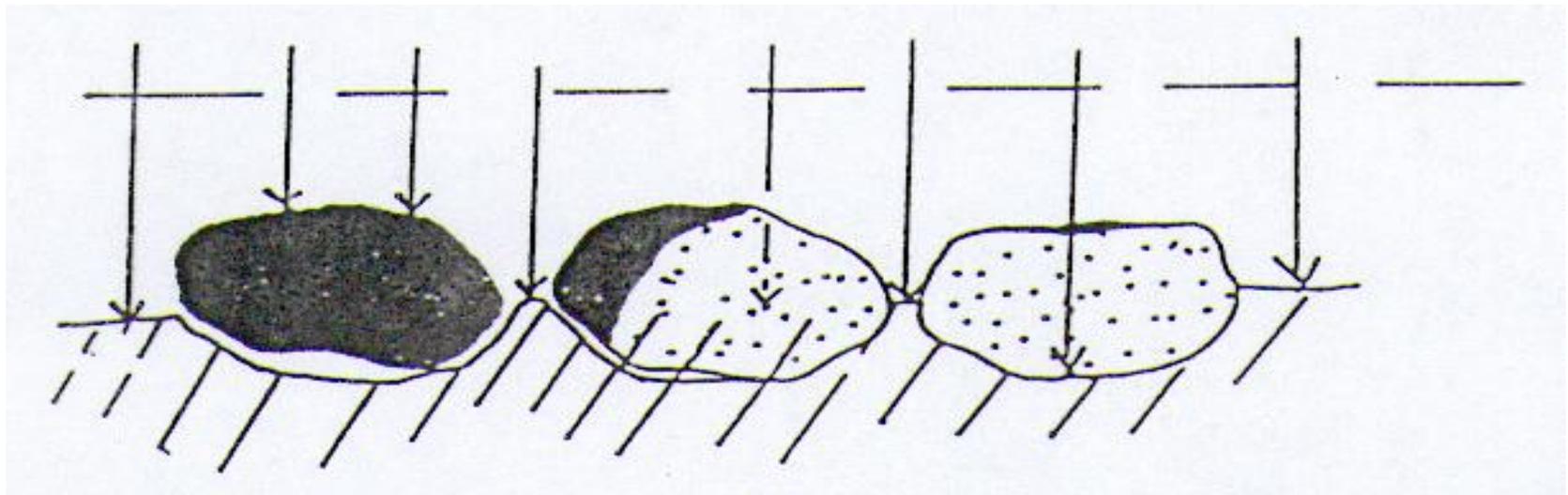
- Que puedan influir en el fraguado del cemento
- Corrosión de armaduras (Cloruros)
- Hinchamiento por absorción humedad (p.e. madera)
- Formación de etringita (yeso)
- Reacción alcali-árido (vidrios PYREX)
- Descensos de resistencia (mezcla asfáltica)

Permeabilidad árido > Permeabilidad mortero



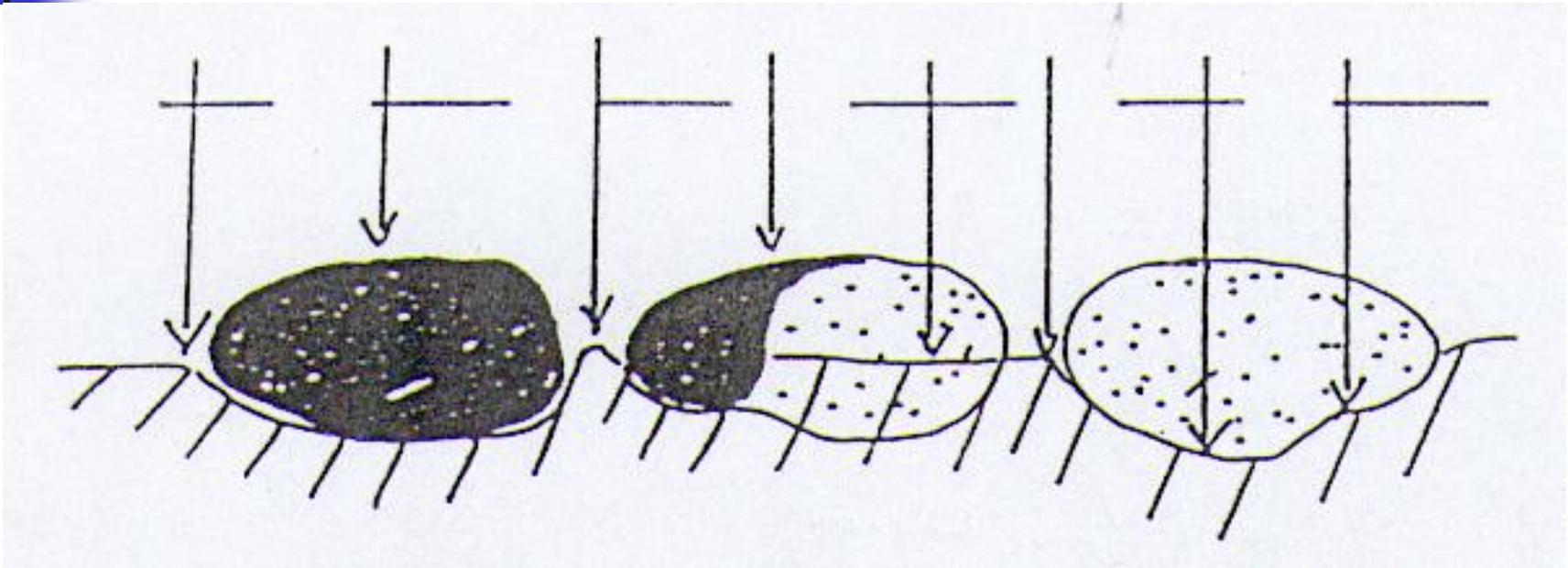
Hipótesis de frente de carbonatación para árido más poroso que el mortero nuevo

Permeabilidad árido = Permeabilidad mortero



Hipótesis del frente de carbonatación cuando la permeabilidad del árido es igual a la del mortero

Permeabilidad árido < Permeabilidad mortero



Hipótesis del frente de carbonatación para permeabilidad del árido menor que la del mortero

Tipo de árido	Tamaño frac. mm.	Peso esp SSS	Absorción de agua %	Los Ángeles % pérdida	Vol. mortero adherido
Grava natural original	4-8	2500	3.7	25.9	0
	8-16	2620	1.8	22.7	0
	16-32	2610	0.8	18.8	0
Árido reciclado (a/c=0.4)	4-8	2340	8.5	30.1	58
	8-16	2450	5.0	26.7	38
	16-32	2490	3.8	22.4	35
Árido reciclado (a/c=0.7)	4-8	2350	8.7	32.6	64
	8-16	2440	5.4	29.2	39
	16-32	2480	4.0	25.4	28
Árido reciclado (a/c=1.2)	4-8	2340	8.7	41.4	61
	8-16	2420	5.7	37.0	39
	16-32	2940	3.7	31.5	25
Árido natural	5-12	2670	1.0	20.4	
	12-20	2670	0.8	22.2	
Árido reciclado (a/c=0.5)	5-12	2420	7.5	29.5	62
		2430	7.0	30.9	50

			Composición de la Mezcla				
Hormigón	Árido grueso	Nivel de resistencia	Cemento	Arena	Gravilla	Grava	Ac/C
Hr	Caliza	Rico	1	1.21	1.05	1.57	0.40
Hn	Caliza	Normal	1	1.94	1.39	2.09	0.53
Hp	Caliza	Pobre	1	2.68	1.74	2.6	0.66
Rr	Hormigón reciclado	Rico	1	1.21	0.92 ®	1.37 ®	0.52
Rn	Hormigón Reciclado	Normal	1	1.94	1.22 ®	1.84 ®	0.64
Rp	Hormigón Reciclado	Pobre	1	2.68	1.53 ®	2.29 ®	0.83

Hormigón pobre

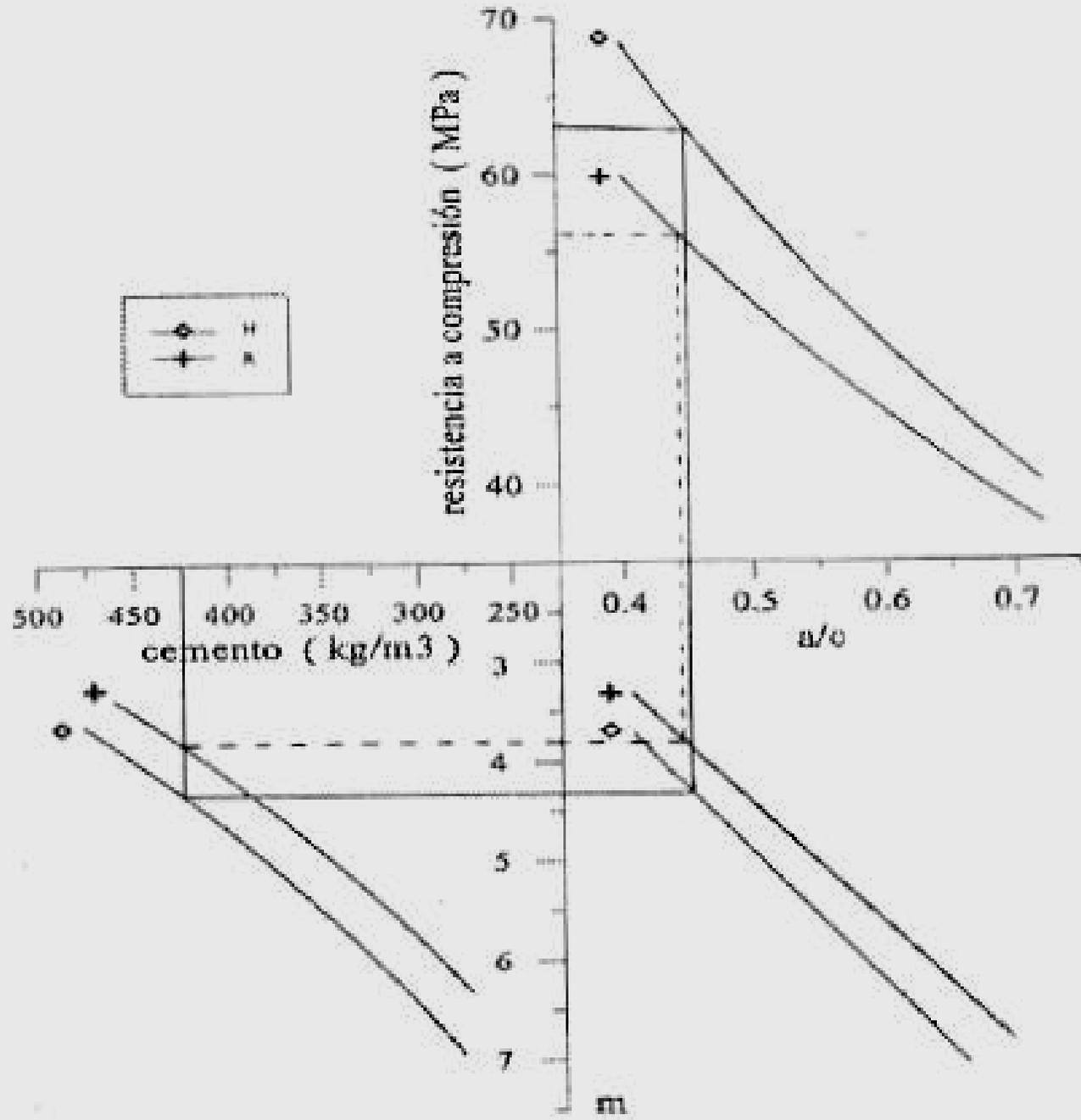
$C < 300 \text{ Kg/m}^3$

Hormigón normal

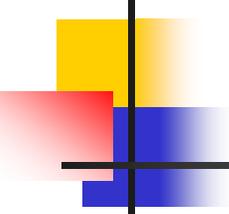
$300 \text{ Kg/m}^3 < C < 400 \text{ Kg/m}^3$

Hormigón rico

$C > 400 \text{ Kg/m}^3$

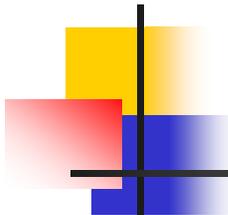


Referencia	f_c28 (mpa)	E (mpa)	E est (CEB) (mpa)	E/E est
Rr	48.0	29861	36267	0.82
Rn	44.2	27158	35284	0.77
Rp	32.5	25294	31649	0.80
HO	38.1	29416	33580	0.88



Hormigón con distintos % de sustitución (Siempre sin 0/4mm)

- La resistencia = hasta el 20-30%
- El módulo \approx hasta el 20-30%
- La fluencia = hasta el 30%
- La retracción = hasta el 30%
- Carbonatación depende del % de cemento
- La permeabilidad = hasta el 20%



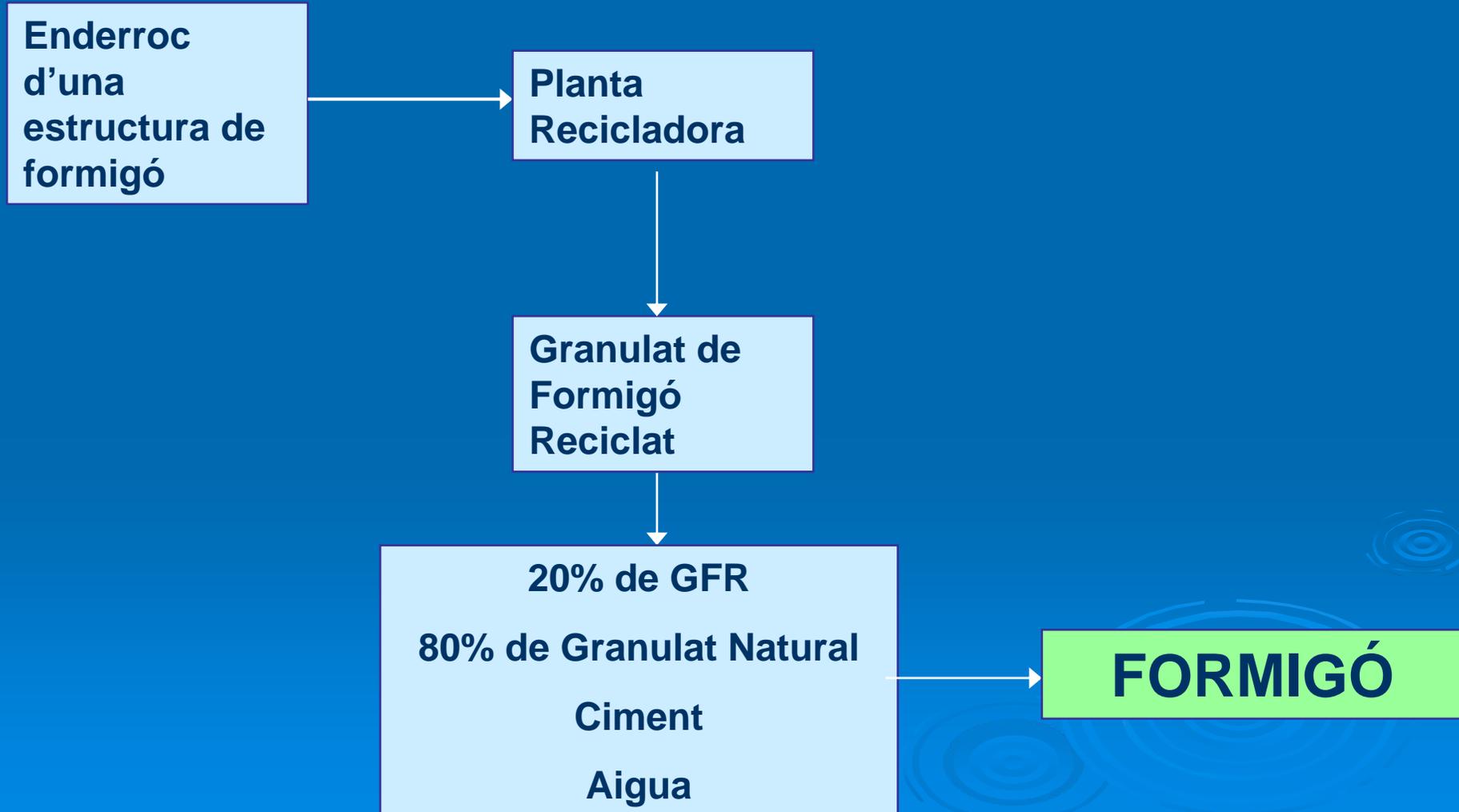
Conclusiones

- Exclusión de la fracción 0/4 o 0/2 mm
→ Encontrar aplicación
- Estructural hasta el 20%, vigilar (árido-alcali), cemento bajo en alcalinos
- No estructural se puede sustituir toda la fracción superior a 4 mm
- Posible Grava–Cemento y hormigón compactado con rodillo
- Árido con mezcla de cerámica → Hormigón no estructural

Formigó Reciclat



Procés de Transformació de Material d'Enderroc en Granulat de Formigó Reciclat









Estudis UPC sobre Formigó amb Granulat Reciclat

➤ Durabilitat

Dra. Marilda Barra

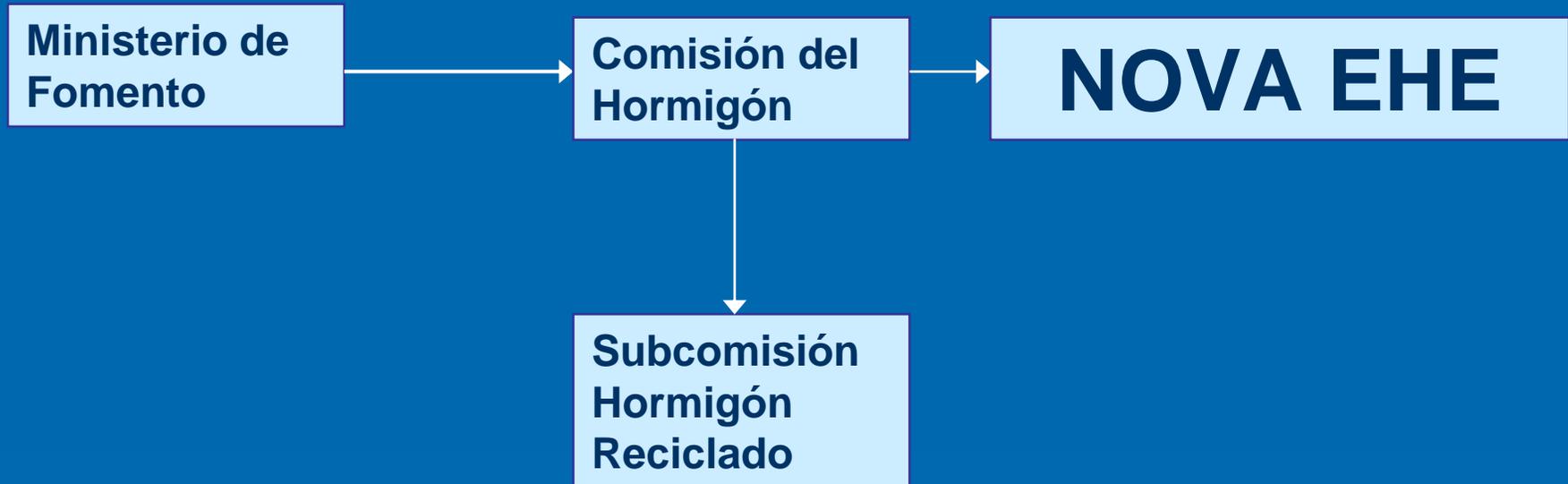
➤ Resistència a diferents esforços

Dr. Antonio Marí

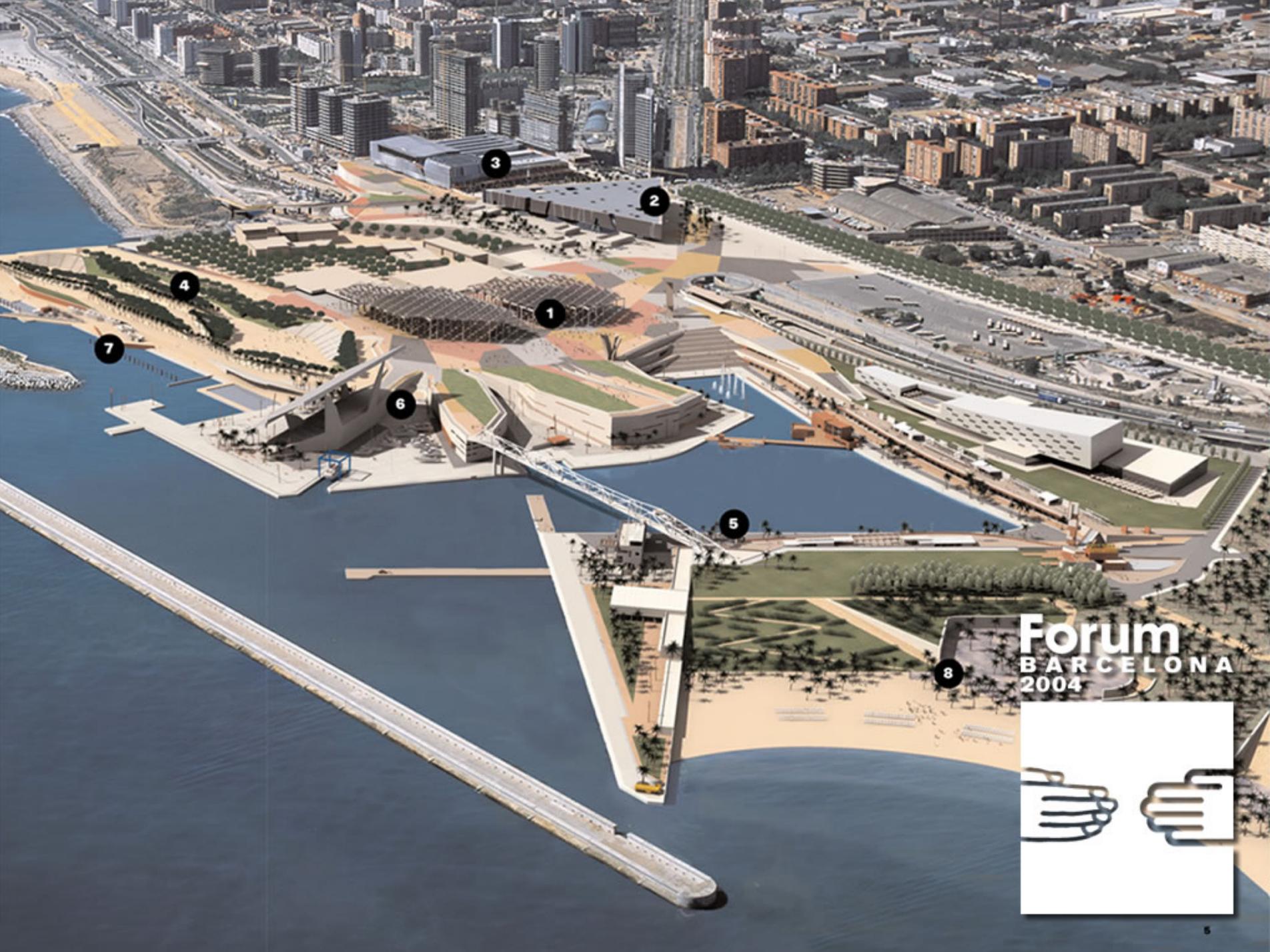
Dra. Miren Etxeberría

Dr. Manuel Gomez

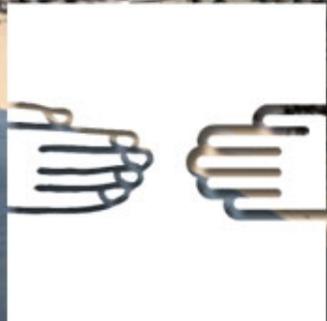
Nova Instrucción EHE



Permetrà posar un 20% de GFR en qualsevol formigó estructural

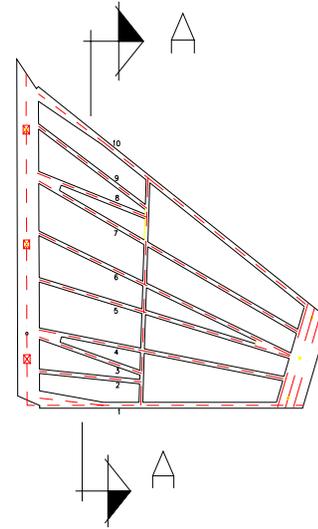


Forum
BARCELONA
2004





PLANTA



SECCIÓN A-A

