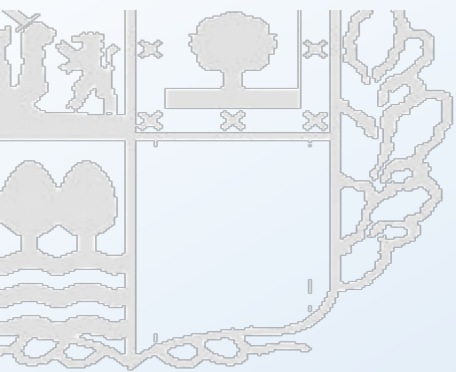


## Aplicación de materiales reciclados en infraestructuras en las fases de proyecto y obra

# UTILIZACIÓN DE ARIDOS SIDERURGICOS EN OBRAS EJECUTADAS POR LA APB. 2008-19 Aplicación en fabricación de hormigón y MBC

Autor: José Luis García-Mochales  
Jefe Departamento Construcción APB  
Fecha: 23 de Junio de Mayo de 2020



# UTILIZACIÓN DE ÁRIDOS SIDERÚRGICOS EN OBRAS EJECUTADAS POR LA APB. 2008-2019

## 1. ANTECEDENTES GENERALES

- VÍNCULO ACERO Y PUERTO DE BILBAO
- DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ÁRIDO SIDERÚRGICO
- FENOMENOS DE INESTABILIDAD/EXPANSIVIDAD

## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN EL PUERTO DE BILBAO

- APLICACIÓN EN OBRAS EJECUTADAS POR LA APB
- EMPLAZAMIENTOS Y VOLUMENES TOTALES

## 3. CONCLUSIONES

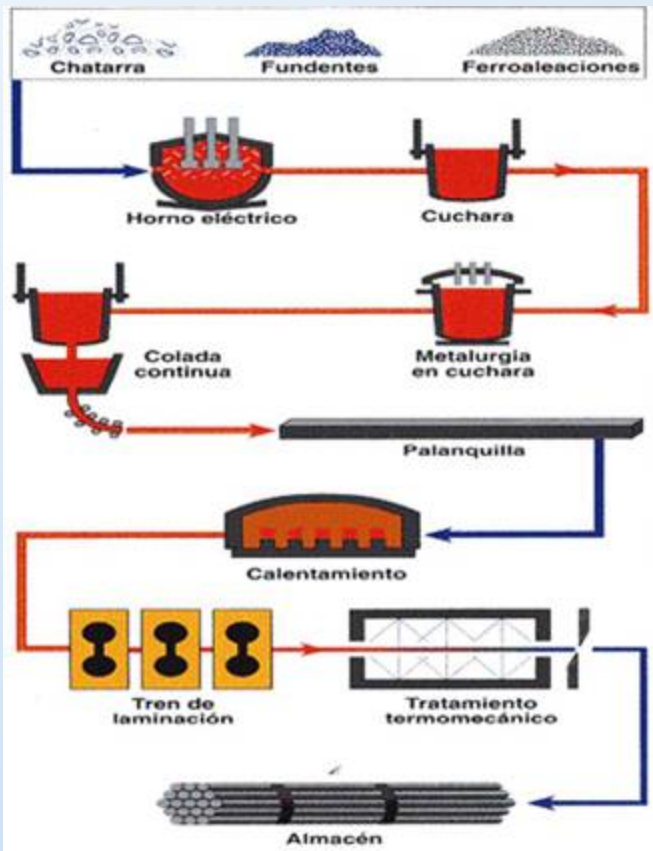
- RESUMEN EXPERIENCIAS



# 1. ANTECEDENTES GENERALES

## - VÍNCULO ACERO Y PUERTO DE BILBAO

### PROCESO FABRICACION ACERO EN HORNO ELECTRICO



### Tráfico importación

ESCORIA NEGRA: subproducto de origen industrial procedente de la fabricación de acero en el proceso de fusión de la chatarra.

ESCORIA BLANCA: subproducto de origen industrial procedente de la fabricación de acero durante la operación de afino del acero fundido.

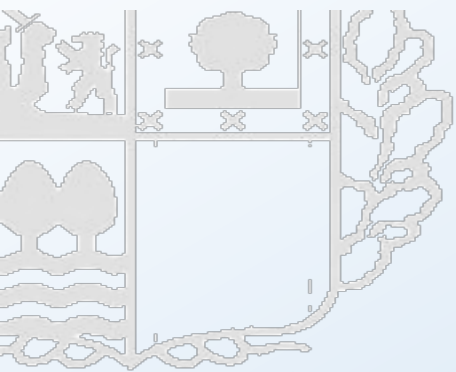
VALORIZACIÓN DE ESCORIAS: procedimiento que permite el aprovechamiento de los recursos contenidos en las escorias obteniendo a partir de las mismas, materiales inorgánicos sustitutivos de los áridos naturales.

### Utilización en obras APB

**ARIDO SIDERURGICO:** árido según UNE-EN 12.620, 13.043 o 13.242 como producto resultante de la valorización de las escorias negras de horno eléctrico.

CE

### Tráfico exportación



# 1. ANTECEDENTES GENERALES

## - CARÁCTERÍSTICAS PRINCIPALES ÁRIDO SIDERÚRGICO

### PROPIEDADES FÍSICAS ESCORIA NEGRA ACERÍA

(Condicionada por el proceso de enfriamiento de cada acería posterior a la extracción desde el horno de fusión)

Rango

Peso específico(Ton/m3)	3,40 - 3,82
Absorción (%)	2,84 - 3,29
Porosidad (%)	10.5 – 12
Desgaste de Los Ángeles (%)	14 - 17
Resistencia al pulimento	52 - 60

### COMPOSICIÓN QUÍMICA ESCORIA NEGRA ACERÍA

(Condicionada por las materias primas utilizadas: chatarra y pre-reducidos)

Rango %

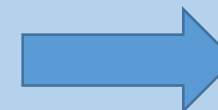
FeO	7,0-35,0
Fe2O3	11,0-40,0
CaO	23,0-32,0
CaO libre	0-4,0
SiO2	8,0-15,0
Al2O3	3,5-7,0
MgO	4,8-6,6
MnO	2,5-4,5

### PROCESO ENVEJECIMIENTO DURANTE VALORIZACIÓN ESCORIAS

Someter acopios escoria bruta y árido procesado a ciclos humectación-secado y volteo

**Plazo mínimo** recomendado aprox. 4 meses según experiencia APB para árido grueso

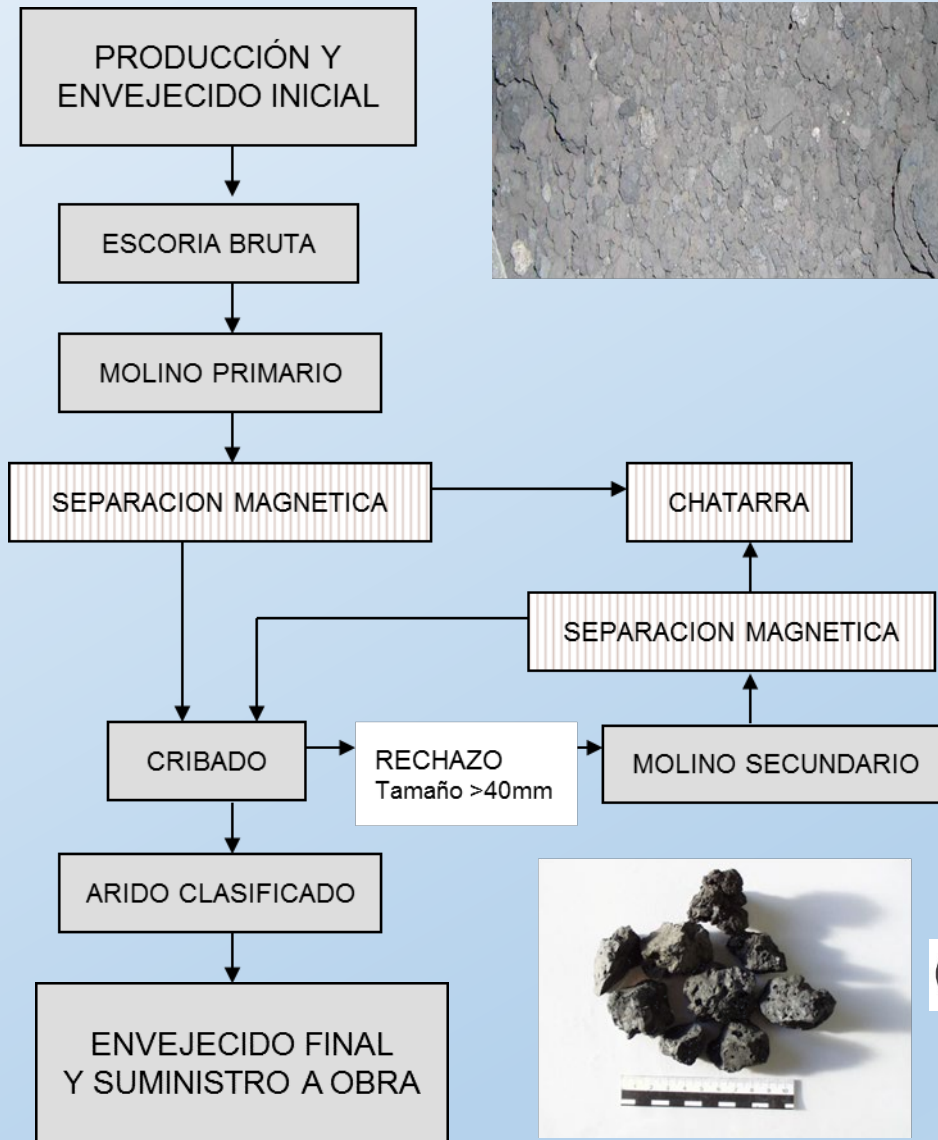
ENSAYO DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN ESCORIAS DE FUNDICIÓN DE ACERO



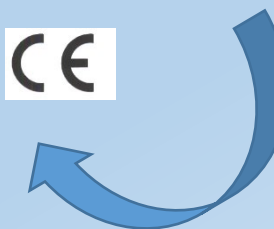
**19.3 UNE 1744 168 h**  
**< 0,25 %**

# 1. ANTECEDENTES GENERALES

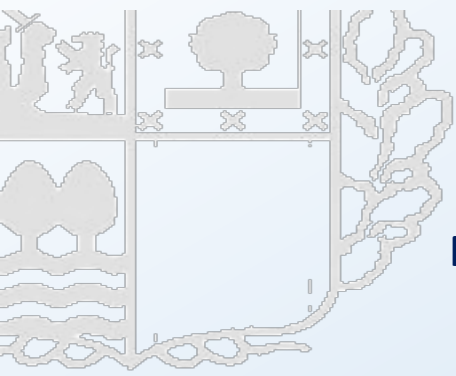
## - PROCESO VALORIZACIÓN Y ACEPTACIÓN LOTES ÁRIDOS



CE



ENSAYO CONTROL  
EXPANSIVIDAD



# 1. ANTECEDENTES GENERALES

## - FENÓMENOS INESTABILIDAD/EXPANSIVIDAD

### PRINCIPALES COMPUESTOS POTENCIALMENTE EXPANSIVOS ÁRIDO SIDEDÚRGICO

CaO libre CAL       $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$       PORLANDITA

MgO libre PERICLASA       $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Mg}(\text{OH})_2$       BRUCITA

INESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DIFERENCIAL PARA ÁRIDO GRUESO Y FINO

### PROCESO ENVEJECIMIENTO DURANTE VALORIZACIÓN ESCORIAS

Someter acopios escoria bruta y árido procesado a ciclos humectación-secado y volteo

**ANEXO 1 D 64/2019**

**Plazo mínimo** recomendado aprox. 4 meses según experiencia APB para árido grueso

Garantizar separación física suficiente entre acopios escoria negra/blanca

### ENSAYO 19.3 DETERMINACIÓN DE LA EXPANSION ESCORIAS DE FUNDICIÓN DE ACERO

Aumento de volumen en muestra por la acción de una corriente de vapor de 100°C a presión atmosférica

Muestra según granulometría determinada compactada con volumen de huecos 25+-3%

**Duración del ensayo condicionado a composición química de la escoria**

si MgO total según norma UNE 196-2 menor o igual que 5% son 24 h

si MgO total según norma UNE 196-2 mayor que 5% son 168 h

**ANEXO 2 D 64/2019**

## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN APB - USOS COMO PRODUCTO FINAL

APLICACIÓN NO LIGADA

2005

- FORMACIÓN DE PRECARGAS EN CONSOLIDACIÓN DEL TERRENO PREVIO A LA EJECUCIÓN DE CIMENTACIONES DE ALMACÉN

2008

- ALTURA 6 M
- DENSIDAD APARENTE  $>1,85$  T/M<sup>3</sup>
- MATERIAL NO PLÁSTICO

2010



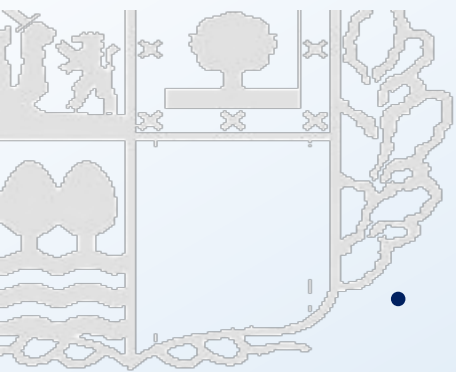
2015

- EXTENDIDO DE CAPA DE FIRME PARA SUELO ADECUADO EN CORONACION RELLENOS

2020

- ESPESOR CAPA 0,50 M
- CBR  $> 20$





## 2. ARIDO SIDERURGICO EN APB

- USOS COMO MATERIA PRIMA FABRICACION HORMIGON

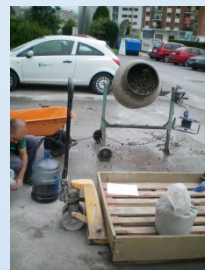
APLICACIÓN LIGADA

- **MUELLE AZ3**
  - EJECUCION DE PRUEBAS HORMIGÓN EN LABORATORIO

2005



2009



2010

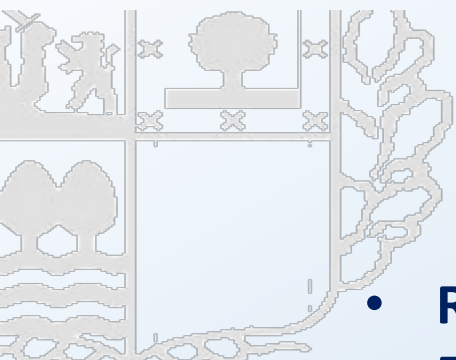
- EJECUCION PRUEBAS HORMIGÓN EN CONDICIONES DE OBRA
  - AJUSTE Y CORRECCIÓN DE DOSIFICACIONES DE LABORATORIO
  - APLICACIÓN EN VIGA CANTIL (REGULARIZACIÓN Y SUPERESTRUCTURA)

2015



2020





## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN APB

- USOS COMO MATERIA PRIMA FABRICACIÓN HORMIGÓN

[APLICACIÓN LIGADA](#)

2005

- REPOSICIÓN DE BLOQUES EN EL MORRO DEL DIQUE DE PUNTA LUCERO

2010

- 4.020 UDS BLOQUE 20 TONS
- 494 UDS BLOQUE 100 TONS

2011

CARACTERÍSTICAS HORMIGÓN PROYECTO  
HM-25/B/20/Q<sub>b</sub> DENSIDAD 2,35 TON /M3

2015

### DOSIFICACIÓN Nº 3 HORMIGÓN SIDERÚRGICO

Cemento tipo III-A 42,5 N / SR	300 kgs./m3
Agua	150 l/m3
Aditivos	4,55 kgs./m3
Arena 0-4 caliza	925 kgs./m3
Árido grueso 6-12 siderúrgico	460 kgs./m3
Árido grueso 12-25 siderúrgico	490 kgs./m3
Árido grueso 25-40 siderúrgico	425 kgs./m3
Consistencia estimada	6 - 8 cms.

2020

Densidad obtenida en obra

2,75 Ton/m3



## 2. ARIDO SIDERURGICO EN APB

- USOS COMO MATERIA PRIMA FABRICACION HORMIGON

APLICACIÓN LIGADA

### • PROLONGACION DIQUE-MUELLE PUNTA SOLLANA

- 15.226 UDS BLOQUE 8 TONS
- 2.853 UDS BLOQUE 75 TONS

Densidad obtenida en obra 2,65 Ton/m<sup>3</sup>

Áridos procedentes de tres acerías:

- ACERIA COMPACTA BIZKAIA. SESTAO (12 kms)
- ACERIA NERVACERO. PORTUGALETE (11 kms)
- ACERIA ZUMARRAGA (90 kms)



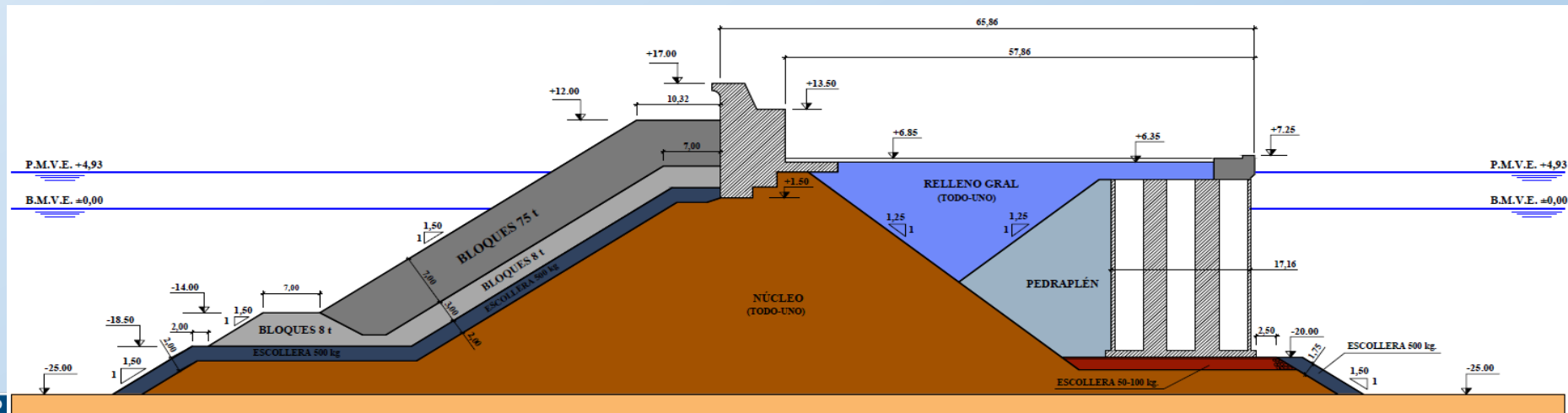
2005

2010

2013

2015

2020



## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN APB

- USOS COMO MATERIA PRIMA FABRICACIÓN HORMIGÓN

APLICACIÓN LIGADA

### ESPALDON PROYECTO HORMIGÓN CONVENCIONAL

2005

HM-30/B/20/Q<sub>b</sub> DENSIDAD 2,35 Ton/m<sup>3</sup>

V cimentación 16.960 m<sup>3</sup>

V alzado 31.420 m<sup>3</sup>

2010

V total 48.380 m<sup>3</sup>

2014

### ESPALDÓN PROYECTO MODIFICADO CON HORMIGÓN SIDERÚRGICO

2015

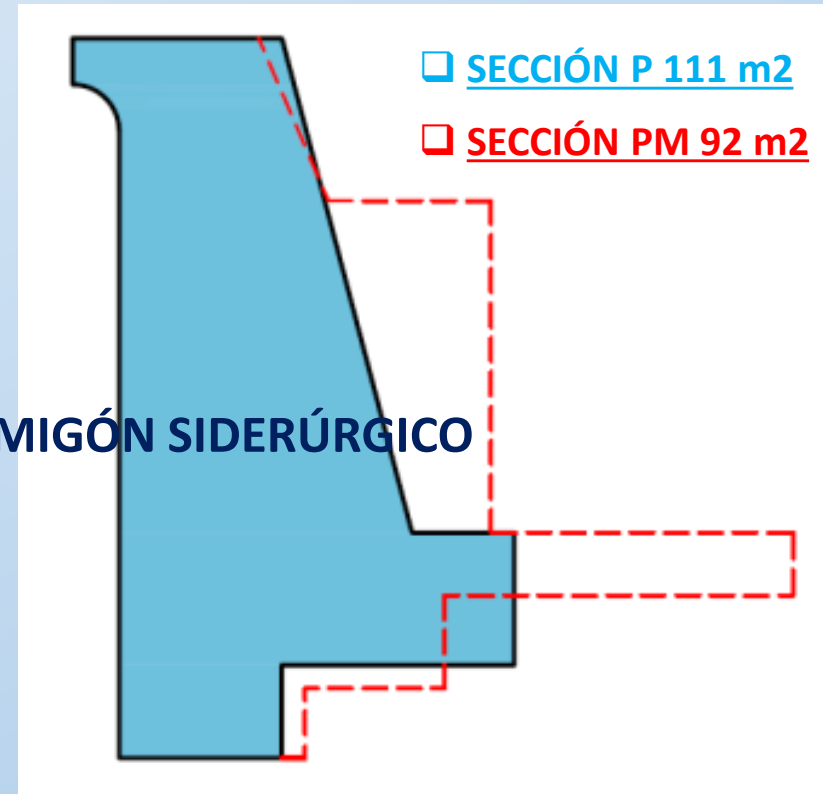
HM-30/B/32/Q<sub>b</sub> DENSIDAD 2,65 Ton/m<sup>3</sup>

V cimentación 13.030 m<sup>3</sup>

V alzado 24.660 m<sup>3</sup>

2020

V total 37.690 m<sup>3</sup> (-22%)



## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN APB - USOS COMO MATERIA PRIMA FABRICACIÓN HORMIGÓN

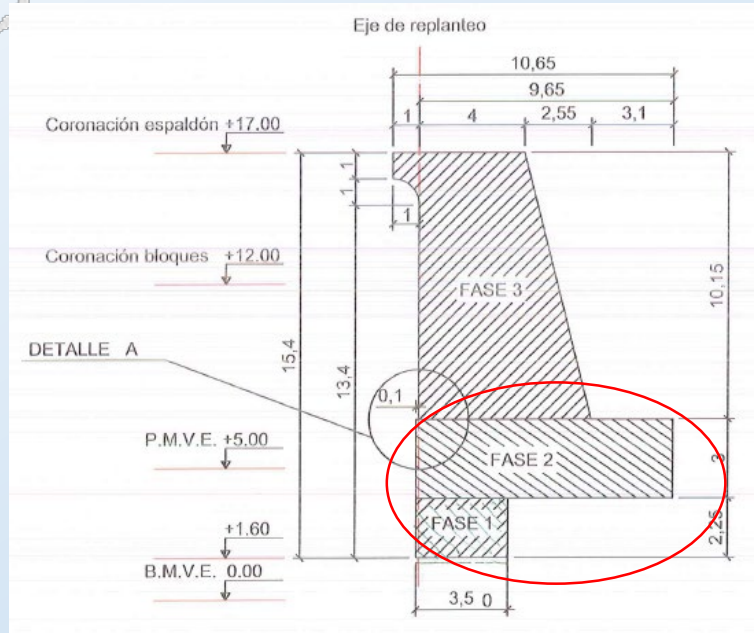
APLICACIÓN LIGADA

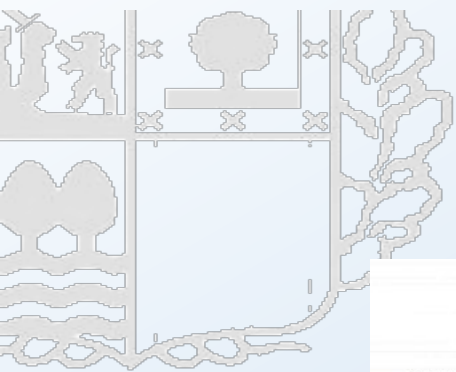
2005

2010

2015

2020





## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN APB - USOS COMO MATERIA PRIMA FABRICACIÓN HORMIGÓN

APLICACIÓN LIGADA

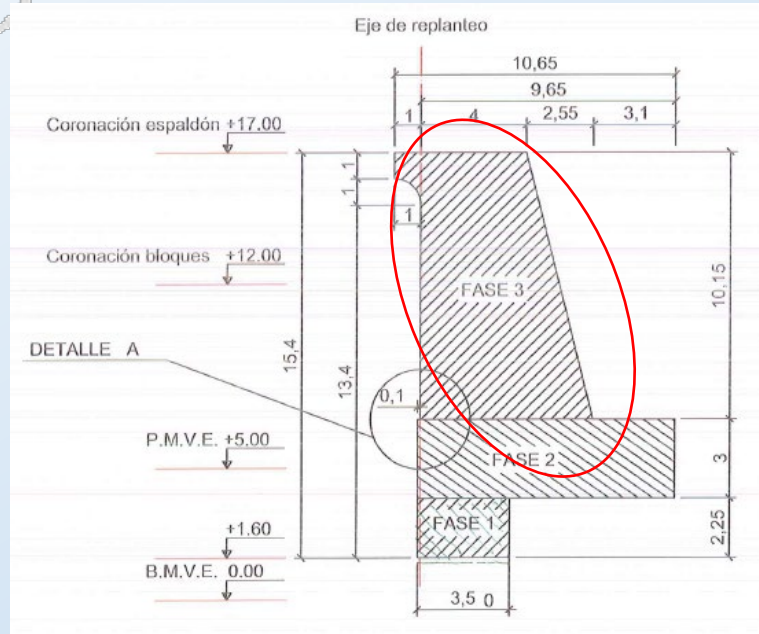
2005

2010

2015

2016

2020



### • FASE 3

EJECUCIÓN ABRIL – JULIO 2016

PUESTA DIARIA

ALTURA MOLDE 10 m



## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN APB

- USOS COMO MATERIA PRIMA FABRICACIÓN MBC

[APLICACIÓN LIGADA](#)

### • PAVIMENTACIÓN 12.800 M2 CONCESION USO COMERCIAL EN MUELLE AZ-3

2005

EXTENDIDO CAPA RODADURA S12

densidad

% betún sobre mezcla

CON ARIDO CALIZO 75% superficie

2,39-2,45

4,46-4,51

CON SIDERÚRGICO 25% superficie

2,67-2,83

4,52-4,55

2010

CONTRATISTA. ASFALTIA

PROCEDENCIA ÁRIDO. Nervacero 

SOLO FRACCIÓN GRUESA

2015

CONTROL CALIDAD. Euskontrol

2017

2020

**NOTA.** Se han incluido adicionalmente la ejecución de otros ensayos comparativos y específicos (profundidad macrotextura y resistencia al deslizamiento) para evaluar la evolución de la durabilidad en un muelle comercial de dichas capas rodadura de MBC.



## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN APB

- USOS COMO MATERIA PRIMA FABRICACIÓN MBC

[APLICACIÓN LIGADA](#)

- **NAVE PARA ACTIVIDADES LOGÍSTICAS-INDUSTRIALES EN EL MUELLE AZ-2**

2005

EXTENDIDO 22.900 M2 CAPA RODADURA D12  
CON SIDERÚRGICO 100% superficie

densidad  
2,61-2,77

% betún sobre mezcla  
4,56-4,71

2010

CONTRATISTA. **SENOR**

PROCEDENCIA ÁRIDO. Nervacero 

FRACCIÓN GRUESA

FRACCIÓN FINA 30% C +70% S

2015

2018

CONTROL CALIDAD. Euskontrol

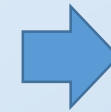
2020



## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN APB - USOS COMO MATERIA PRIMA FABRICACIÓN MBC

APLICACIÓN LIGADA

- **PAVIMENTACIÓN 21.000 M2 EN EXPLANADA DE MUELLE PUNTA SOLLANA**



### PROYECTO DEMOSTRACIÓN ECONOMÍA CIRCULAR



2005

EXTENDIDO CAPA BASE S16 y RODADURA S12  
S16 CON SIDERURGICO y 18% RAP  
S16 CON SIDERURGICO y 20% RAP

CONTRATISTA. **OLARRA**

2010

PROCEDENCIA ÁRIDOS % S/ÁRIDOS

**FRACCIÓN SIDERÚRGICA. Nervacero 61-58%**



**FRACCIÓN CALIZA 21-22 %**

**RAP 18-20%**

2015

CONTROL CALIDAD. **Euskontrol**

2018

**SENSIBILIDAD AL AGUA > 90**

**CARACTERIZACIÓN RAP**

2020

**NOTA. Se han incluido adicionalmente la ejecución de otros ensayos comparativos y específicos (profundidad macrotextura y resistencia al deslizamiento) para evaluar la evolución de la durabilidad en un muelle comercial de dichas capas rodadura de MBC.**

**Asimismo se incrementa los ensayos control de la calidad durante la producción para seguimiento homogeneidad.**

densidad

% betún sobre mezcla

2,70-2,72

3,90-4,07

2,71-2,74

3,98-4,10



## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN APB - USOS COMO PRODUCTO FINAL

APLICACIÓN NO LIGADA

- FORMACIÓN INICIAL DE PRECARGAS PARA CONSOLIDACIÓN DEL TERRENO DE MUY BAJA CAPACIDAD PORTANTE

2005

- ALTURA 4,5 M
- DENSIDAD APARENTE >2,0 T/M3
- MATERIAL NO PLÁSTICO

PROCEDENCIA ÁRIDO. Befesa Zinc Aser



2010



2015



2019



2020



## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN APB - USOS COMO PRODUCTO FINAL

APLICACIÓN NO LIGADA

• EXTENDIDO DE 340.000 M2 DE  
CAPA DE FIRME PARA SUELO  
ADECUADO EN CORONACIÓN  
RELLENOS EN ESPIGON CENTRAL

- ESPESOR CAPA 0,30 M
- DENSIDAD
- CBR > 20 y 2,35 T/M3

2005

2010

2015

2019

2020

PROCEDENCIA ÁRIDOS

CE

T 0/100. Nervacero 25%

RCDs 65%

MATERIAL CALIZO 10%



## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN APB - EMPLAZAMIENTO Y VOLÚMENES

Emplazamiento	Aplicación	Medición (ton)	Fecha
1. Concesión silo almacenamiento GSN	Formación de precargas	100.000	2008-2009
2. Muelle AZ-3	Áridos para hormigón	1.500	2008-2009
3. Refuerzo morro dique Punta Lucero	Áridos para hormigón	70.000	2010-2011
4. Ampliación concesión Depósito Franco	Explanada mejorada	15.000	2011
5. Nuevo muelle de cruceros	Explanada mejorada	23.000	2014
6. Prolongación dique-muelle Punta Sollana	Áridos para hormigón	250.000	2013 - 2016
7. Pavimentación muelle comercial AZ-3	Áridos para MBC	1.000	2017
8. Urbanización anexa concesión HAIZEA WIND	Áridos para MBC	3.500	2018
9. Pavimentación muelle comercial Punta Sollana	Áridos para MBC	5.700	2018
10. Ampliación concesión Navacel en dársena Udondo	Formación de precargas	18.000	2019
11. Espigón Central	Explanada mejorada	90.000	2019

1.000 M3  
43.500 M3

159.300 M3

3.500 M2  
22.900 M2  
21.000 M2

**> 200.000 M3 HORMIGÓN  
CON ÁRIDO SIDERÚRGICO  
desde 2009  
EN OBRAS DE LA APB**

**> 45.000 M2 PAVIMENTACIÓN  
CON ÁRIDO SIDERÚRGICO  
desde 2017  
EN OBRAS DE LA APB**

**> 570.000 tons desde 2008  
UTILIZACIÓN ÁRIDO SIDERÚRGICO  
EN OBRAS DE LA APB**

## 2. ÁRIDO SIDERÚRGICO EN APB - EMPLAZAMIENTO Y VOLÚMENES



10

**> 200.000 M3 HORMIGÓN  
CON ÁRIDO SIDERÚRGICO  
desde 2009  
EN OBRAS DE LA APB**

**> 45.000 M2 PAVIMENTACIÓN  
CON ÁRIDO SIDERÚRGICO  
desde 2017  
EN OBRAS DE LA APB**

**> 550.000 tons desde 2008  
UTILIZACION ÁRIDO SIDERÚRGICO  
EN OBRAS DE LA APB**

### 3. CONCLUSIONES

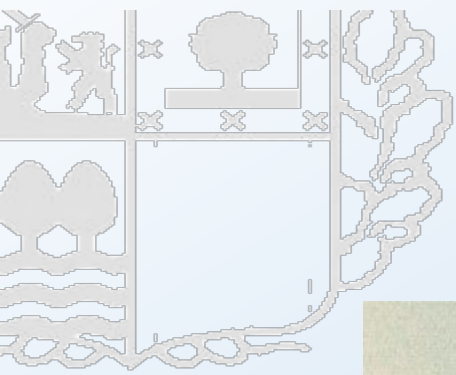
- RESUMEN EXPERIENCIAS APB

## VENTAJAS. (muy importantes)

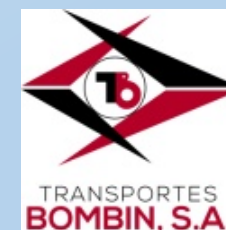
- ↓ Volumen de hormigón por unidad de bloque (debido a la mayor densidad)
- ↓ Coste fabricación de hormigón/ MBC
  - (coste árido siderúrgico << árido calizo << árido ofítico)
  - Disponibilidad dentro de Bizakaia
- Obtención de MBC con mayor durabilidad
- Obtención de hormigón de elevadas prestaciones
  - ↑ densidad
  - ↑ resistencias a medio-largo plazo (mayor esqueleto granular y elevado rozamiento interno del árido siderúrgico)
- Mejora medioambiental y económica
  - Aprovechamiento subproducto industrial (↓ consumo recursos naturales: cantera)
  - Evita la saturación de vertederos de inertes
  - ↓ espacio para acopio de escorias en acería

## CONDICIONANTES. (leves)

- Necesidad de buena planificación en la generación de acopios de árido condicionado fundamentalmente por plazos de envejecimiento y valorización:
  - Procesado escoria bruta
  - Envejecimiento por riego con agua
  - Obtención de producto valorizado (tras resultados favorables de ensayos de expansividad)
- Necesidad de distintas dosificaciones de hormigón
  - Disponibilidad de árido siderúrgico de distintas procedencias con importante dispersión en la densidad
  - Una dosificación por cada procedencia del árido (no se han mezclado procedencias)
- Incremento densidad MBC siderúrgico
- Necesidad de prestaciones superiores en equipos, medios de puesta en obra y fabricación de hormigón/MBC



# AGRADECIMIENTOS



NERVACERO

