

El cumplimiento de los objetivos de descarbonización

La construcción debe acometer la resolución de un grave reto: según datos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en 2021 el sector de la construcción representaba en torno al 37% de las emisiones totales de CO_2 a la atmósfera y era responsable de más del 34% de la demanda energética global.

evozero

evoBUILD

10 DE OCTUBRE 2024

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Juan Ajuriaguerra 35, 48009 Bilbao

Organiza:

Heidelberg Materials

Colaboran:

CAMINOS EUSKADI

BETAN COURT 200 1758 1824

Bilbao PORT

Europar Batasuna Unión Europea
Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)
Eskualde Garapenarako Europar Funtsa (EGEF)

ihobe ingurumen hobekuntza mejora ambiental

EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO
EKONOMIAREN GARAPEN, JASANGARRITASUN ETA INGURUMEN SAILA
Ingurumen Jasangarritasuneko
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ECONÓMICO, SOSTENIBILIDAD Y MEDIO AMBIENTE
Viceconsejería de Sostenibilidad Ambiental

MATERIALES PARA CONSTRUIR EL FUTURO

DURABILIDAD: PROYECTO EKODOCK

Proyecto de innovación facilitado por la AUTORIDAD PORTUARIA DE BILBAO para el desarrollo de una nueva solución constructiva, basada en hormigones de altas prestaciones reforzados con fibras no metálicas para la ejecución de elementos estructurales en ambiente marino, ejemplo de aplicación en cajones portuarios para muelles.

IHOBE 2022 - Ecodiseño y demonstración en Economía Circular

José Luis García-Mochales Carralero
Jefe Departamento Innovación APB

Heidelberg Materials

CAMINOS EUSKADI

Bilbao PORT

1.ANTECEDENTES GENERALES

- DESCRIPCION Y CONDICIONANTES TECNICOS CAJON DE MUELLE
- FABRICACION INDUSTRIAL CAJONES DE MUELLE
- FASES DE FABRICACION
- SUPERVISION E INSPECCION DURANTE LA FABRICACION
- DURABILIDAD Y OTRAS PROBLEMATICAS



2.DESARROLLO DEL PROYECTO DE INNOVACION

- ANALISIS ESTRUCTURAL DEL CAJON
- DOSIFICACION DE UN HORMIGON DE ELEVADAS PRESTACIONES
- DISEÑO Y EJECUCION DE PROTOTIPO



3.CONCLUSIONES

- RESUMEN EXPERIENCIAS
- REFLEXIONES FINALES
- SIGUIENTES PASOS

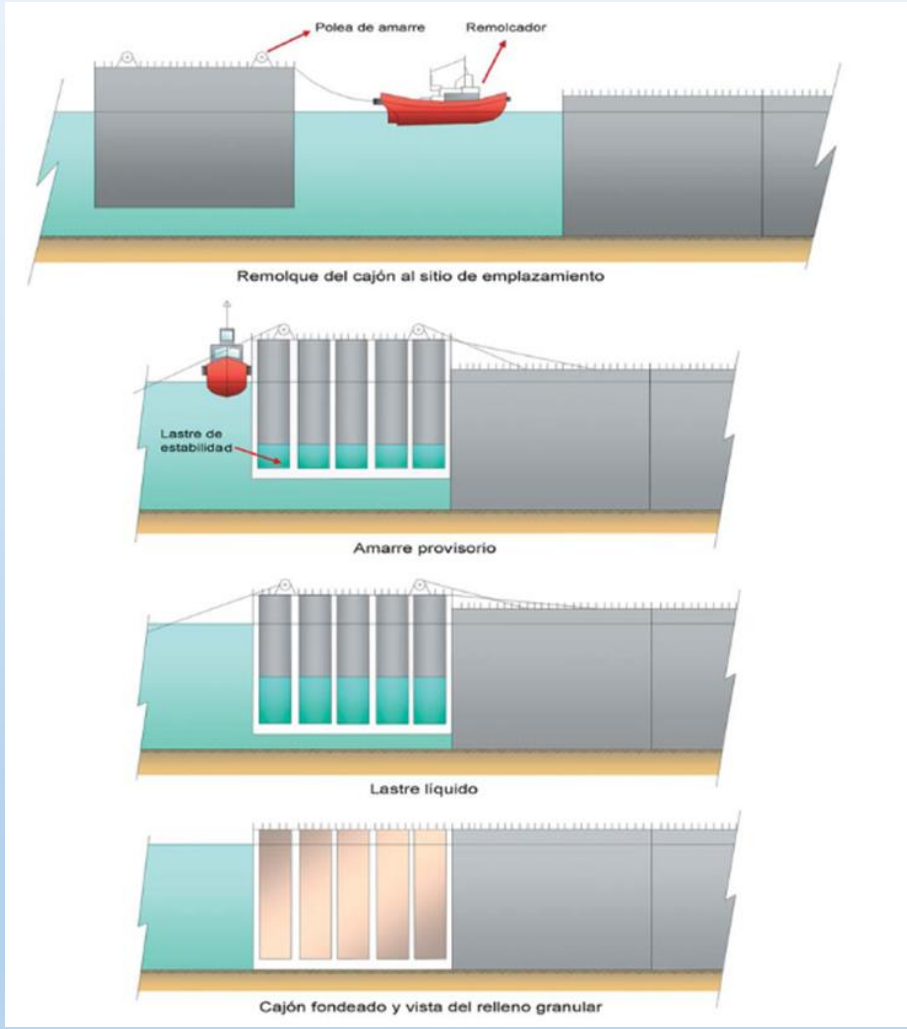
Heidelberg Materials

CAMINOS EUSKADI

1. ANTECEDENTES GENERALES

DESCRIPCION Y CONDICIONANTES TECNICOS CAJON DE MUELLE

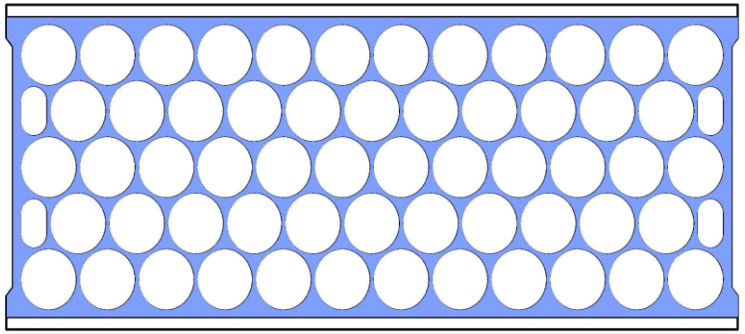


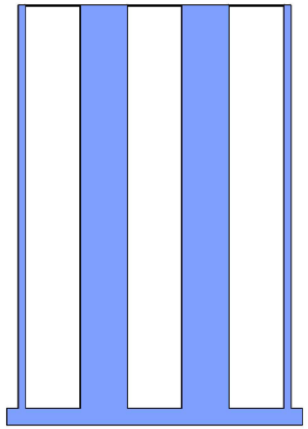


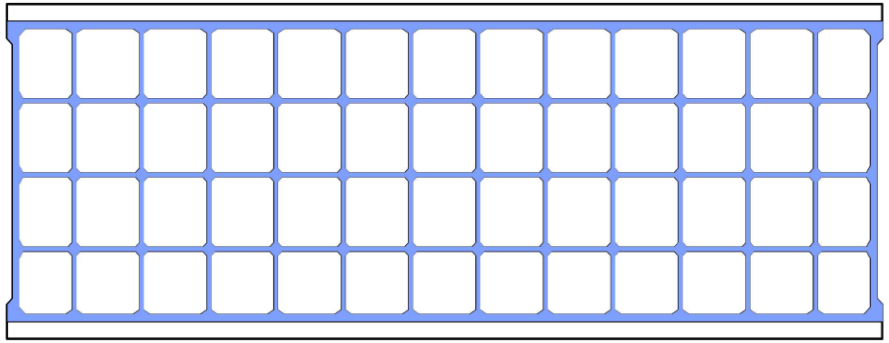
¿QUE ES UN CAJÓN FLOTANTE Y PARA QUE SIRVE?

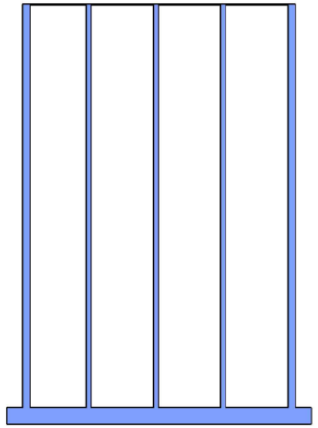
1. ANTECEDENTES GENERALES

DESCRIPCION Y CONDICIONANTES TECNICOS CAJON DE MUELLE









CAJON CON CELDAS CIRCULARES

3,51 m	diámetro celda
0,20 m	espesor pared interior
203 m3/ml	deslizado
60 kgs/m3	cuantía acero
VOL. HORMIGÓN	5.700m³ /UD

CAJON CON CELDAS PLANAS

3,60-4,00 m	lado interior celda
0,25 m	espesor pared interior
154 m3/ml	deslizado
100 kgs/m3	cuantía acero
VOL. HORMIGÓN	4.500m³ /UD

Elemento estructural con forma de paralepípedo ejecutado en hormigón armado con celdas interiores…

1. ANTECEDENTES GENERALES

DESCRIPCION Y CONDICIONANTES TECNICOS CAJON DE MUELLE



BUQUE CAJONERO

Instalación compacta e integral

Necesidad menor de espacios terrestres

Mayor calado para botadura

Menor flexibilidad uso/actividades







PONTONA SUMERGIBLE

Menor calado para botadura

Posibilidad actividades simultáneas

Uso medios elevación importantes

Necesidad mayor de espacios terrestres

Elemento estructural…. fabricado de forma industrial en plataforma flotante para formación muelle y contención rellenos.

1. ANTECEDENTES GENERALES

DESCRIPCION Y CONDICIONANTES TECNICOS CAJON DE MUELLE



DIMENSIONES DEL CAJON TIPO

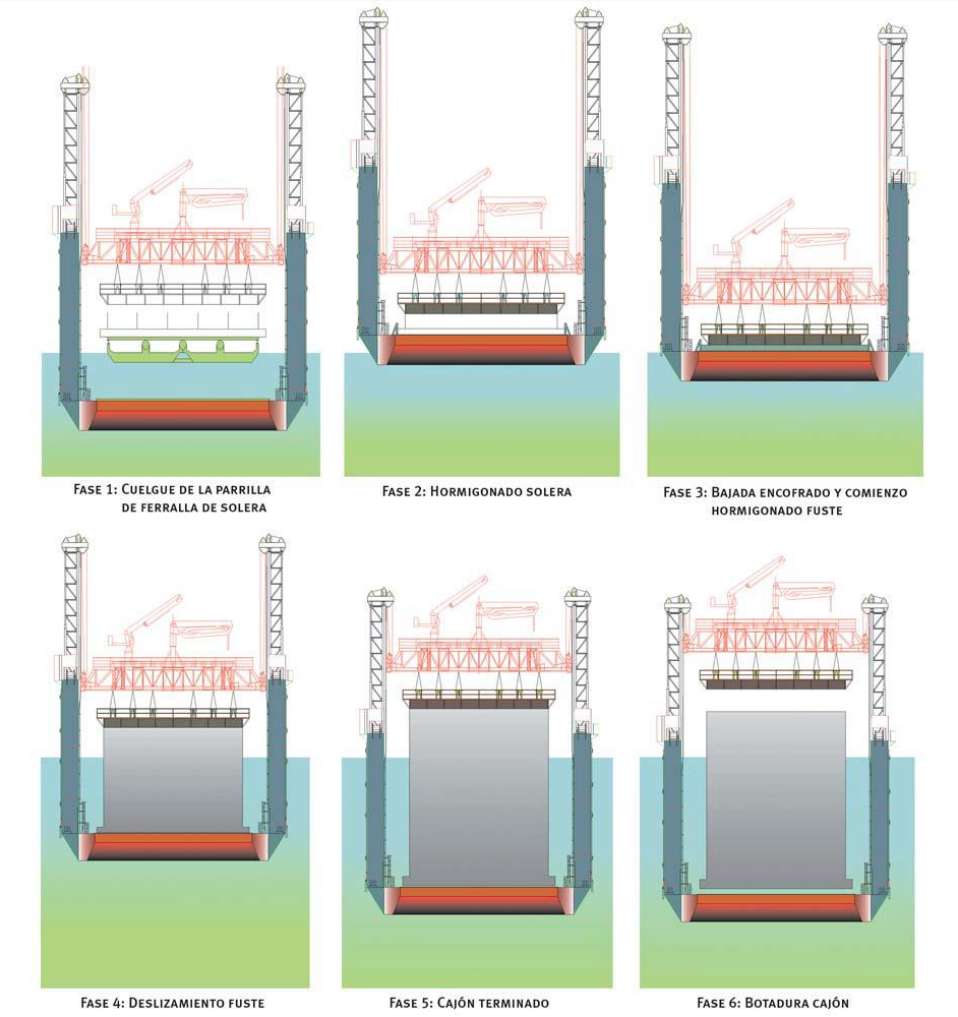
- ESLORA: **55,20m**
- MANGA POR FUSTE: **17,16m**
- PUNTAL: **25,00m**
- VOL. HORMIGÓN: **4.500m³ /UD**
- KG DE ACERO: **424.000kg /UD**

PROCESO INDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN 24H

- DURACIÓN FABRICACION MEDIA CAJÓN: 9 DÍAS
- CONDICIONANTES METEOROLOGICOS
- AMBIENTE MARINO (IIIc Qb)

1. ANTECEDENTES GENERALES

DESCRIPCION Y CONDICIONANTES TECNICOS CAJON DE MUELLE



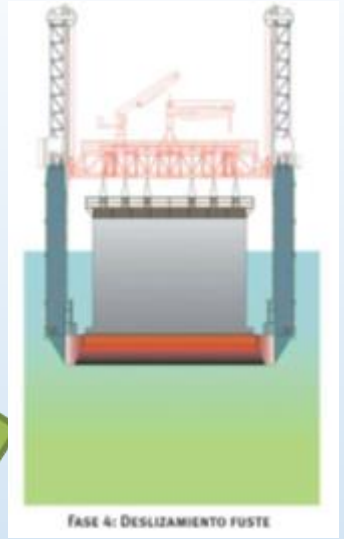
- FABRICACION Y MONTAJE ARMADURA ZAPATA
- HORMIGONADO ZAPATA
- ENFILADO ENCOFRADO DESLIZANTE EN ALZADOS
- DESLIZADO DE FUSTE
- TERMINACION Y BOTADURA



Fases de fabricación en cajonero

1. ANTECEDENTES GENERALES

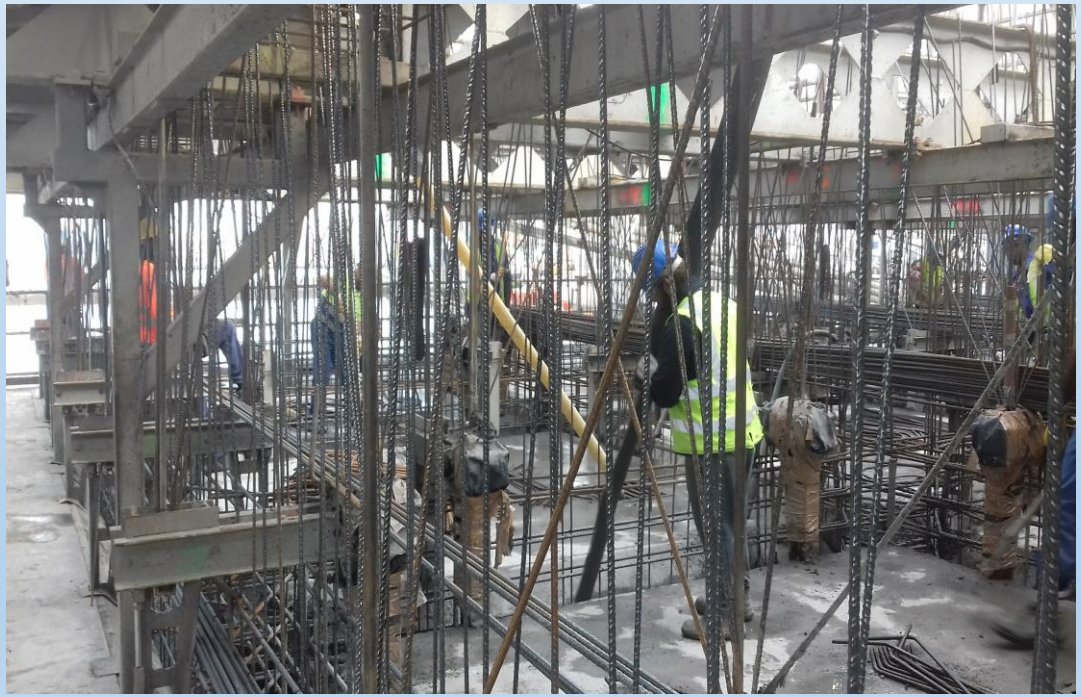
SUPERVISION E INSPECCION DURANTE LA FABRICACION



RECURSOS HUMANOS DESTINADOS A VIGILANCIA DE OBRA:

- 5 OPERARIOS EN TURNOS DE 8H M/T/N
- JEFE DE ASISTENCIA TECNICA CON DISPONIBILIDAD 24H.
- DURACION UNIDAD FABRICACION CAJONES 8 meses para 22 uds.

PRESENCIA A PIE DE OBRA CONTINUA







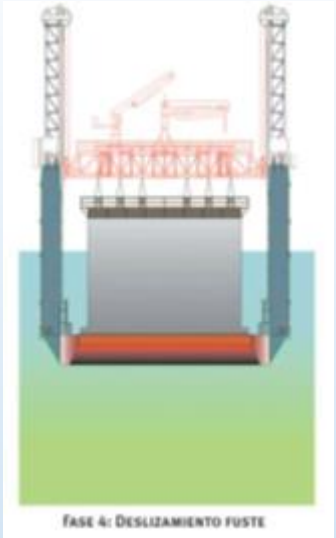
Heidelberg Materials

CAMINOS EUSKADI

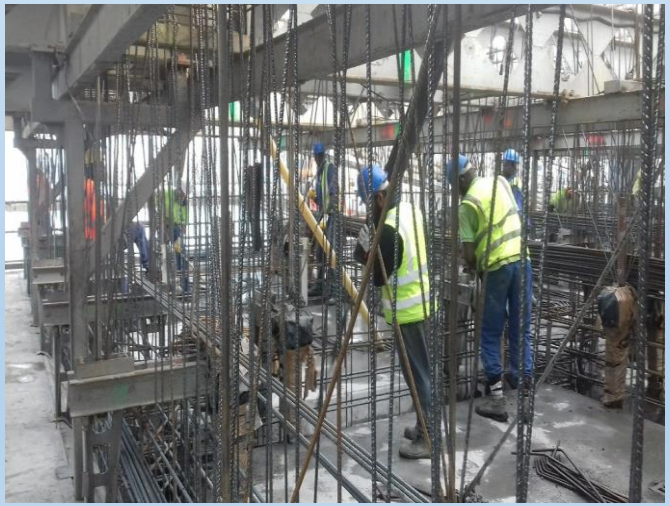
Supervisión durante deslizado fuste cajon

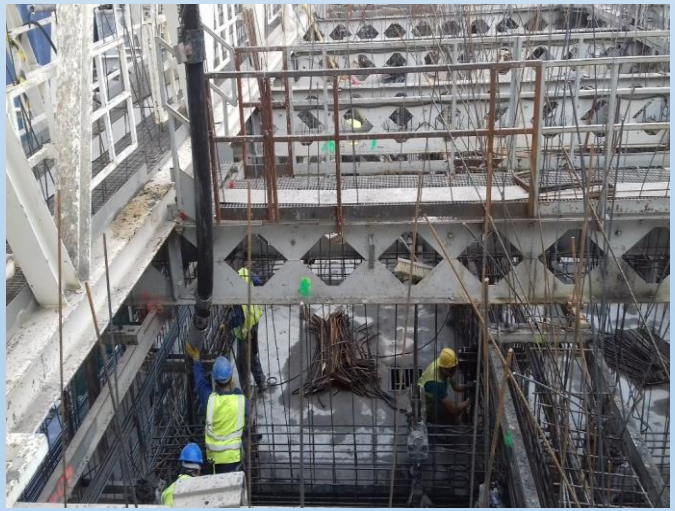
1. ANTECEDENTES GENERALES

DURABILIDAD Y OTRAS PROBLEMATICAS



- ❑ CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES
  - ▪ ACERO (B500SD) HORMIGÓN (HA35) Y SUS COMPONENTES
- ❑ CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO DE FABRICACIÓN ININTERRUMPIDA
  - ▪ MONITORIZACION MONTAJE DE ACERO
    - CUANTITATIVO (Us/ml)
    - CUALITATIVO (Control geométrico) y RECUBRIMIENTOS
  - ▪ SUPERVISION FABRICACION Y PUESTA EN OBRA DE HORMIGÓN







Heidelberg Materials

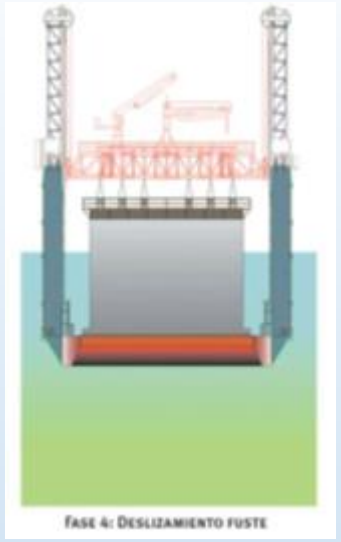
CAMINOS EUSKADI

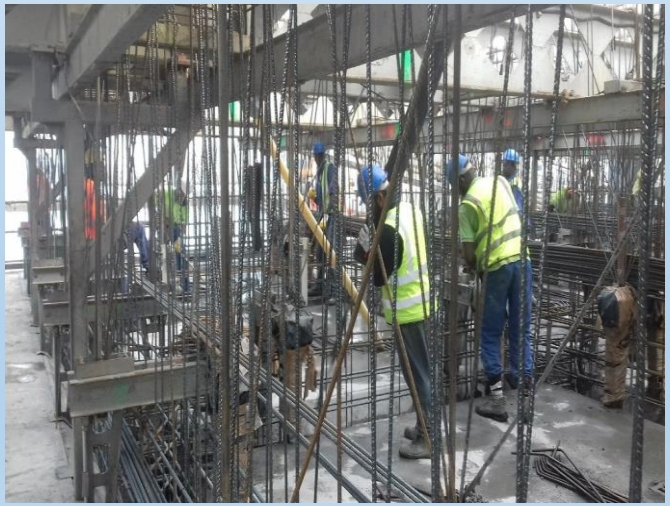
Supervisión durante deslizado fuste cajon

1. ANTECEDENTES GENERALES

DURABILIDAD Y OTRAS PROBLEMATICAS

- ❑ CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES
  - ▪ ACERO (B500SD) HORMIGÓN (HA35) Y SUS COMPONENTES
- ❑ CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO DE FABRICACIÓN ININTERRUMPIDA
  - ▪ MONITORIZACION MONTAJE DE ACERO
    - CUANTITATIVO (Us/ml)
    - CUALITATIVO (Control geométrico) y RECUBRIMIENTOS
  - ▪ SUPERVISION FABRICACION Y PUESTA EN OBRA DE HORMIGÓN









PRODUCCION vs CALIDAD

AMBITO DE TRABAJO MUY EXIGENTE

FALTA DE MANO DE OBRA ESPECIALISTA

IMPORTANTE AFECCION A LA DURABILIDAD

2. DESARROLLO DEL PROYECTO DE INNOVACION

ANALISIS ESTRUCTURAL DE CAJON DIFERENTES TIPOLOGIAS CELDAS INTERIORES

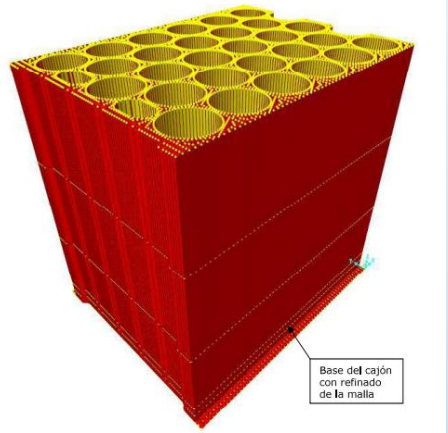
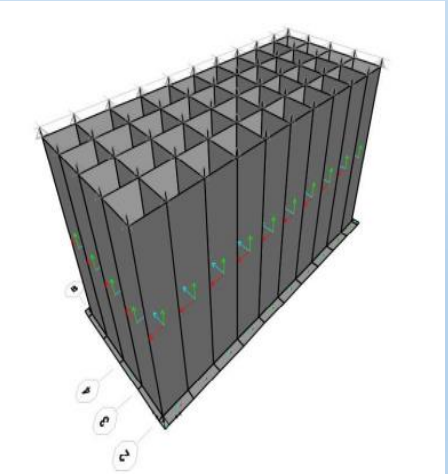


Figura 3. Vista general del modelo utilizado para el estudio de los esfuerzos en el fuste.

VERIFICACIÓN TENSIONAL DEL FUSTE. CAJÓN CON CELDAS CIRCULARES		
	Circulares	Ovoidales
Momento flector mayorado, Md (kN·m)	0,00	49,23
Esfuerzo axil concomitante, Nd (kN) [+ Tracción]	493,96	0,00
Canto de la sección, h (m)	0,150	0,500
Ancho de la sección, b (m)	1,000	1,000
Área de la sección, A (m^2)	0,150	0,500
Inercia de la sección, I (m^4)	0,000	0,010
Tensión máxima de tracción, $\sigma_{t,max}$ (MPa)	**3,29**	**1,18**



VERIFICACIÓN TENSIONAL DE LAS PAREDES EXTERIORES. CAJÓN CON CELDAS PLANAS									
	Lado mar			Lado tierra			Pared transversal		
	Sección A	Sección B	Sección C	Sección A	Sección B	Sección C	Sección A	Sección B	Sección C
Momento flector mayorado, Md (kN·m)	221,94	83,45	119,12	222,35	83,59	119,68	222,35	76,77	119,54
Esfuerzo axil concomitante, Nd (kN) [+ Tracción]	-308,04	-308,04	-308,04	-329,63	-329,63	-329,63	-279,34	-279,34	-279,34
Canto de la sección, h (m)	0,650	0,400	0,400	0,650	0,400	0,400	0,650	0,400	0,400
Ancho de la sección, b (m)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Área de la sección, A (m^2)	0,650	0,400	0,400	0,650	0,400	0,400	0,650	0,400	0,400
Inercia de la sección, I (m^4)	0,023	0,005	0,005	0,023	0,005	0,005	0,023	0,005	0,005
Tensión máxima de tracción, $\sigma_{t,max}$ (MPa)	**2,68**	**2,36**	**3,70**	**2,65**	**2,31**	**3,66**	**2,73**	**2,18**	**3,78**

2. DESARROLLO DEL PROYECTO DE INNOVACION

DOSIFICACION DE UN HORMIGON DE ELEVADAS PRESTACIONES (UHPC)

- **PROPUESTA DE DOSIFICACION DE HORMIGON AUTOCOMPACTANTE FABRICADO CON UN CONGLOMERANTE DE ALTAS PRESTACIONES MECANICAS INCREMENTADAS CON LA ADICION DE FIBRAS AL QUE SOLO SE AÑADE ARIDO GRUESO Y ADAPTANDO LA DOSIFICACION DE AGUA AMASADO.**

RESISTENCIA A FLEXO-TRACCIÓN. i.flow SPECIAL	
Resistencia media a flexo-tracción, $f_{ctm,fl}$ (MPa)	9,00
Resistencia característica a flexo-tracción, $f_{ctk,fl}$ (MPa)	6,30
Resistencia de cálculo a flexo-tracción, $f_{ctd,fl}$ (MPa)	**4,20**

Resistencia de diseño a flexo-tracción del mortero i.flow SPECIAL

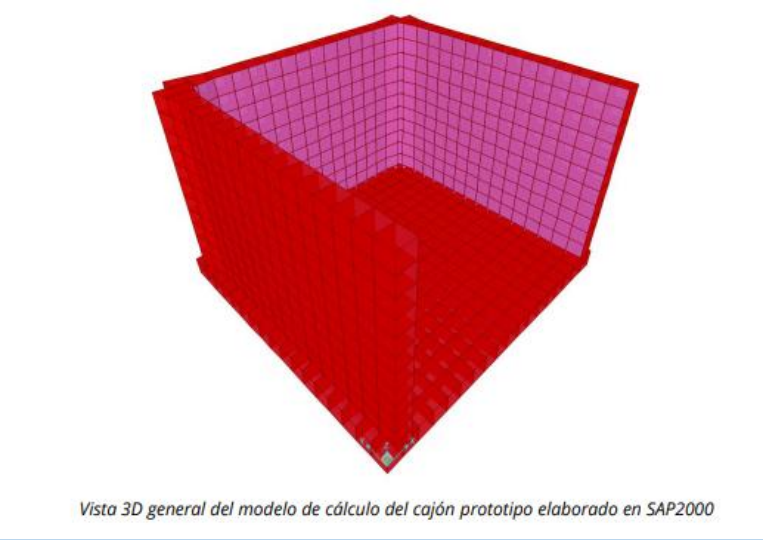
- **COMPROBACION Y VERIFICACION TENSIONAL A NIVEL DISEÑO, HACIENDO VIABLE SU USO EN LA CONSTRUCCION DE CAJONES DE MUELLE GRACIAS AL ALTO VALOR DE SU RESISTENCIA A FLEXOTRACCION (3-4 superior) FRENTE A HORMIGON CONVENCIONAL**
- **COMPROBACION EN LABORATORIO PRESTACIONES MECANICAS**

HAF-70/V – CR/AC/10 – 3/XS3

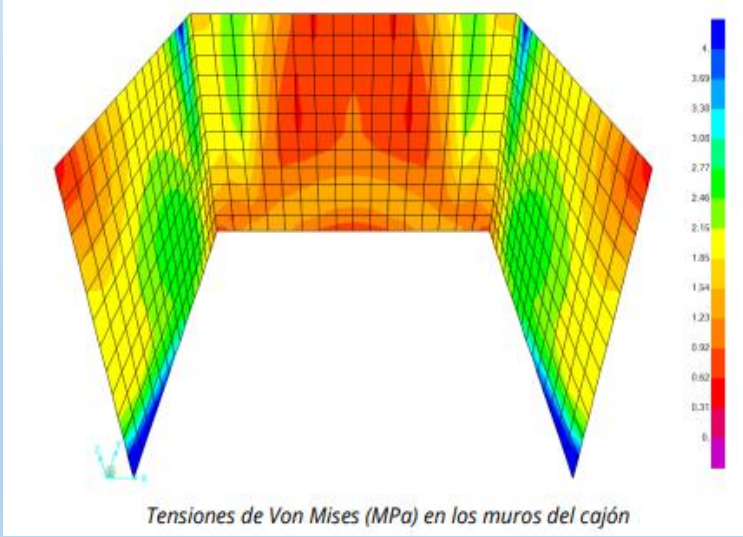
2. DESARROLLO DEL PROYECTO DE INNOVACION

DISEÑO DEL PROTOTIPO

- **DISEÑO Y JUSTIFICACION ESTRUCTURAL DEL PROTOTIPO CON GEOMETRIA ASIMILABLE A CELDA PLANA DE CAJON PARA MUELLE CON HORMIGON ALTAS PRESTACIONES SIN ARMADURA DE REFUERZO**
- **CAJON PROTOTIPO CON UNICA CELDA PLANA Y ABIERTA (L muro > 12 m con h = 3 m)**
- **UTILIZACION HORMIGON ALTAS PRESTACIONES PERMITE GEOMETRIA OPTIMIZADA CON ESPESORES INFERIORES RECOMENDADOS EN MANUAL DISEÑO CAJONES (e =0.25m)**



Vista 3D general del modelo de cálculo del cajón prototipo elaborado en SAP2000



Tensiones de Von Mises (MPa) en los muros del cajón

2. DESARROLLO DEL PROYECTO DE INNOVACION

EJECUCION DE PROTOTIPO



EJECUCION ZAPATA CONVENCIONAL

Utilización HA35

Emplazamiento afecto por carrera marea

Armadura vertical esfuerzos cortantes

2. DESARROLLO DEL PROYECTO DE INNOVACION

EJECUCION DE PROTOTIPO



EJECUCION ALZADO MURO

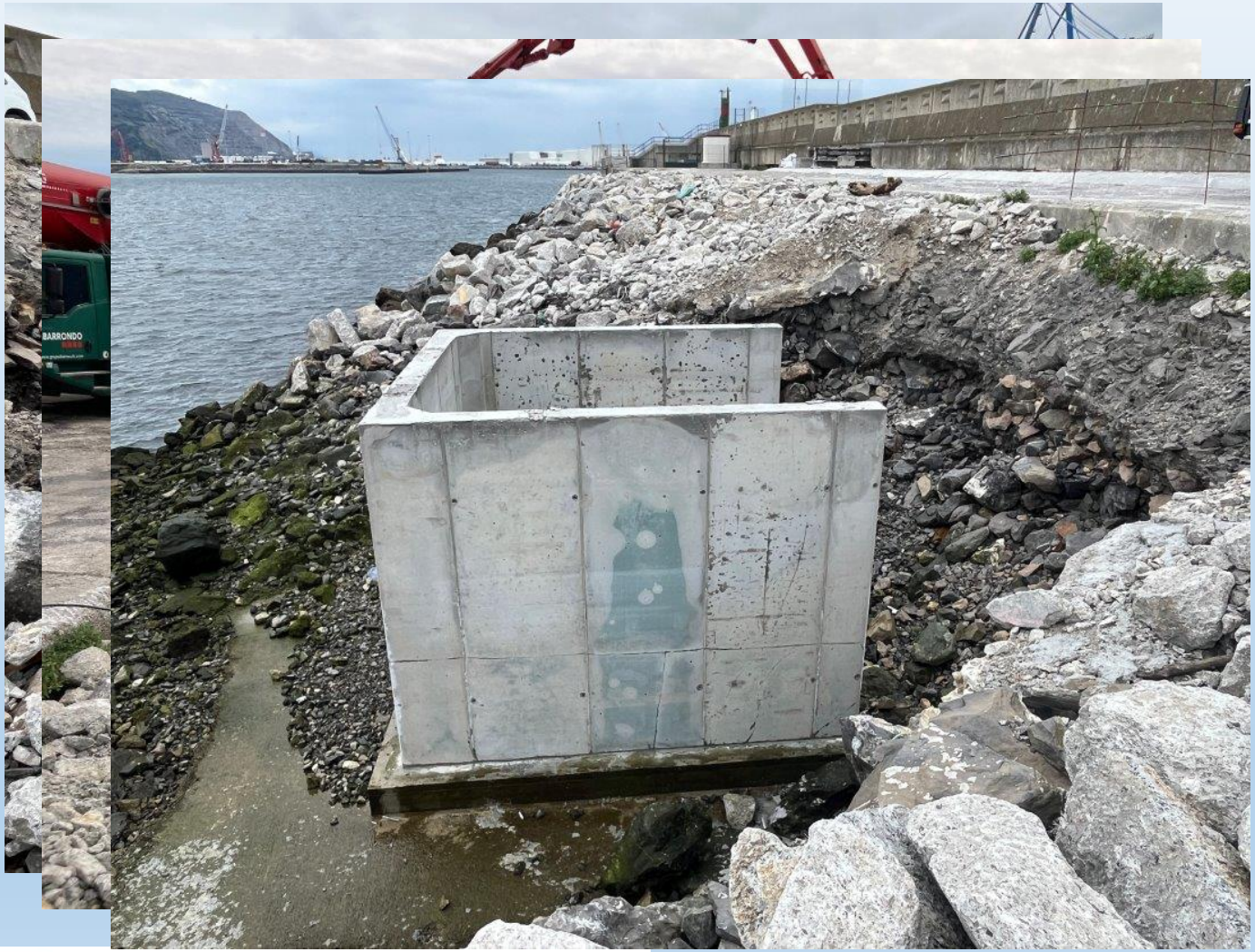
Puesta en obra similar hormigón convencional
No vibración / ahorro recursos
12 M3 Hormigón altas prestaciones

Heidelberg Materials

CAMINOS EUSKADI

2. DESARROLLO DEL PROYECTO DE INNOVACION

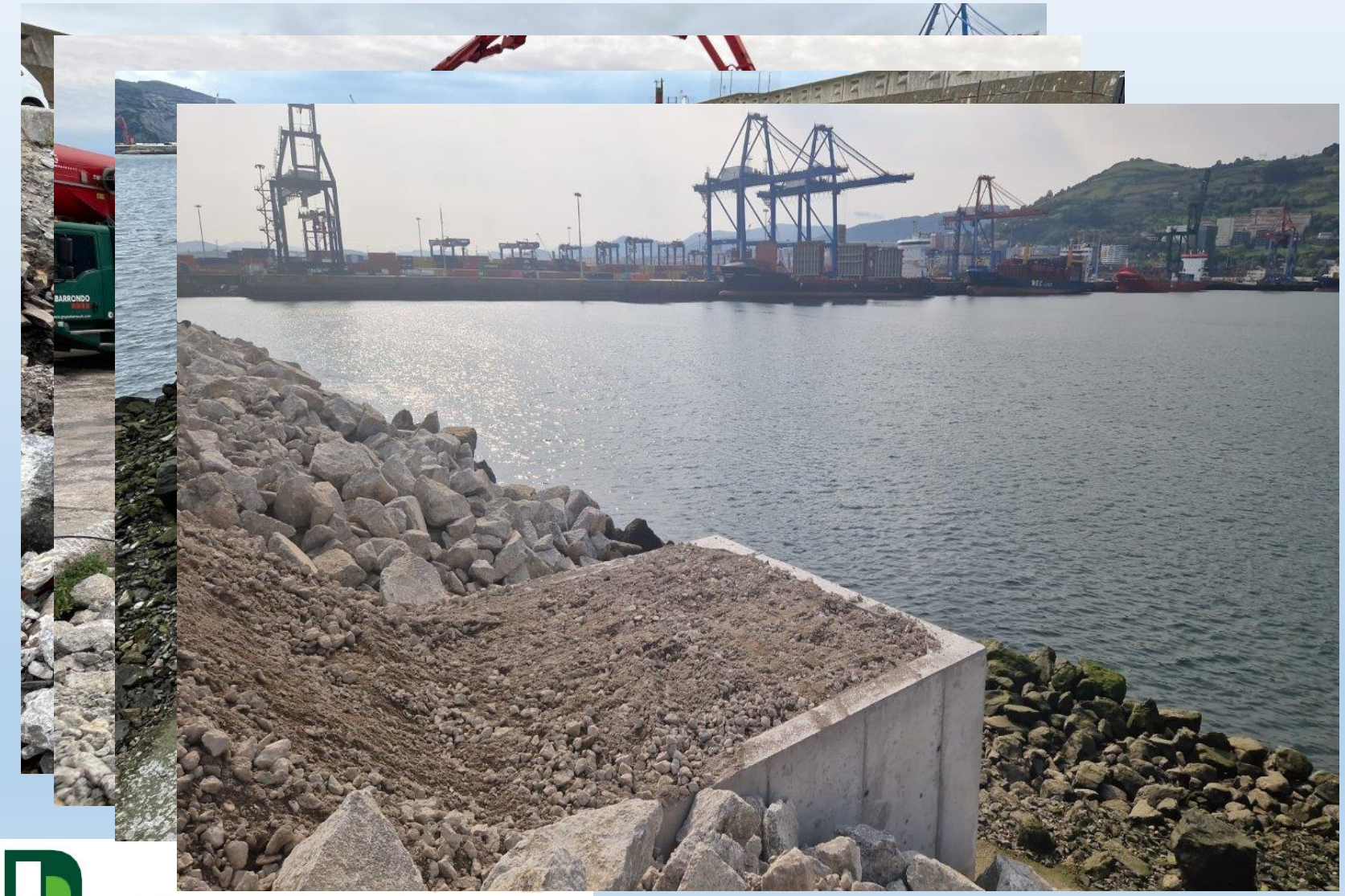
EJECUCION DE PROTOTIPO



ESTRUCTURA FINALIZADA

2. DESARROLLO DEL PROYECTO DE INNOVACION

EJECUCION DE PROTOTIPO



TRASDOS EJECUTADO

Empleo de materiales reciclados

Heidelberg Materials CAMINOS EUSKADI

2. DESARROLLO DEL PROYECTO DE INNOVACION

CONTROL CALIDAD INTENSO DEL HORMIGON







HAF-70/V – CR/AC/10 – 3/XS3

III/A 42,5 N/SRC (> 40 % adiciones)

Relación a/c 0.30

R Compresión 83,2 MPa / R Flexotracción 7,6 MPa

Heidelberg Materials

CAMINOS EUSKADI

3. CONCLUSIONES

RESUMEN EXPERIENCIAS / REFLEXIONES FINALES / SIGUIENTES PASOS

RETO INNOVACION APB:
INCREMENTAR LOS RATIOS DE DURABILIDAD DE LAS INFRAESTRUCTURAS PORTUARIAS AUMENTANDO SU VIDA UTIL Y REDUCIENDO SUS COSTES DE MANTENIENTO PARA CONTINUAR CON LA INTEGRACION EFICIENTE Y SOSTENIBLE DEL PUERTO DE BILBAO COMO PRINCIPAL NODO LOGISTICO DEL PAIS VASCO.

~~POSIBILIDAD~~ o REALIDAD: EL EMPLEO DE HORMIGON ALTAS PRESTACIONES

OPTIMIZACION DISEÑOS
NUEVOS MATERIALES
INCREMENTO DURABILIDAD

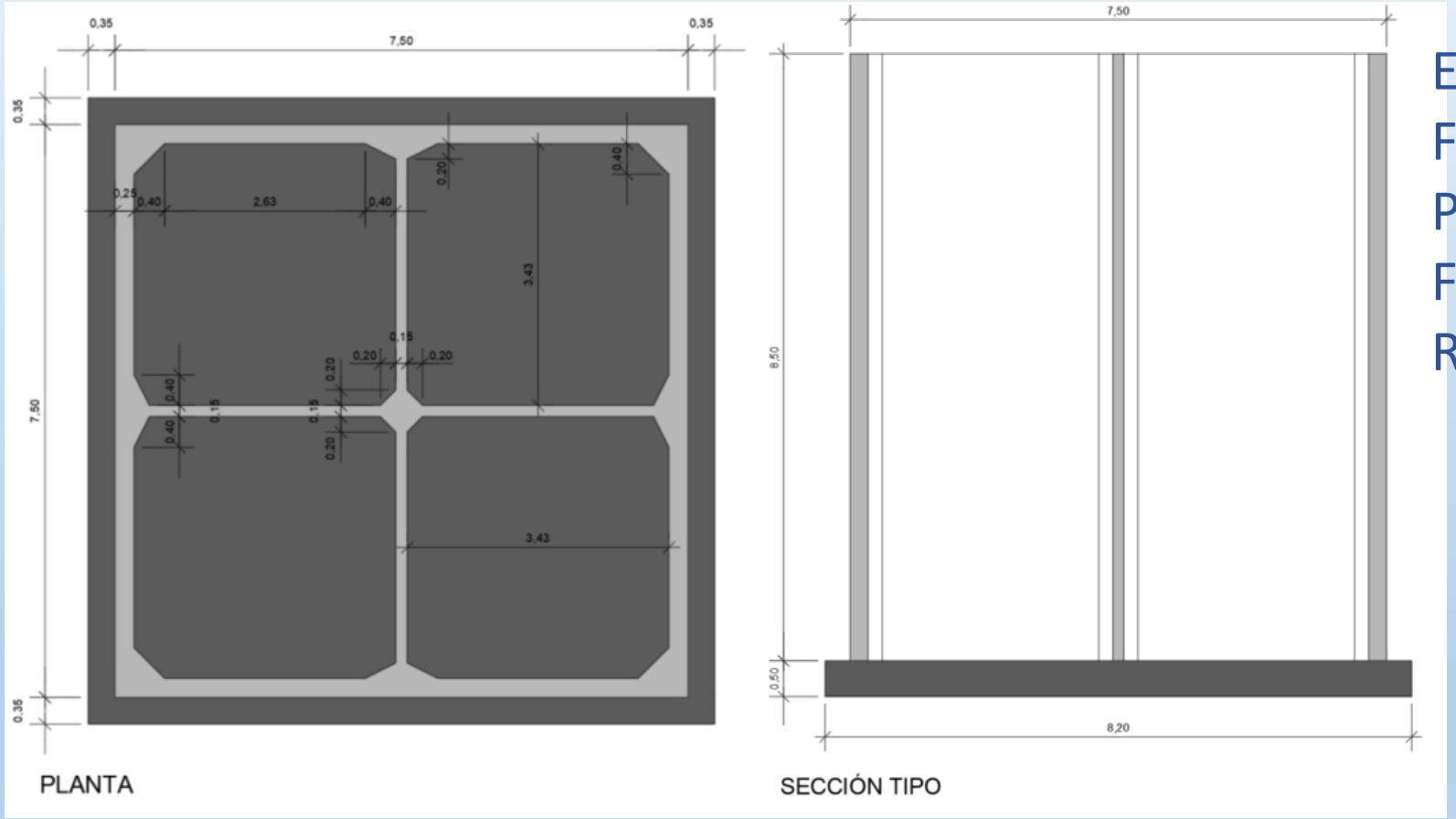
Infraestructuras más eficientes y sostenibles

Heidelberg Materials
CAMINOS EUSKADI

3. CONCLUSIONES

RESUMEN EXPERIENCIAS / REFLEXIONES FINALES / SIGUIENTES PASOS

DISEÑO Y EJECUCION DE CAJON PROTOTIPO COMPLETO 7,5x7,5x9 m INCORPORANDO:



Empleo en encofrados deslizantes
Fabricación en seco sobre muelle
Puesta a flote y traslado
Fondeo sobre banqueta
Relleno granular

PESO TOTAL DEL CAJÓN CON CELDAS PLANAS	
Peso específico del material, γ_c (kN/m^3)	23,00
Espesor de la solera, h_{solera} (m)	0,50
Longitud de la solera, L_{solera} (m)	8,20
Ancho de la solera, b_{solera} (m)	8,20
Peso total de la solera, W_{solera} (kN)	773,26
Área de la sección del fuste, A_{fuste} (m^2)	10,05
Altura del fuste, h_{fuste} (m)	8,50
Peso total del fuste, W_{fuste} (kN)	1.964,29
Peso total del cajón, W_{total} (kN)	**2.737,55**
Peso total del cajón, W_{total} (Tn)	**279,06**

Heidelberg Materials
CAMINOS EUSKADI

Bilbao PORT

Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)
Eskualde Garapenarako Europar Funtsa (EGEF)
Europar Batasuna Unión Europea

ihobe
ingurumen hobekuntza
mejora ambiental

EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO
EKONOMIAREN GARAPEN, JASANGARRITASUN ETA INGURUMEN SAILA
Ingurumen Jasangarritasuneko
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ECONÓMICO, SOSTENIBILIDAD Y MEDIO AMBIENTE
Viceconsejería de Sostenibilidad Ambiental



Heidelberg Materials
CAMINOS EUSKADI

Eskerrik asko