

**EUSKO JAURLARITZA**

ETXEBIZITZA, HERRI LAN  
ETA GARRAIO SAILA



**GOBIERNO VASCO**

DEPARTAMENTO DE VIVIENDA,  
OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES



# PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA NUEVA ESTACIÓN DE ZARAUTZ

Expediente nº P20018104

## ANEXO 7. MEMORIA DE CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA



Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Control de firmas

Realizado	Aprobado
Nombre y Apellidos	Nombre y Apellidos
Josef Mussnig	Ángel López de Arancibia
Fecha y Firma	Fecha y Firma

No precisa firma si está aprobado electrónicamente mediante ruta

Información del Documento	
Código Documento	P0210K30-A7-ES-DOC-0700
Referencia	P0210K30

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Registro de cambios

Rev	Fecha	Autor	Sección afectada	Cambios
A	ABRIL 2020	Josef Mussnig	Todas	Edición Inicial

## ÍNDICE

---

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETO Y ALCANCE</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>DOCUMENTOS DE REFERENCIA</b> .....	<b>12</b>
3.1	Referencias del proyecto .....	12
3.2	Normas de Aplicación.....	12
3.3	Guías de referencia .....	12
3.4	Software .....	13
<b>4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS</b> .....	<b>13</b>
4.1	Fases de construcción .....	13
4.2	Obras provisionales.....	13
4.3	Vaso estanco .....	13
4.4	Cimentación .....	13
4.5	Estación .....	13
4.6	Marquesinas y andén .....	14
<b>5</b>	<b>DATOS DE PARTIDA</b> .....	<b>15</b>
5.1	Vida útil .....	15
5.2	Parámetros ferroviarios .....	15
5.1	Nivel freático.....	15
<b>6</b>	<b>MATERIALES</b> .....	<b>15</b>
6.1	Hormigón.....	15
6.1.1	Clase de exposición .....	15
6.1.2	Composición .....	16
6.1.3	Recubrimiento .....	16
6.1.4	Pilotes .....	16
6.1.5	Tipos de hormigón.....	17
6.2	Armaduras pasivas.....	17
6.3	Acero estructural .....	17
6.1	Anclajes al terreno .....	17
<b>7</b>	<b>COEFICIENTES DE SEGURIDAD</b> .....	<b>18</b>
7.1	Hormigón armado .....	18

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



7.2	Estructuras de acero .....	18
7.1	Anclajes al terreno .....	18
7.2	Acciones.....	19
7.2.1	Estados límite últimos (E.L.U.) .....	19
7.2.2	Estados límite últimos (E.L.S.) .....	19
<b>8</b>	<b>COMBINACIÓN DE ACCIONES .....</b>	<b>20</b>
8.1	Coefficientes de combinación.....	20
8.2	Estados límite últimos .....	20
8.2.1	Situaciones persistentes o transitorias .....	20
8.2.2	Situaciones accidentales .....	20
8.2.3	Fatiga .....	21
8.1	Estado límite de servicio .....	21
8.1.1	Situaciones persistentes o transitorias .....	21
<b>9</b>	<b>ACCIONES ESTRUCTURA HORMIGÓN.....</b>	<b>22</b>
9.1	Introducción .....	22
9.2	Acciones permanentes de valor constante.....	22
9.2.1	Peso Propio .....	22
9.2.2	Cargas Muertas.....	22
9.3	Acciones permanentes de valor no constante .....	22
9.3.1	Acciones del terreno .....	22
9.3.2	Presión de agua .....	23
9.3.3	Acciones reológicas .....	23
9.4	Acciones variables.....	24
9.4.1	Coefficiente de impacto .....	24
9.4.2	Tren de cargas verticales .....	25
9.4.3	Cargas horizontales debidas al tráfico.....	26
9.4.4	Tren de cargas para la comprobación de fatiga .....	26
9.4.5	Sobrecarga de uso .....	26
9.4.6	Viento.....	26
9.4.7	Nieve.....	26
9.4.8	Acciones térmicas .....	26
9.4.9	Acciones accidentales .....	27
9.4.10	Acciones sísmicas.....	27
<b>10</b>	<b>ACCIONES MARQUESINAS Y ELEMENTOS METÁLICOS.....</b>	<b>27</b>
10.1	Cargas muertas .....	27
10.2	Viento.....	27

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



10.1	Nieve.....	28
<b>11</b>	<b>ESTRUCTURA HORMIGÓN .....</b>	<b>29</b>
11.1	Modelo de cálculo .....	29
11.2	Acciones aplicadas .....	29
11.2.1	Peso propio y cargas muertas (DL) .....	29
11.2.2	Empuje de tierras (EP) .....	30
11.2.3	Temperatura y retracción.....	30
11.2.4	Cargas horizontales debidas al tráfico.....	31
11.2.5	Cargas verticales de tráfico .....	31
11.3	Combinaciones .....	33
11.4	Verificación pilares.....	33
11.4.1	Tipos y características de pilares.....	33
11.4.2	Verificación estado límite último (Fatiga) .....	34
11.4.3	Verificación estado límite último (ELU) .....	37
11.5	Verificación muros .....	39
11.5.1	Ubicación muros .....	39
11.5.2	Muros 109-110.....	39
11.5.3	Muro 24.....	41
11.5.4	Muro 111-113.....	42
11.5.5	Muro 18-31.....	44
11.5.6	Muro 26-27.....	46
11.5.7	Muro 114-115.....	48
11.5.8	Armadura dispuesta muros.....	49
11.6	Verificación losa de vía.....	50
11.6.1	Armadura principal.....	50
11.6.2	Deformaciones .....	55
11.6.3	Armadura de cortante .....	56
11.6.4	Punzonamiento .....	60
11.7	Cimentación .....	65
11.7.1	Reacciones.....	65
11.7.2	Pilotes .....	65
11.8	Losa de fondo .....	66
11.8.1	Dimensionado .....	66
11.8.2	Estabilidad a subpresiones .....	67
11.9	Resistencia a fuego.....	68
11.9.1	Losa superior .....	68
11.9.2	Pilares .....	68

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



11.9.3	Muros portantes.....	68
11.10	Impermeabilización .....	68
11.10.1	Muros .....	69
11.10.2	Suelos.....	69
<b>12</b>	<b>ESTRUCTURA MARQUESINA .....</b>	<b>70</b>
12.1	Modelo de cálculo .....	70
12.2	Acciones aplicadas .....	70
12.2.1	Peso propio y cargas muertas (DL) .....	70
12.2.2	Viento (DL).....	70
12.2.3	Nieve (N) .....	71
12.1	Resultados deformaciones .....	72
12.1.1	Deformación vertical .....	72
12.1.2	Deformación horizontal .....	72
12.2	Comprobación perfiles ELU .....	73
12.2.1	Pilar fachada .....	74
12.2.2	Pilar interior.....	75
12.2.3	Dintel .....	76
<b>13</b>	<b>ANDENES .....</b>	<b>78</b>
13.1	Acciones.....	78
13.2	Dimensionado losa.....	78
13.1	Dimensionado viga apoyo marquesina .....	78
<b>14</b>	<b>CONTENCIÓN PROVISIONAL .....</b>	<b>78</b>
14.1	Situación .....	78
14.2	Contención anclada con tráfico ferroviario (situación 1) .....	79
14.2.1	Anclajes .....	79
14.2.2	Modelo de cálculo .....	79
14.2.3	Estabilidad global.....	82
14.2.4	Tablestacas .....	82
14.2.5	Viga de reparto .....	82
14.3	Contención anclada sin tráfico ferroviario (situación 2) .....	83
14.3.1	Deformaciones .....	83
14.3.2	Estabilidad global.....	83
14.3.3	Tablestacas .....	83
14.3.4	Viga de reparto .....	83
14.4	Contención anclada depósito (situación 3) .....	84
14.4.1	Deformación.....	84

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



14.4.2	Estabilidad global.....	84
14.4.3	Tablestacas.....	85
14.5	Contención sin anclajes (situación 4).....	85
14.5.1	Deformación.....	85
14.5.2	Estabilidad global.....	85
14.5.3	Tablestacas.....	85
<b>ANEXO 1 - COMPROBACIÓN ENCEPADOS .....</b>		<b>86</b>
1.	Encepado de un pilote.....	86
2.	Encepado de dos pilotes .....	90
3.	Encepado de tres pilotes.....	103

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-	Retracción por secado elementos longitudinales plazo corto .....	23
Figura 2.-	Retracción por secado elementos longitudinales plazo infinito .....	23
Figura 3.-	Primera frecuencia propia .....	24
Figura 4.-	Deformación estática tren tipo ( $\Phi= 1,2$ ) y con tren real 6 .....	25
Figura 5.-	Tren de cargas verticales UIC71 (IAPF) .....	25
Figura 6.-	Modelo de cálculo .....	29
Figura 7.-	Empuje de tierras por peso tierras y sobrecargas sobre terreno.....	30
Figura 8.-	Reacciones cimentación por frenado.....	31
Figura 9.-	Momento máximo positivo vano 1 .....	31
Figura 10.-	Momento máximo negativo apoyo 3.....	32
Figura 11.-	Cortante máximo vano 2 lado izquierdo .....	32
Figura 12.-	Combinación trenes desfasados vano 3.....	32
Figura 13.-	Tren momentos transversales apoyo 3 .....	32
Figura 14.-	Ubicación pilares .....	33
Figura 15.-	Tensiones lineales máximas (SLS) .....	34
Figura 16.-	Cargas hipótesis 111 .....	34
Figura 17.-	Cargas hipótesis 70.....	35
Figura 18.-	Tensiones máximas, mínimas y permanentes P102. ....	36
Figura 19.-	Comprobación pilar 101 (ELU) .....	37
Figura 20.-	Comprobación pilar 102 (ELU) .....	38
Figura 21.-	Comprobación pilar 103 (ELU) .....	38
Figura 22.-	Ubicación y espesor muros.....	39
Figura 23.-	Cuantía vertical interior muro 109-110.....	39
Figura 24.-	Cuantía vertical exterior muro 109-110 .....	40

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Figura 25.- Cuantía horizontal interior muro 109-110 .....	40
Figura 26.- Cuantía horizontal exterior muro 109-110.....	41
Figura 27.- Cuantía vertical interior muro 24 .....	41
Figura 28.- Cuantía vertical exterior muro 24.....	41
Figura 29.- Cuantía horizontal interior muro 24 .....	42
Figura 30.- Cuantía horizontal exterior muro 24.....	42
Figura 31.- Cuantía vertical interior muro 111-113 (lado visto).....	42
Figura 32.- Cuantía vertical exterior muro 111-113 (lado enterrado).....	43
Figura 33.- Cuantía horizontal interior muro 111-113 (lado visto).....	43
Figura 34.- Cuantía horizontal exterior muro 111-113 (lado enterrado).....	43
Figura 35.- Cuantía vertical interior muro 18-31 (lado visto).....	44
Figura 36.- Cuantía vertical exterior muro 18-31 (lado enterrado).....	44
Figura 37.- Cuantía horizontal interior muro 18-31 (lado visto) .....	45
Figura 38.- Cuantía horizontal exterior muro 18-31 (lado enterrado) .....	45
Figura 39.- Cuantía vertical interior muro 26-27 .....	46
Figura 40.- Cuantía vertical exterior muro 26-27 .....	46
Figura 41.- Cuantía horizontal interior muro 26-27 .....	47
Figura 42.- Cuantía horizontal exterior muro 26-27 .....	47
Figura 43.- Cuantía vertical exterior muro 114-115 .....	48
Figura 44.- Cuantía vertical interior muro 114-115.....	48
Figura 45.- Cuantía horizontal exterior muro 114-115.....	48
Figura 46.- Cuantía horizontal interior muro 114-115 .....	49
Figura 47.- Envoltente momentos flectores $M_{xx}$ [kNm/m] (armado longitudinal).....	50
Figura 48.- Envoltente momentos flectores $M_{yy}$ [kNm/m] (armado transversal).....	50
Figura 49.- Envoltente esfuerzo axil $N_{xx}$ [kN/m].....	50
Figura 50.- Armadura inferior longitudinal (abajo zona reforzada) .....	51
Figura 51.- Armadura superior longitudinal (abajo zona reforzada) .....	51
Figura 52.- Armadura inferior transversal (abajo zona reforzada) .....	51
Figura 53.- Armadura superior transversal (abajo zona reforzada).....	52
Figura 54.- Envoltente momentos flectores $M_{xx}$ casos tráfico (armado longitudinal) .....	53
Figura 55.- Envoltente momentos flectores $M_{yy}$ casos tráfico (armado transversal) .....	53
Figura 56.- Armadura inferior longitudinal.....	53
Figura 57.- Armadura superior longitudinal.....	53
Figura 58.- Armadura inferior transversal.....	54
Figura 59.- Armadura superior transversal.....	54
Figura 60.- Flecha máxima por tráfico vano 2.....	55
Figura 61.- Máximo alabeo vano 2 .....	55
Figura 62.- Flecha peso propio [mm].....	56

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Figura 63.- Resistencia losa sin armadura a cortante .....	56
Figura 64.- Zonas sin armadura de cortante .....	57
Figura 65.- Resistencia losa con armadura a cortante .....	57
Figura 66.- Zonas cubiertas por armadura de cortante .....	57
Figura 67.- Resistencia a fatiga con armadura a cortante .....	59
Figura 68.- Zonas cubierta por armadura de cortante a fatiga.....	59
Figura 69.- Axiles pilares ELU .....	60
Figura 70.- Axiles pilares combinación frecuente .....	60
Figura 71.- Reacciones ELS.....	65
Figura 72.- Armadura longitudinal inferior/superior y transversal inferior/superior .....	67
Figura 73.- Solución constructiva muros.....	69
Figura 74.- Solución constructiva suelos.....	69
Figura 75.- Modelo de cálculo .....	70
Figura 76.- Coeficientes eólicos marquesina .....	71
Figura 77.- Deformación peso propio .....	72
Figura 78.- Deformación viento .....	73
Figura 79.- Envoltorio momentos flectores ELU [kNm] .....	73
Figura 80.- Envoltorio axiles ELU [kN] .....	73
Figura 81.- Deformación modelo referencia .....	81
Figura 82.- Deformaciones verticales situación 1 .....	81
Figura 83.- Momento flector situación 1.....	82
Figura 84.- Deformaciones situación 2.....	83
Figura 85.- Deformaciones situación 3.....	84
Figura 86.- Deformaciones situación 4.....	85

#### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Clases de exposición elementos de hormigón .....	15
Tabla 2.- Requisitos composición hormigón.....	16
Tabla 3.- Recubrimientos .....	16
Tabla 4.- Hormigones y características .....	17
Tabla 5.- Coeficientes parciales de seguridad hormigón armado .....	18
Tabla 6.- Coeficientes parciales de seguridad acciones ELU.....	19
Tabla 7.- Coeficientes parciales de seguridad acciones ELS .....	19
Tabla 8.- Coeficientes de combinación .....	20
Tabla 9.- Pesos Propios de estructura .....	22
Tabla 10.- Características pilares.....	33
Tabla 11.- Armadura muros.....	49
Tabla 12.- Armadura principal losa.....	54



SENER Doc. P0210K30-A7-ES-DOC-0700

Rev. A

Fecha ABRIL 2020

Página 10 de 116

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Tabla 13.- Flecha debido a tráfico ferroviario .....	55
Tabla 14.- Deformación vertical .....	72

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 1 INTRODUCCIÓN

En esta memoria de cálculo se describe el diseño estructural de la nueva estación de tren de Zarautz.

## 2 OBJETO Y ALCANCE

El presente documento es una memoria de cálculo de las estructuras de nueva ejecución a nivel de proyecto de ejecución y desarrolla los aspectos referentes a:

- Contenciones provisionales de la excavación
- Cimentaciones
- Elementos estructurales del vaso estanco
- Estructura de hormigón de la estación
- Elementos metálicos (cubiertas, marquesina)

Para aspectos relacionados con la geotecnia (depresión provisional del nivel freático durante la excavación) se remite a los estudios específicos.

Este documento aporta una visión exclusivamente estructural quedando fuera del alcance otras disciplinas como distribución de espacios, urbanización, usos, ajustes de elevaciones, instalaciones y equipos.

Este documento forma parte del proyecto general y debe de ser leído e interpretado conjuntamente con las partes que lo componen.

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 3 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

La documentación considerada en la elaboración del informe se detalla a continuación.

#### 3.1 Referencias del proyecto

- [1] Anejo geología y geotecnia. Proyecto de construcción de la nueva estación Zarautz. SENER

#### 3.2 Normas de Aplicación

Las normas que han sido de aplicación concreta son las siguientes:

- [2] Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril (IAPF-2010)
- [3] Instrucción del Hormigón Estructural (EHE-08)
- [4] UNE-EN 1992-1-1:2013 Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.
- [5] UNE-EN 1992-2:2013 Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 2: Puentes de hormigón. Cálculo y disposiciones constructivas.
- [6] Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural (DB-SE): DB-SE-1 (2019): Resistencia y estabilidad, DB-SE-2 (2019): Aptitud al servicio.
- [7] Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural (DB-SE): DB-SE-AE (2009): Acciones en la edificación.
- [8] Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural (DB-SE): DB-SE-C (2019): Cimientos.
- [9] Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural (DB-SE): DB-SE-A (2008): Seguridad estructural acero.
- [10] Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Salubridad (DB-HS): DB-HS 1 (2019): Protección frente a la humedad.
- [11] Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02)
- [12] Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NSCP-07)
- [13] UNE-EN 1993-1-1:2013/A1:2014 Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios.
- [14] UNE-EN 1537:2015 Ejecución de trabajos especiales de geotecnia. Anclajes.
- [15] UNE-EN 1536 Ejecución de trabajos especiales de geotecnia. Pilotes perforados.
- [16] UNE-EN 12063:2000 Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Tablestacas.

#### 3.3 Guías de referencia

- [17] Guía de cimentaciones en obras de carretera. Ministerio de Fomento (2009)
- [18] Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera. Ministerio de Fomento (2003)
- [19] CIRIA C766, Control of cracking caused by restrained deformation in concrete (2012)
- [20] Instrucción para el Proyecto y Construcción de Obras Ferroviarias IF-3. Vía sobre Balasto. Cálculo de Espesores de Capas de la Sección Transversal. Orden FOM/1631/2015, de 14 de julio.

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 3.4 Software

[21] Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019

[22] INCA2 Interactive Nonlinear Cross-Section Analysis Biaxial. Version 2.90

[23] PLAXIS 2D 2018

[24] CYPECAD 2018

## 4 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

### 4.1 Fases de construcción

La ejecución de la obra está planteada en varias fases para no interrumpir el tráfico ferroviario. Por ello se requiere la construcción de una vía temporal que permite construir la estructura de la nueva estación sin interferencias.

### 4.2 Obras provisionales

Por razones de rapidez y economía se ha previsto ejecutar las contenciones provisionales mediante tablestacas. Dado que la cimentación y el fondo del vaso se encuentran por debajo del nivel freático, estas contenciones requieren suficiente profundidad para facilitar la depresión temporal del mismo limitando la afluencia del agua.

Por el otro lado se ha hecho necesario anclar una parte de las contenciones, sobre todo la que da apoyo a la vía provisional por estabilidad y para limitar las deformaciones durante el uso de la misma.

### 4.3 Vaso estanco

Toda la zona profunda de la estación se encuentra permanentemente sumergida (cota superior de la losa de fondo a +1,55 m, nivel freático a +2,35 m). Por ello los muros de la estación conjuntamente con la losa y unos muros adicionales en la zona urbanizada se han planteado como vaso estanco impermeabilizado.

Se ha previsto una estación de bombeo para evacuar las aguas pluviales.

### 4.4 Cimentación

Según las recomendaciones del estudio geotécnico se ha previsto una cimentación profunda mediante pilotes perforados in situ para poder así limitar los asentamientos a valores admisibles.

### 4.5 Estación

La estación en sí está constituida por una estructura de hormigón armado integral sin juntas ni apoyos específicos. De esta manera se ha pretendido evitar elementos que requieren un mantenimiento permanente para garantizar su durabilidad y estanqueidad. Este aspecto es particularmente importante teniendo en cuenta que la estación se encuentra en su parte más baja sumergida permanentemente.

Los elementos verticales están constituidos por los muros perimetrales, los muros del estribo y tres pilares de sección circular.

El tablero de la vía tiene sección variable y se ha prolongado hasta el final del estribo para poder reducir el canto al máximo posible teniendo en cuenta las exigencias normativas de deformabilidad.

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



#### 4.6 Marquesinas y andén

Para las marquesinas de la estación se ha previsto una estructura metálica ligera y sencilla que apoya sobre los elementos de hormigón del propio andén. Éste se ha resuelto mediante una losa de hormigón in situ apoyada sobre dos muros longitudinales.

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 5 DATOS DE PARTIDA

### 5.1 Vida útil

Para el proyecto de la estructura de hormigón (cimentaciones, pilares, muros y tablero) la vida útil prevista en el proyecto es de 100 años de acuerdo con la IAPF 1.3 (2) [2].

Para los elementos de edificación (marquesinas y andenes) la vida útil prevista es de 50 años.

### 5.2 Parámetros ferroviarios

En lo que afecta a la estructura, los parámetros siguientes se han tenido en cuenta:

- Vía de ancho métrico sobre balasto
- Velocidad de diseño 90 km/h para la vía definitiva

### 5.1 Nivel freático

El nivel freático máximo observado según el estudio geotécnico se sitúa a la cota +2,35 m [1].

## 6 MATERIALES

### 6.1 Hormigón

#### 6.1.1 Clase de exposición

Según la EHE-08 tabla 8.2.2 son aplicables las siguientes clases de exposición:

Elemento / cara expuesta	Clase / subclase de exposición	Designación
Elementos en contacto con las facies Keuper	Química agresiva / fuerte	Qc
Elementos en contacto con el agua subterránea	Química agresiva / débil	Qa
Cimentaciones	Normal / humedad alta	Ila
Tablero y pilares expuestos	Normal / humedad alta	Ila
Tablero y pilares protegidos	Normal / humedad media	Ilb
Estructura expuesta	Marina / aérea	IIla

Tabla 1.- Clases de exposición elementos de hormigón

En cuanto a la agresividad del suelo, véase el estudio geotécnico punto 4.8 [1] que determina las clases Qa y Qc según la tabla anterior.

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 6.1.2 Composición

Según la EHE-08 tabla 37.3.2a/b se obtiene:

Clase de exposición	Máxima relación agua / cemento	Mínimo contenido de cemento $c_{min}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Resistencia mínima recomendada [N/mm <sup>2</sup> ]
Qa	0,50	325	30
Qc	0,45	350	35
Ila	0,60	275	25
Illa	0,50	300	30

Tabla 2.- Requisitos composición hormigón

El cemento para la clase de exposición Qc debe de ser resistente a los sulfatos (SR) según EHE-08 37.3.5. El estudio geotécnico lo aconseja igualmente para la clase de exposición Qa.

### 6.1.3 Recubrimiento

Según la EHE-08 37.2.4 para un margen de recubrimiento de  $\Delta r = 10$  mm y una vida útil de 100 años se obtiene para los tipos de cementos previstos:

Clase de exposición	Recubrimiento mínimo $r_{min}$ [mm]	Recubrimiento nominal $r_{nom}$ [mm]
Qa	55	65
Qc	55*	65
Ila	30	40
Illa	30	40

\*Valor no especificado en la EHE-2008

Tabla 3.- Recubrimientos

### 6.1.4 Pilotes

Para pilotes perforados el hormigón tiene que cumplir una serie de requisitos de cara a su correcta ejecución [15]:

- Contenido de cemento para hormigonado sumergido  $\geq 375$  kg/m<sup>3</sup>
- Contenido de finos  $d < 0,125$  mm  $\geq 400$  kg/m<sup>3</sup>
- Asiento en cono de Abrams H  $\geq 160$  mm para hormigón sumergido vertido bajo agua con tubo-tremie

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 6.1.5 Tipos de hormigón

A modo de resumen se han obtenido los tipos de hormigón siguientes:

Elemento	Tipo	$r_{nom}$	$a/c_{max}$	$c_{min}$	Cemento
(1)	HA-35/L/25/IIa+Qc (a),(b)	65 mm	0,45	375 kg/m <sup>3</sup>	CEM II (SR)
(2)	HA-35/B/25/IIIa+Qa	65 mm	0,50	325 kg/m <sup>3</sup>	SR (c)
(3)	HA-35/B/25/IIIa	40 mm	0,50	300 kg/m <sup>3</sup>	-
(4)	HL-150/P/25	-	-	150 kg/m <sup>3</sup>	-

Normas de aplicación:

- Instrucción del Hormigón Estructural (EHE-08)
- UNE-EN 1536 Ejecución de trabajos especiales de geotecnia. Pilotes perforados.

- (1) Pilotes
- (2) Elementos en contacto con el agua freática (encepados, losa de fondo, muros de contención)
- (3) Pilares, losa tablero, andenes
- (4) Hormigón de limpieza

- (a) Se usará aditivos para conseguir un hormigón hidrófugo en la losa de fondo
- (b) Contenido de finos  $d < 0,125 \text{ mm} \geq 400 \text{ kg/m}^3$
- (c) CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilice superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%

Tabla 4.- Hormigones y características

## 6.2 Armaduras pasivas

El acero previsto para armaduras pasivas es del tipo B 500 S según EHE-08 artículo 33.

## 6.3 Acero estructural

El acero previsto para estructuras de acero de marquesinas y elementos de cubrición es S275JR y S355JR según CTE-SE-A [9]. Las tablestacas especificadas tienen igualmente calidad S355JR.

## 6.1 Anclajes al terreno

Los cordones de los anclajes provisionales son del tipo Y 1860 S7.

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 7 COEFICIENTES DE SEGURIDAD

### 7.1 Hormigón armado

Para el estudio de los estados límite últimos se aplican los valores de los coeficientes parciales de seguridad de los materiales según lo previsto en la EHE-08 15.3.

Situación de proyecto	Hormigón $\gamma_c$	Acero pasivo $\gamma_s$
Persistente o transitoria	1,5	1,15
Accidental	1,3	1,0

Tabla 5.- Coeficientes parciales de seguridad hormigón armado

Para la comprobación a fatiga según los límites de la EHE-08 38.10 se aplica  $\gamma_s = 1,0$ . En los casos dónde se aplica la EN-1992-1-1 se utiliza los coeficientes del punto 2.4.2.4, es decir  $\gamma_c = 1,5$  y  $\gamma_s = 1,15$ .

Para el estudio de los estados límite de servicio se adoptarán como coeficientes parciales de seguridad valores iguales a la unidad.

### 7.2 Estructuras de acero

Se han adoptado los coeficientes parciales  $\gamma_{M0} = 1,05$  (plastificación del material) y  $\gamma_{M1} = 1,05$  (inestabilidad) [9].

#### 7.1 Anclajes al terreno

Se aplican los coeficientes previstos en la referencia [18] y que se detallan en el último capítulo.

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 7.2 Acciones

### 7.2.1 Estados límite últimos (E.L.U.)

Para el estudio de los estados límite últimos se aplican los valores de los coeficientes parciales de seguridad para las acciones según lo previsto en la IAPF [2] cuadro 4.1.

Tipo de acción	Situación persistente o transitoria		Situación accidental	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente de valor constante	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante (reológica)	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,35$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
Permanente de valor no constante (acción del terreno)	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,50$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental	—	—	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

Tabla 6.- Coeficientes parciales de seguridad acciones ELU

### 7.2.2 Estados límite últimos (E.L.S.)

Para el estudio de los estados límite últimos se aplican los valores de los coeficientes parciales de seguridad para las acciones según lo previsto en la IAPF [2] cuadro 4.2.

Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente de valor constante	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante (reológica, acción del terreno)	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$

Tabla 7.- Coeficientes parciales de seguridad acciones ELS

Para el estudio de los estados límite de fatiga se adoptarán como coeficientes parciales de seguridad para las acciones valores iguales a la unidad.

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 8 COMBINACIÓN DE ACCIONES

### 8.1 Coeficientes de combinación

Se aplica la IAPF 3.3 Cuadro 3.1.

Acciones	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Cargas de tráfico	0,8	0,8 (una vía) 0,6 (dos vías)	0
Resto de acciones variables	0,6	0,5	0,2

Tabla 8.- Coeficientes de combinación

### 8.2 Estados límite últimos

#### 8.2.1 Situaciones persistentes o transitorias

Se aplica la IAPF 5.1.1:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

donde:

$G_{k,i}$ : Valor representativo de cada acción permanente de valor constante.

$G_{k,j}^*$ : Valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.

$Q_{k,1}$ : Valor característico de la acción variable dominante.

$\Psi_{0,i} Q_{k,i}$ : Valores de combinación de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante.

#### 8.2.2 Situaciones accidentales

Se aplica la IAPF 5.1.2. Para situaciones sin sismo resulta:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,i} + \gamma_A A_k + \gamma_{Q,1} \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

donde:

$G_{k,i}$ : Valor representativo de cada acción permanente de valor constante.

$G_{k,j}^*$ : Valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



$\Psi_{1,1}Q_{k,1}$ : Valor frecuente de la acción variable dominante.

$\Psi_{2,1}Q_{k,1}$ : Valores cuasipermanentes de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante y la acción accidental.

$A_k$ : Valor característico de la acción accidental.

Para situaciones accidentales de sismo resulta:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,i} + \gamma_A A_k + \gamma_{Q,1} \Psi_{2,1} Q_{k,1}$$

donde:

$G_{k,i}$ : Valor representativo de cada acción permanente de valor constante.

$G^*_{k,j}$ : Valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.

$\Psi_{2,1}Q_{k,1}$ : Valor cuasipermanente de la acción relativa a la sobrecarga de uso.

$A_k$ : Valor característico de la acción accidental.

### 8.2.3 Fatiga

Para el caso de la comprobación de armaduras se aplica solamente la acción variable, es decir la que corresponde a la acción del tráfico ferroviario. En la comprobación de compresiones del hormigón se utiliza la combinación frecuente del punto siguiente.

## 8.1 Estado límite de servicio

### 8.1.1 Situaciones persistentes o transitorias

Se aplica la IAPF 5.2:

Combinación característica (poco probable o rara):

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Combinación frecuente:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Combinación cuasipermanente:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,i} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 9 ACCIONES ESTRUCTURA HORMIGÓN

### 9.1 Introducción

Las acciones principales consideradas son la acción del peso propio, las cargas permanentes, la sobrecarga del tráfico ferroviario, las sobrecargas de uso y la acción del viento.

### 9.2 Acciones permanentes de valor constante

#### 9.2.1 Peso Propio

La estructura se plantea en hormigón armado y en parte en acero por lo que los pesos específicos se consideran:

Elemento	Peso Específico	Referencia
Hormigón armado	25 kN/m <sup>3</sup>	IAPF 2.1
Acero	77 kN/m <sup>3</sup>	IAPF 2.1

Tabla 9.- Pesos Propios de estructura

#### 9.2.2 Cargas Muertas

##### 9.2.2.1 Balasto

Siendo el espesor de balasto previsto de 0,45 m y el peso específico 18 kN/m<sup>3</sup> (IAPF 2.1) resulta:

Peso específico	$\gamma =$	18	[kN/m <sup>3</sup> ]
Espesor de proyecto	$e =$	45	[cm]
Valor nominal	$G_k =$	8.1	[kN/m <sup>2</sup> ]
Valor inferior (disminución del 30%)	$G_{k,inf} =$	5.7	[kN/m <sup>2</sup> ]
Valor superior (aumento del 30%)	$G_{k,sup} =$	10.5	[kN/m <sup>2</sup> ]

##### 9.2.2.2 Falso techo

En previsión de las cargas de instalaciones y falsos techos de prevé un peso de 0,50 kN/m<sup>2</sup>.

### 9.3 Acciones permanentes de valor no constante

#### 9.3.1 Acciones del terreno

Los empujes de tierras sobre los muros y estribos se consideran con los valores siguientes.

Peso específico	$\gamma =$	20	[kN/m <sup>3</sup> ]
Coeficiente de empuje en reposo	$K_0 =$	0.5	[-]

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 9.3.2 Presión de agua

En determinadas situaciones es preciso considerar el empuje del agua debido al nivel freático. Según las mediciones hechas, el nivel más alto de éste se sitúa a 2,35 m.

### 9.3.3 Acciones reológicas

De cara al comportamiento de la estructura se evalúa a continuación los factores que puedan influir en el comportamiento en sentido longitudinal del conjunto. Los elementos determinantes son el tablero por un lado y la losa que forma la base del vaso estanco.

Las deformación libre por retracción de secado a 1000 días y a plazo infinito se evalúa según la guía CIRIA C766 [19]:

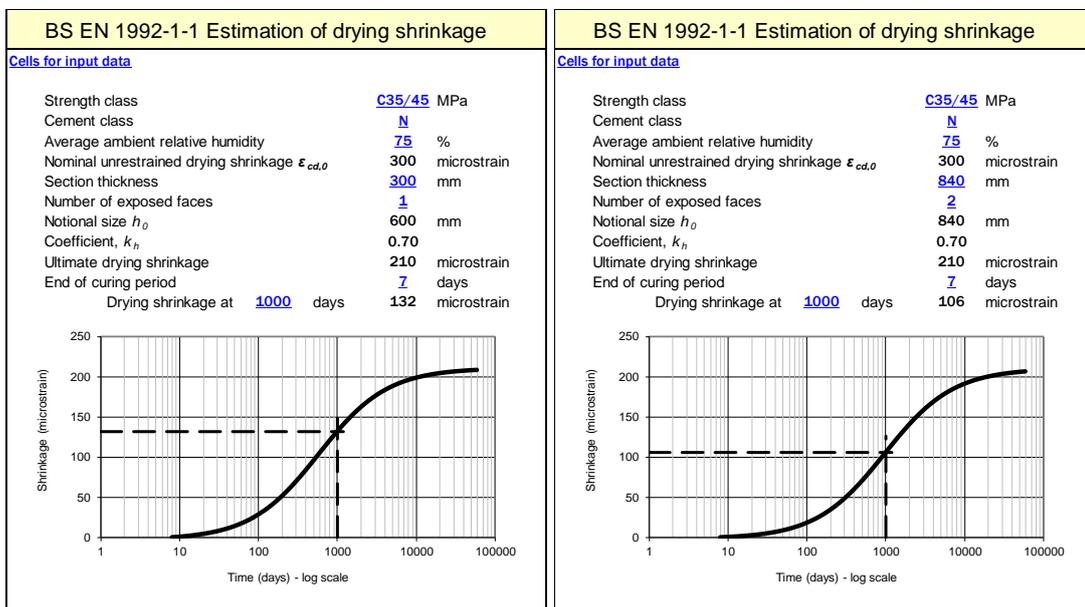


Figura 1.- Retracción por secado elementos longitudinales plazo corto

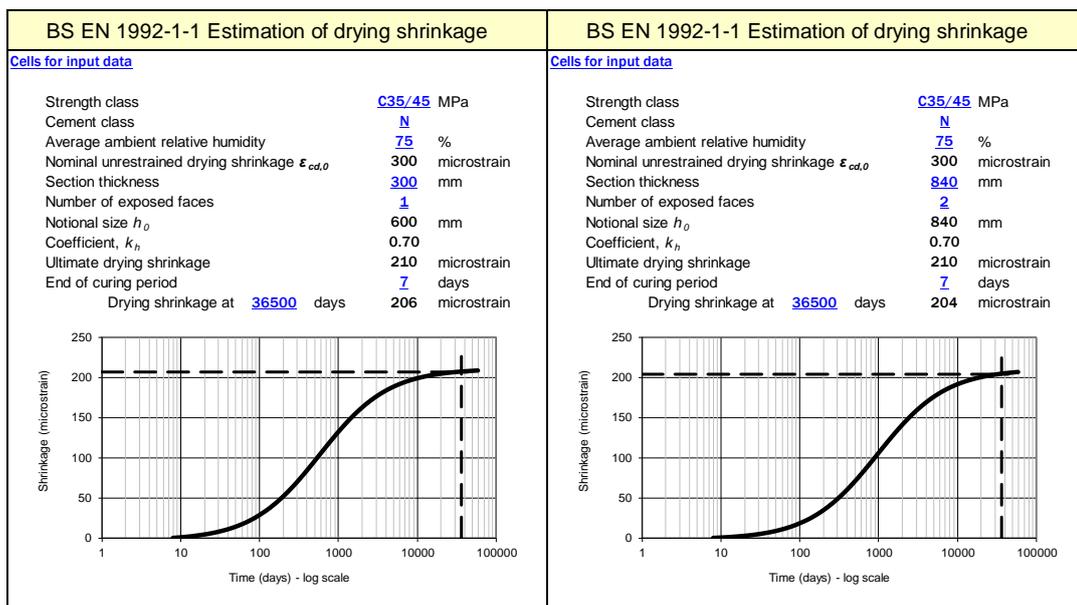


Figura 2.- Retracción por secado elementos longitudinales plazo infinito

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 9.4 Acciones variables

### 9.4.1 Coeficiente de impacto

Se aplica el método especificado en la IAPF B.2.2. *Coeficiente de impacto para los trenes reales / B.2.2.2. Obtención del coeficiente de impacto mediante expresiones analíticas.*

Velocidad de proyecto		V = 90 [km/h]
		v = 25 [m/s]
Longitud total		L = 44.25 [m]
Número de vanos		n = 4 [-]
Factor k		k = 1.4 [-]
Longitud determinante	(Cuadro B.4)	$L_{\Phi} = 15.5$ [m]
Primera frecuencia propia		$f_0 = 7.20$ [Hz]
Valor auxiliar	(B.10)	K = 0.11 [-]
Coeficiente dinámico 1	(B.9)	$\varphi' = 0.13$ [-]
Valor calidad de mantenimiento	(B.11)	r = 1.00 [-]
Valor auxiliar		a = 1.00 [-]
Coeficiente dinámico 2		$\varphi'' = 0.07$ [-]
Flecha máxima tren real		$\delta_{est,real} = 3.85$ [mm]
Flecha máxima tren tipo		$\delta_{est,tipo} = 3.87$ [mm]
Coeficiente de impacto	(B.13)	$\Phi = 1.19$ [-]

A efectos prácticos el coeficiente de impacto que se aplica a los cálculos es de 1,20. Las gráficas siguientes muestran el modo de la primera frecuencia propia, así como las flechas del tren real (IAPF/figura C.10) y del tren tipo usados en el cálculo anterior.

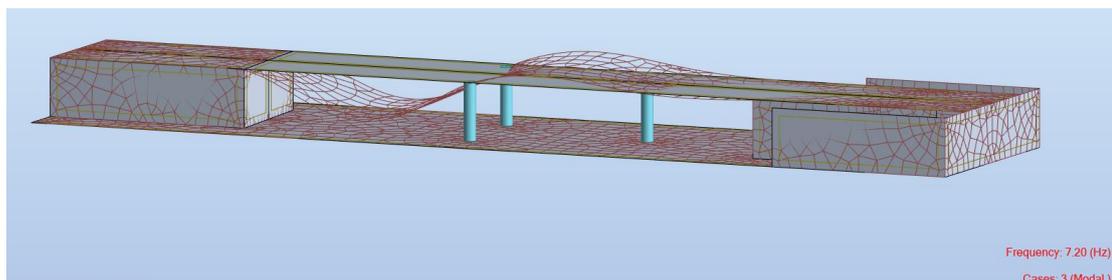


Figura 3.- Primera frecuencia propia

Proyecto Constructivo de la Nueva  
 Estación de Zarautz  
 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

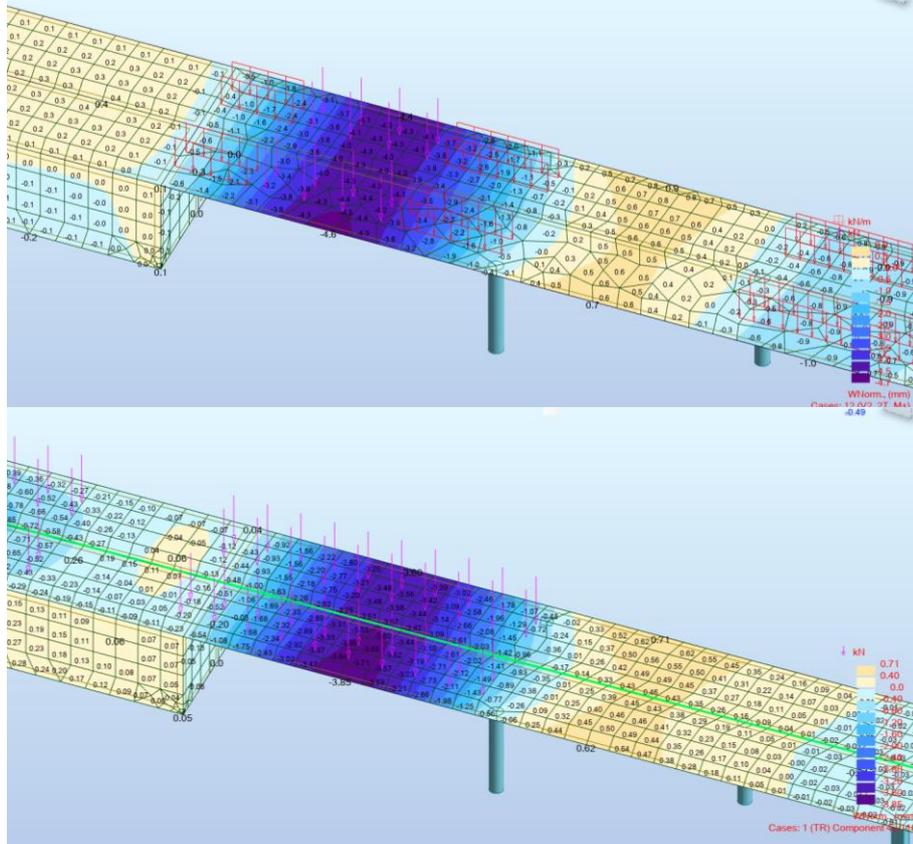


Figura 4. - Deformación estática tren tipo ( $\Phi= 1,2$ ) y con tren real 6

### 9.4.2 Tren de cargas verticales

Se utiliza el tren de cargas verticales definido en la IAPF 2.3.1.1 afectado por el coeficiente de clasificación  $\alpha = 0.91$  para vías de ancho métrico.

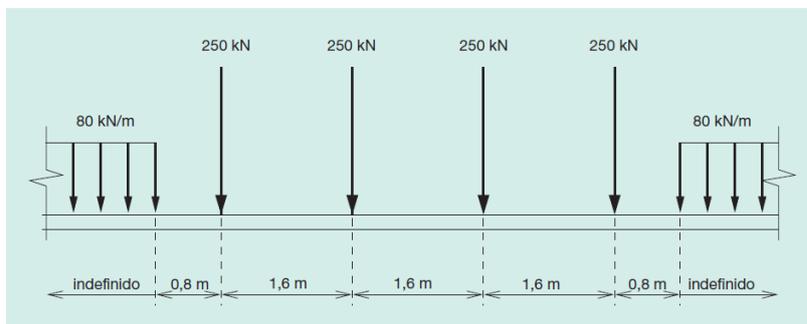


Figura 5. - Tren de cargas verticales UIC71 (IAPF)

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



En diferentes hipótesis y tanto para uno como para dos trenes se aplica el tren en la longitud y posición más desfavorable para obtener:

- La deformación vertical máxima
- El momento máximo en vanos
- El momento máximo sobre apoyos
- El cortante máximo
- Las reacciones máximas en apoyos

### 9.4.3 Cargas horizontales debidas al tráfico

Aplican las cargas de frenado y arranque definidas en la IAPF 2.3.2.1 afectadas por el coeficiente de clasificación  $\alpha = 0.91$  para vías de ancho métrico.

### 9.4.4 Tren de cargas para la comprobación de fatiga

Se utiliza el procedimiento simplificado según IAPF 2.3.3.2.

### 9.4.5 Sobrecarga de uso

Se ha considerado el empuje de tierras ( $K_0=0,50$ ) debida a las sobrecargas siguientes:

- Sobrecarga de uso de  $10 \text{ kN/m}^2$
- Sobrecarga de dos trenes  $36 \text{ kN/m}^2$  ( $2 \cdot 0,91 \cdot 250 \text{ kN}$  en una superficie de  $8 \text{ m} \cdot 1,6 \text{ m}$ )

### 9.4.6 Viento

Sin importancia para la estructura de la estación.

### 9.4.7 Nieve

Sin importancia para la estructura de la estación.

### 9.4.8 Acciones térmicas

#### 9.4.8.1 Variación uniforme anual

La variación uniforme anual de la temperatura del tablero se calcula según IAPF 2.3.9.1.1.

Constantes	Cuadro 2.11	K =	23.89	[-]
		a =	0.29	[-]
		b =	-0.14	[-]
		c =	0.00	[-]
Zona climática	Cuadro 2.10	z =	1	[-]
Canto de tablero		h =	0.84	[m]
Separación vigas tablero		s =	1.00	[-]
Variación uniforme anual		$\Delta T =$	24.5	[°]

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Las temperaturas extremas del aire según el Código Técnico [7] son de 44 a 46°C (figura E.1) en verano y de -7°C en invierno (tabla E.1), la media correspondiente es de 19°C. Aplicando sobre este valor la mitad de la variación uniforme anual resulta un rango de temperaturas uniformes de  $19 \pm 24,5 = +6,75$  y  $+31,25$ °C respectivamente.

El CTE SE-AE 3.4.2/1 establece como temperatura de referencia, cuando se construyó el elemento, la temperatura media anual.

De cara a la evaluación de los efectos térmicos en sentido longitudinal de la estación es igualmente importante la variación de temperatura de la losa del fondo del vaso. Al estar en contacto permanente con el agua subterránea es de suponer que las temperaturas se corresponden y según datos de la zona se estima una media constante de 12,5°C.

#### 9.4.8.2 Gradiente térmico

La variación uniforme anual de la temperatura del tablero se calcula según IAPF 2.3.9.1.1. El gradiente térmico negativo no aplica según el cuadro 2.12, el gradiente térmico positivo (soleamiento) se calcula a continuación.

Factor canto del tablero	Figura 2.25	$K_1 =$	0.85	[-]
Factor corrección balasto		$K_2 =$	0.60	[-]
Temperatura de referencia	Figura 2.26	$\Delta T_{SI,ref} =$	12.75	[°]
Gradiente térmico positivo		$\Delta T_{SI} =$	6.5	[°]

#### 9.4.9 Acciones accidentales

La norma IAPF considera dos situaciones, una quedando las ruedas entre dos carriles de la vía y otra quedando las ruedas en una única alineación al borde de la plataforma ferroviaria.

#### 9.4.10 Acciones sísmicas

Según la norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02 1 la aceleración sísmica horizontal básica del emplazamiento  $a_b$  es de 0,04.

Vista la poca aceleración sísmica y dada la gran rigidez del tablero en su plano y la presencia de muros de dimensiones importantes que confieren una rigidez importante en todas las direcciones horizontales ninguna comprobación específica se considera necesaria.

## 10 ACCIONES MARQUESINAS Y ELEMENTOS METÁLICOS

### 10.1 Cargas muertas

Los pesos considerados son:

- Correas y fijaciones 0,05 kN/m<sup>2</sup>
- Chapas y paneles 0,15 kN/m<sup>2</sup>

Para ambas superficies resulta así una carga total de 0,40 kN/m<sup>2</sup>.

### 10.2 Viento

Según el CTE Acciones en edificación [7] se aplica una presión dinámica de  $q_b=0,52$  kN/m<sup>2</sup> (zona C, figura D.1) y un coeficiente de exposición de 1,35 (tabla 3.4, zona urbana en general).

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 10.1 Nieve

Según el CTE Acciones en edificación [7] se obtiene una sobrecarga de nieve de  $0,30 \text{ kN/m}^2$  (zona 1).

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 11 ESTRUCTURA HORMIGÓN

### 11.1 Modelo de cálculo

El modelo consiste de elementos placa para el tablero y los muros, así como elementos barra para los pilares. El cálculo se ha llevado a cabo con el programa Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019 [21].

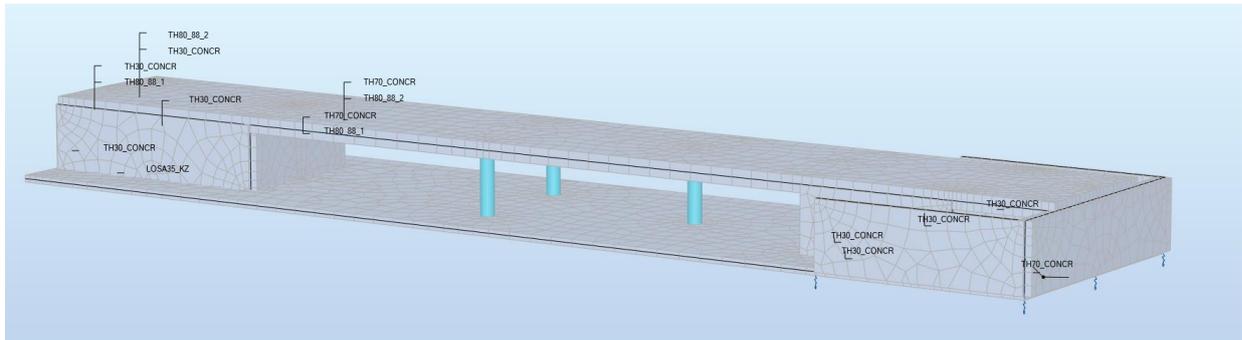


Figura 6.- Modelo de cálculo

Para los casos relevantes se ha utilizado una rigidez vertical de los apoyos sobre pilotes según los datos siguientes (rigidez por pilote):

#### RIGIDEZ VERTICAL (CTE SE-C F2.6.1 p147)

Diámetro	d =	80	[cm]
Sección transversal bruta	$A_b =$	5027	[cm <sup>2</sup> ]
Carga de hundimiento por punta	$R_{pk} =$	1267	[kN]
Carga de hundimiento por fuste	$R_{fk} =$	15200	[kN]
Longitud del pilote fuera del terreno	$l_1 =$	12.0	[m]
Longitud del pilote dentro del terreno	$l_2 =$	2.4	[m]
Parámetro de transmisión	$\alpha =$	0.54	[-]
Módulo de elasticidad hormigón	$E_c =$	3300	[kN/cm <sup>2</sup> ]
Rigidez vertical muelle	$K_v =$	496058	[kN/m]

A la losa de fondo se ha dado un apoyo elástico entre 10 y 20 MN/m<sup>3</sup> según el caso estudiado.

### 11.2 Acciones aplicadas

La base para determinar las acciones principales ha sido expuesto en el punto 9, por lo que a continuación se detallan solamente las particularidades de las hipótesis de carga aplicadas.

#### 11.2.1 Peso propio y cargas muertas (DL)

Esta hipótesis de carga incluye:

- Peso propio de la estructura
- 6,2 kN/m<sup>2</sup> sobre la losa del tablero correspondiente a 5,7 kN/m<sup>2</sup> del peso mínimo de balasto y 0,5 kN/m<sup>2</sup> al falso techo.

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 11.2.2 Empuje de tierras (EP)

Los elementos afectados por el empuje se muestran en la imagen siguiente. Dada la incertidumbre de su aplicación, para las combinaciones de acciones se ha considerado que su actuación puede darse o no.

Esta hipótesis incluye además una sobrecarga en superficie de  $10 \text{ kN/m}^2$  que produce un empuje horizontal constante de  $10 \cdot 0,5 = 5 \text{ kN/m}^2$  en los muros laterales de la estación.

Según 9.4.5 para los estribos que se ven afectados por el tráfico ferroviario se ha aplicado un empuje horizontal constante de  $18 \text{ kN/m}^2$ .

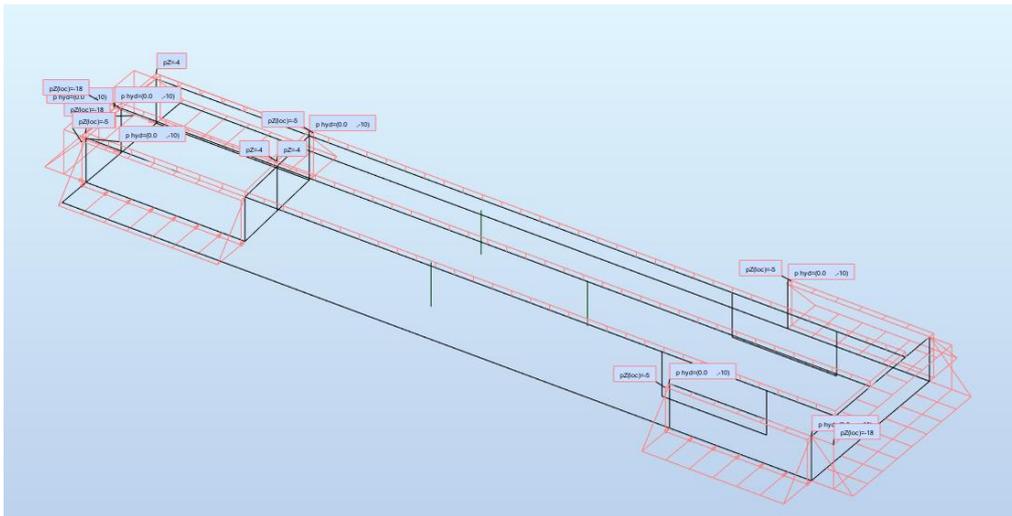


Figura 7.- Empuje de tierras por peso tierras y sobrecargas sobre terreno

Como acción permanente de valor no constante se aplica en esta hipótesis también la diferencia entre el peso de balasto máximo y el mínimo afectada por los coeficientes de ponderación distintos, es decir  $(10,5-5,7) \cdot 1,35 / 1,50 = 4,32 \text{ kN/m}^2$ .

De la misma manera se ha aplicado en el borde libre del tablero una carga lineal variable de 0 a  $10 \text{ kN/m}$  para la cubierta ligera prevista en este sitio.

### 11.2.3 Temperatura y retracción

Dada la extensión de unos  $56 \text{ m}$  en sentido longitudinal y por el hecho de no disponer juntas o apoyos deslizantes, se evalúa la influencia de los efectos de temperatura y retracción entre el tablero y la losa del fondo del vaso. Como se ha visto en el punto 9.3.3 la retracción diferencial resulta ser despreciable.

En cuanto a los efectos de variación uniforme de temperaturas, entre el tablero y la losa del vaso resultan las variaciones siguientes:

Dilatación máxima  $31,25-12,5 = 18,75^\circ\text{C}$  - hipótesis (TP)

Contracción máxima  $12,5-6,75 = 5,75^\circ\text{C}$  - hipótesis (TN)

En una tercera hipótesis se aplica el gradiente térmico positivo de  $6,5^\circ\text{C}$  sobre el tablero (dT). Éste actúa o no conjuntamente con las hipótesis de temperatura uniforme. De este modo se introducen 4 hipótesis de carga:

- Dilatación (TP1)
- Dilatación más gradiente (TP2)
- Contracción (TN1)
- Contracción más gradiente (TN2)

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 11.2.4 Cargas horizontales debidas al tráfico

Según IAPF 2.3.2.1 afectadas por el coeficiente de clasificación  $\alpha = 0.91$  para vías de ancho métrico resulta en el caso de frenado  $Q_{j,k} = \alpha * 20 = 18,2 \text{ kN/m}$ .

Aplicando esta carga en un lado del tablero resultan esfuerzos pequeños y reacciones sobre la cimentación a efectos prácticos insignificantes. De ahí que el modelo no incluye esta hipótesis de carga de cara a reducir el número total de combinaciones.

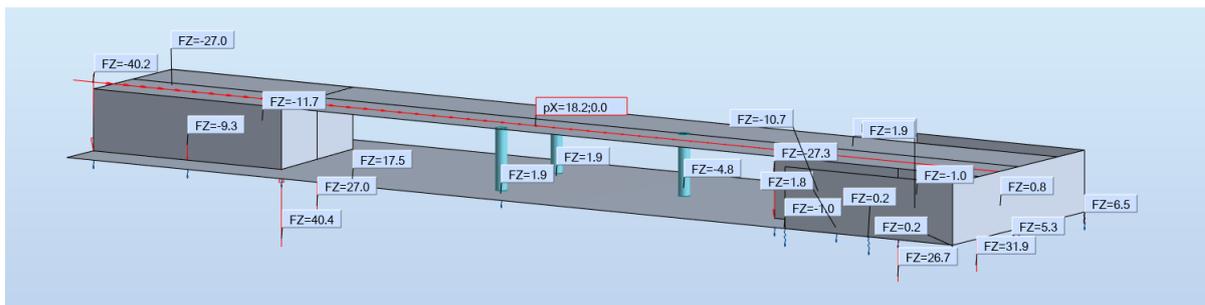


Figura 8.- Reacciones cimentación por frenado

### 11.2.5 Cargas verticales de tráfico

El número de hipótesis de carga, su descripción y nombre son las siguientes:

- 11-15 Carga en dos vías en centro de vanos (V1\_2T\_M+) a (V5\_2T\_M+)
- 21-25 Carga en dos vías en apoyos (A1\_2T\_M-) a (A5\_2T\_M-)
- 31-39 Carga en dos vías con máximo cortante (C1\_2T\_C1), (C1\_2T\_C2) a (C5\_2T\_C1)
- 41-45 Carga en vía izquierda en centro de vanos (V1\_1Tizda\_M+) a (V5\_1Tizda\_M+)
- 51-55 Carga en vía derecha en centro de vanos (V1\_1Tdcha\_M+) a (V5\_1Tdcha\_M+)
- 61-66 Carga en vía izquierda en apoyos (A1\_1Tizda\_M-) a (A5\_1Tizda\_M-), (A34\_1Tizda\_M-)
- 71-76 Carga en vía derecha en apoyos (A1\_1Tdcha\_M-) a (A5\_1Tdcha\_M-), (A34\_1Tdcha\_M-)
- 81-88 Carga en dos vías al tresbolillo en centro de vanos (V12\_2T\_M+) a (V54\_2T\_M+)
- 91-77 Carga en dos vías al tresbolillo en apoyos izquierda (A11\_2T1\_M-) a (A43\_2T1\_M-)
- 101-107 Carga en dos vías al tresbolillo en apoyos derecha (A11\_2T2\_M-) a (A43\_2T2\_M-)

De las posiciones de cargas utilizadas se muestran a continuación algunas representativas.

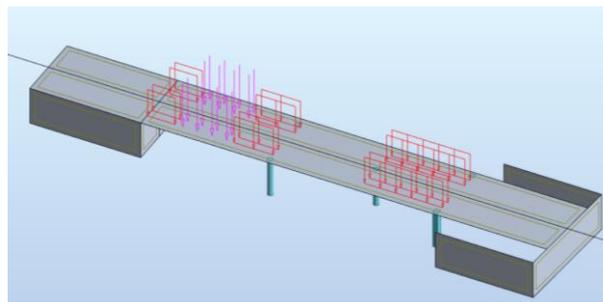


Figura 9.- Momento máximo positivo vano 1

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

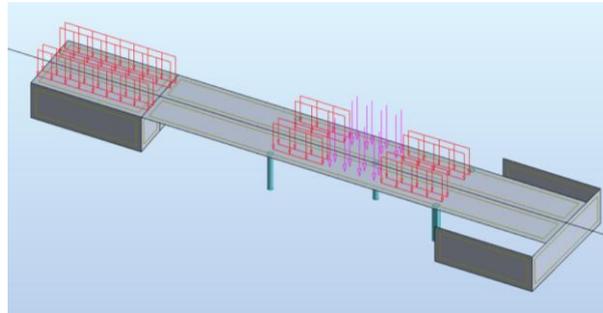


Figura 10.- Momento máximo negativo apoyo 3

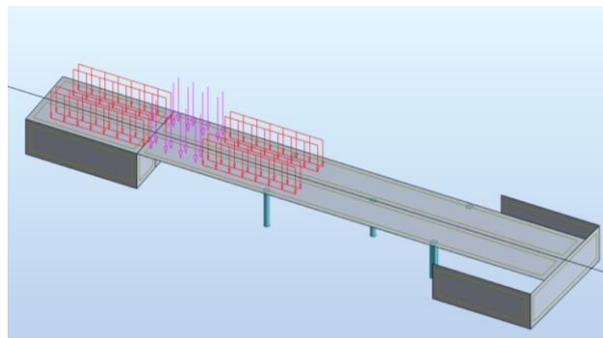


Figura 11.- Cortante máximo vano 2 lado izquierdo

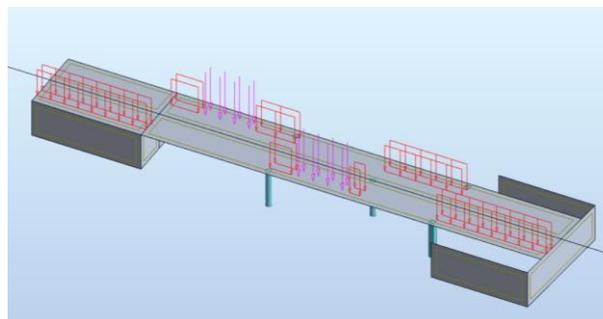


Figura 12.- Combinación trenes desfasados vano 3

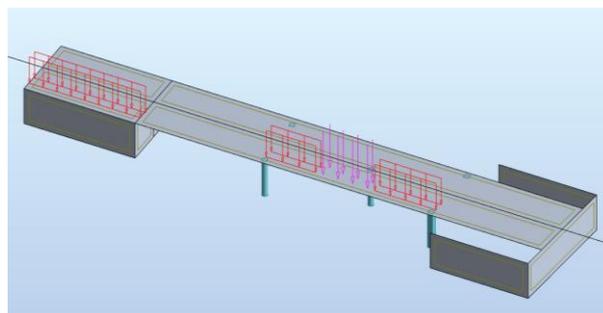


Figura 13.- Tren momentos transversales apoyo 3

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 11.3 Combinaciones

De las hipótesis de carga expuestas en el punto anterior y las reglas recogidas en el capítulo 8 resultan:

- 2288 Combinaciones en ELU
- 897 Combinaciones en ELS

### 11.4 Verificación pilares

#### 11.4.1 Tipos y características de pilares

La ubicación de los 3 pilares dispuestos y los armados dispuestos se muestran en este punto. El criterio determinante para el diseño es la fatiga del hormigón teniendo los pilares un margen de seguridad apreciable en estado límite último.

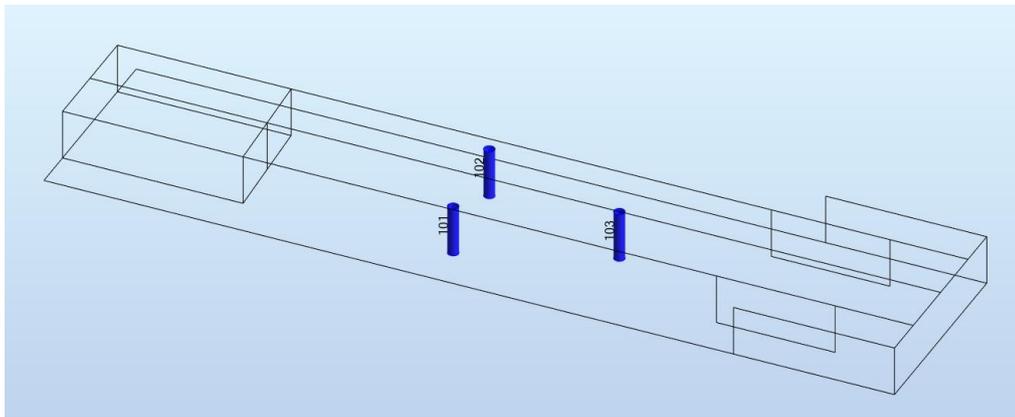


Figura 14.- Ubicación pilares

Pilar	Tipo sección	Medidas sección	Armadura principal
101	Circular HA-35	Ø 70 cm	16Ø25
102	Circular HA-35	Ø 70 cm	16Ø25
103	Circular HA-35	Ø 70 cm	16Ø25

Tabla 10.- Características pilares

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 11.4.2 Verificación estado límite último (Fatiga)

Las tensiones máximas se producen en el caso del pilar 102. Siendo las tres secciones iguales en dimensiones y armaduras, se verifica a continuación este pilar.

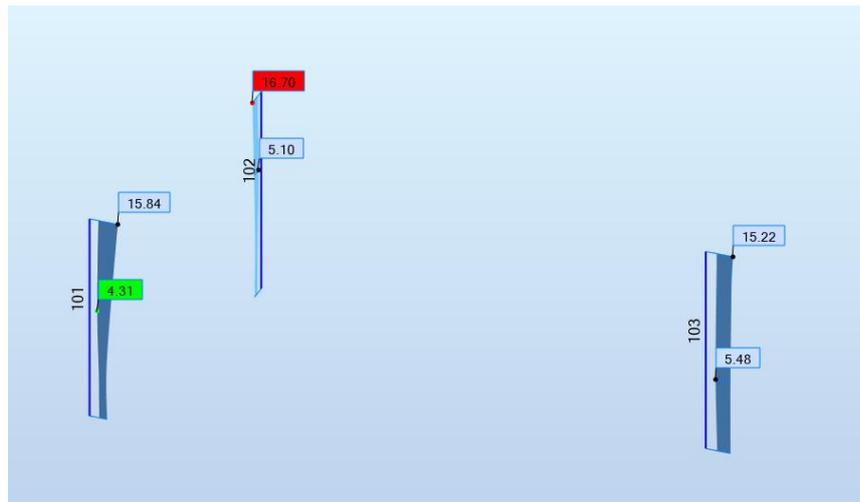


Figura 15.- Tensiones lineales máximas (SLS)

Dado que la EHE-08 no contempla la fatiga del hormigón a compresión, se aplica los criterios de la EN 1992-1-1 6.8.7 [4] y de la EN 1992-2 Anejo NN [5].

Las tensiones a nivel de sección se verifican de manera no lineal con el programa INCA2 [22].

La tensión máxima se produce bajo la hipótesis 111 ( $DL*1.00 + EP*1.00 + LL33*1.00 + TP1*0.60$ ), la mínima en la hipótesis 70 ( $DL*1.00 + TN2*0.60 + EP*1.00 + LL11*1.00$ ). Para poder cumplir con las tensiones máximas admisibles del hormigón se precisa un armado de 16Ø25.

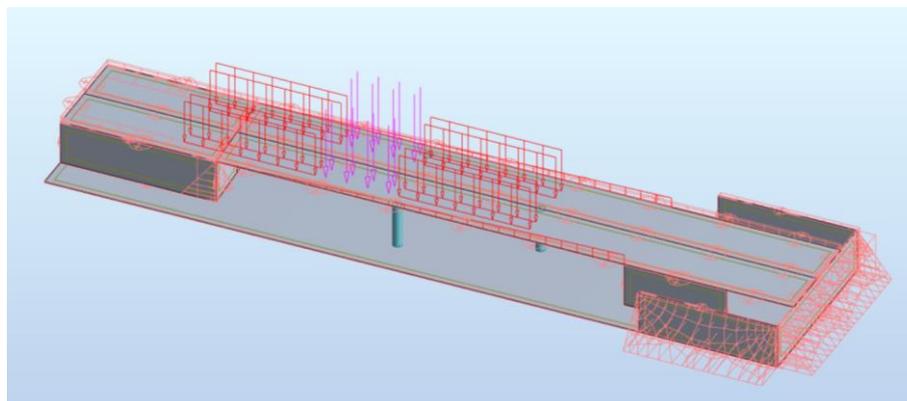


Figura 16.- Cargas hipótesis 111

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

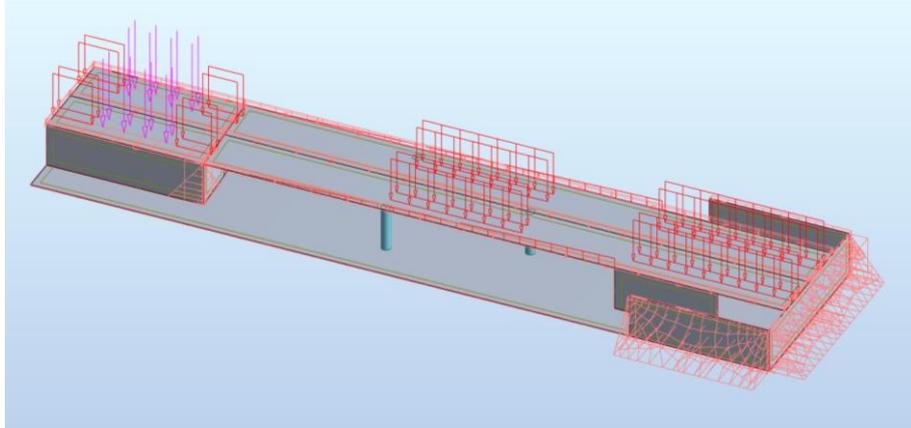
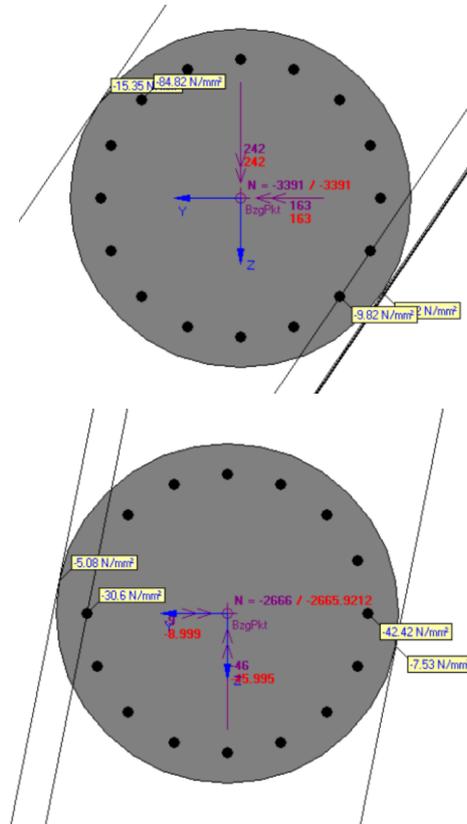


Figura 17.- Cargas hipótesis 70



Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

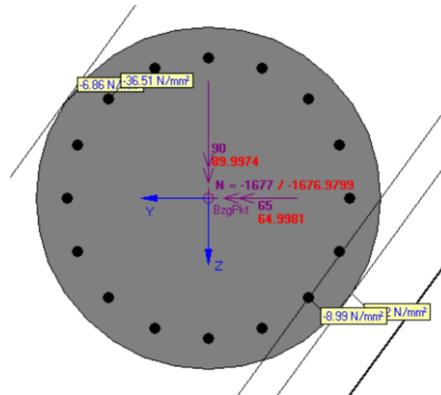


Figura 18.- Tensiones máximas, mínimas y permanentes P102.

EN 1992-2:2005 / NN.3 Railway bridges (concrete) p.82

**CONCRETE FATIGUE COMPRESSION STRENGTH**

Fatigue resistance coefficient		$k_1 = 0.85$	[-]
Age at beginning of cyclic load		$t_0 = 180$	[d]
Cement type coefficient	cf. (3.2)	$s = 0.25$	[-]
Strength coefficient	(3.2)	$\beta_{cc}(t_0) = 1.16$	[-]
Characteristic compressive concrete strength		$f_{ck} = 35$	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficient long term effects		$\alpha_{cc} = 1.00$	[-]
Partial factor for fatigue of concrete		$\gamma_{c,fat} = 1.50$	[-]
Design value of concrete compressive strength		$f_{cd} = 23$	[N/mm <sup>2</sup> ]
Concrete fatigue compression strength	(6.76)	$f_{cd,fat} = 19.8$	[N/mm <sup>2</sup> ]

**CORRECTION FACTORS**

Permanent stress factor	(NN.115)	$\lambda_{c,0} = 1.01$	[-]
Span		$L_{span} = 13.63$	[m]
Critical length factor		$f = 0.70$	[-]
Critical length		$L = 9.54$	[m]
Factors	Table NN.2 p82	$\lambda_{c,1,2m} = 0.85$	[-]
		$\lambda_{c,1,20m} = 0.70$	[-]
Element type factor	(NN.108)2 p80	$\lambda_{c,1} = 0.75$	[m]
Traffic volume		$Vol = 2.5.E+07$	[t/year/track]
Design life		$N_{years} = 100$	[years]
Traffic volume and design life factor		$\lambda_{c,2,3} = 1.00$	[-]
Correction factor		$\lambda_c = 0.75$	[-]

**FATIGUE VERIFICATION**

Maximum compressive concrete stress		$\sigma_{c,max,71} = 15.35$	[N/mm <sup>2</sup> ]
Minimum compressive concrete stress		$\sigma_{c,min,71} = 5.17$	[N/mm <sup>2</sup> ]
Permanent concrete stress		$\sigma_{c,perm} = 6.86$	[N/mm <sup>2</sup> ]
		$\sigma_{cd,max,equ} = 13.27$	[N/mm <sup>2</sup> ]

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Partial factor for model uncertainty

Resistance condition (NN.112)  
Complies?

$\sigma_{cd,min, equ}$ =	5.58	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\gamma_{sd}$ =	1.00	[-]
$E_{cd,min, equ}$ =	0.28	[-]
$E_{cd,max, equ}$ =	0.67	[-]
$R_{equ}$ =	0.42	[-]
$\geq 6$ =	6.10	[-]
	<b>yes</b>	

Como se aprecia en la primera imagen, las tensiones máximas en el acero están muy por debajo del límite de  $\Delta\sigma_D = 150$  MPa (EHE-08 tabla 38.10).

### 11.4.3 Verificación estado límite último (ELU)

#### 11.4.3.1 Pilar 101

En ELU un armado longitudinal de 6Ø25 es suficiente.

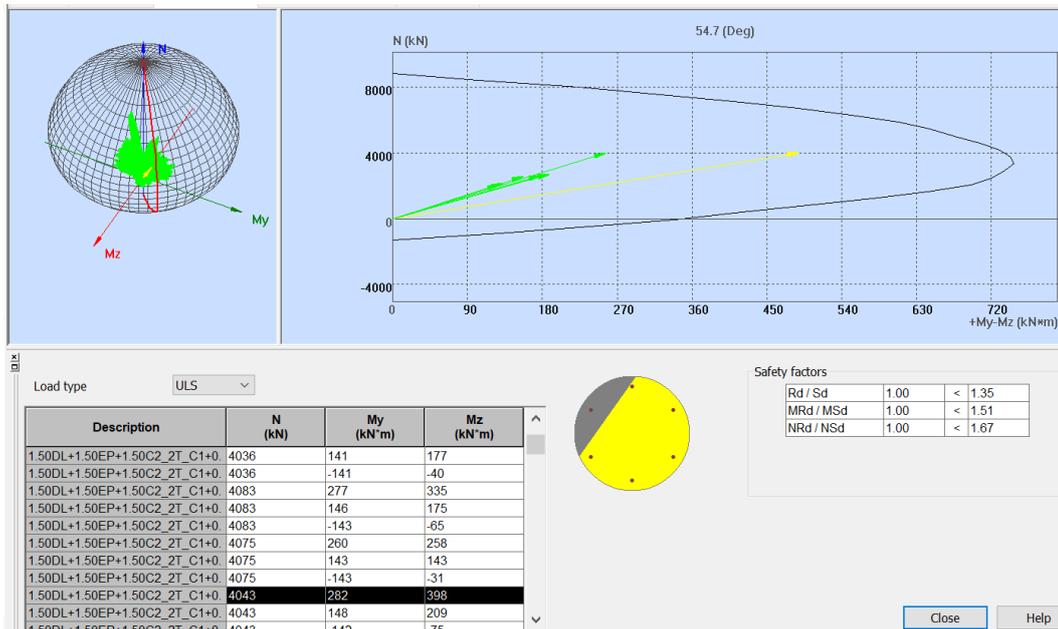


Figura 19.- Comprobación pilar 101 (ELU)

Proyecto Constructivo de la Nueva  
 Estación de Zarautz  
 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



11.4.3.2 Pilar 102

En ELU un armado longitudinal de 6Ø25 es suficiente.

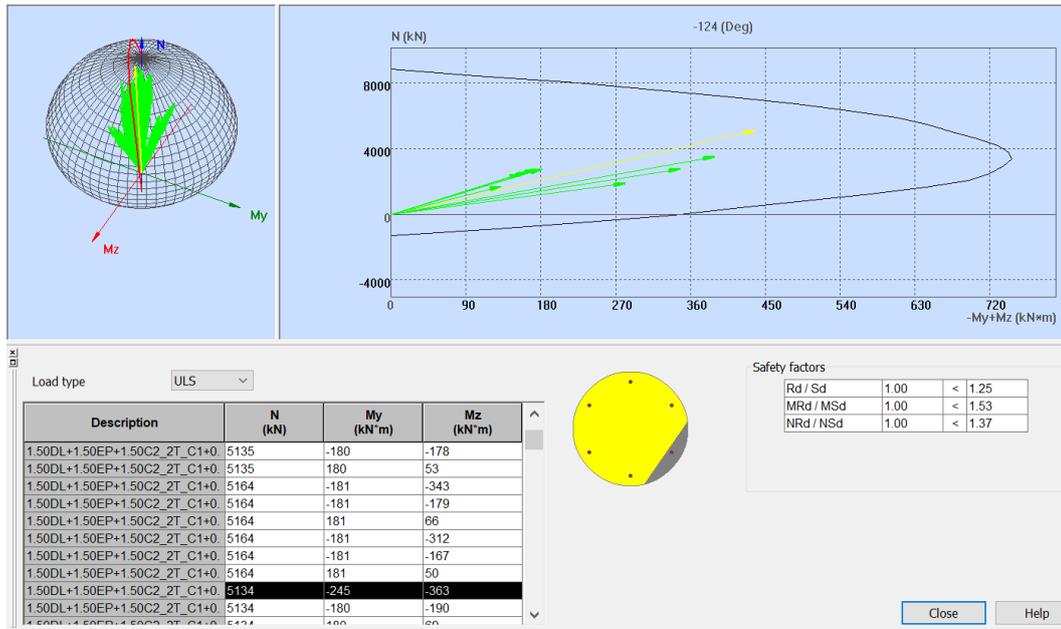


Figura 20.- Comprobación pilar 102 (ELU)

11.4.3.3 Pilar 103

En ELU un armado longitudinal de 6Ø25 es suficiente.

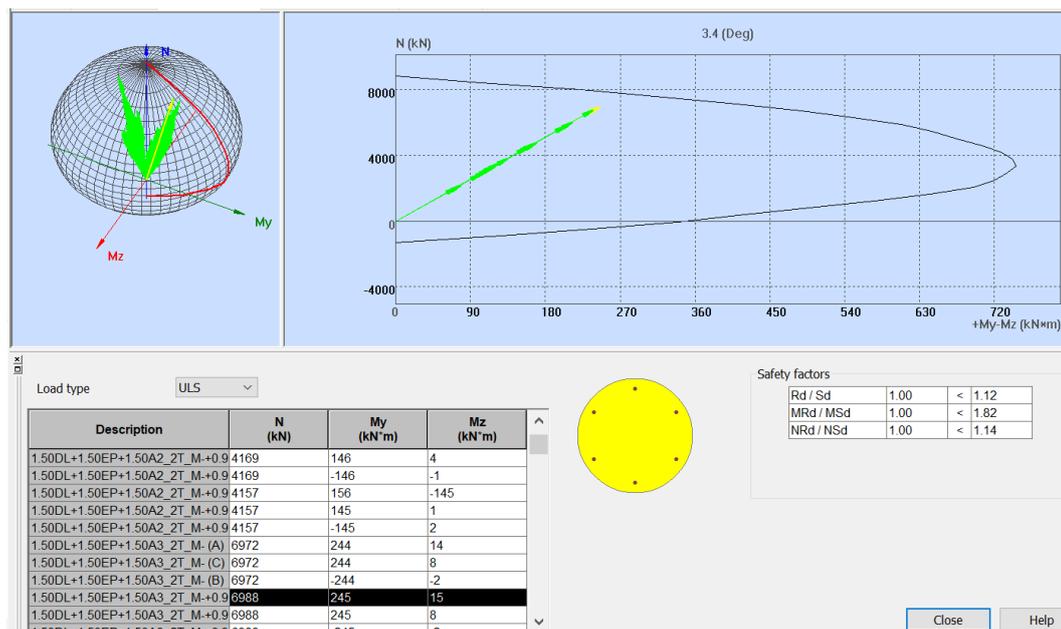


Figura 21.- Comprobación pilar 103 (ELU)

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 11.5 Verificación muros

El armado necesario calculado por el programa ROBOT [21] así como la armadura dispuesta se detalla a continuación para cada elemento (valores en  $[cm^2/m]$ ).

En el encuentro entre tablero y muros la sección de diseño considerada está ubicada a 1/6 del canto hacia el interior del nudo desde la cara inferior de la losa.

#### 11.5.1 Ubicación muros

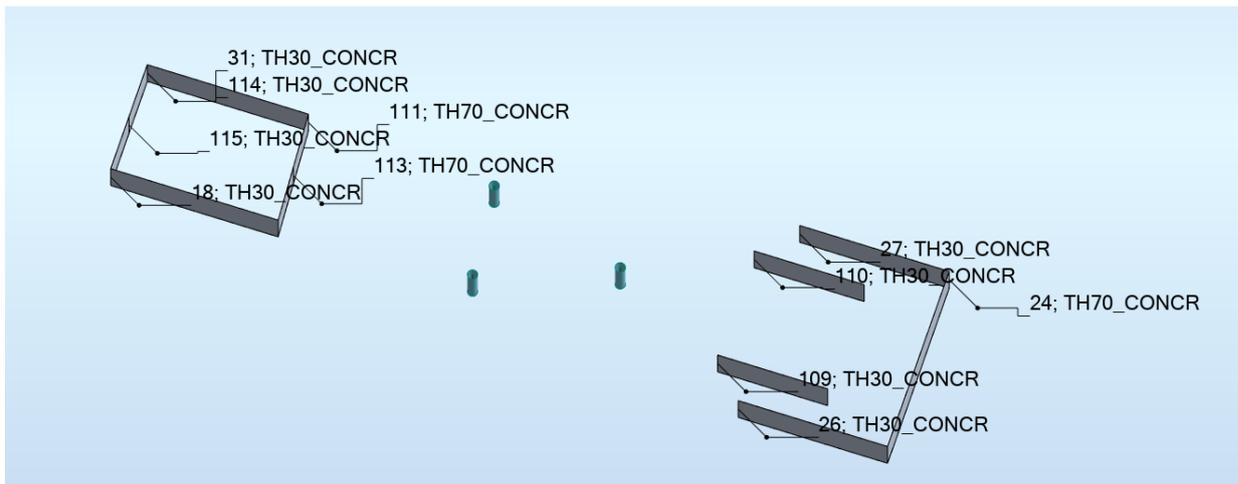


Figura 22.- Ubicación y espesor muros

#### 11.5.2 Muros 109-110

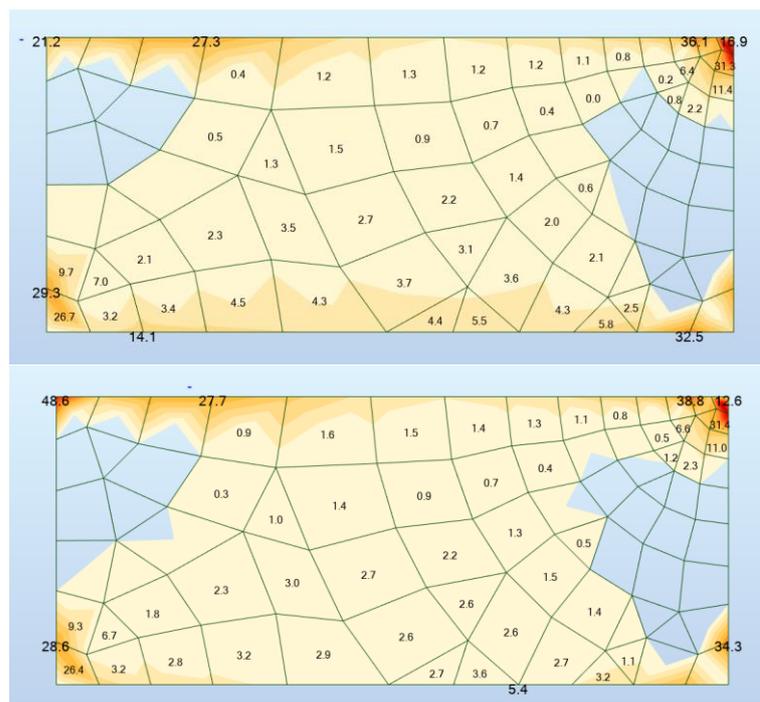


Figura 23.- Cuantía vertical interior muro 109-110

Proyecto Constructivo de la Nueva  
 Estación de Zarautz  
 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

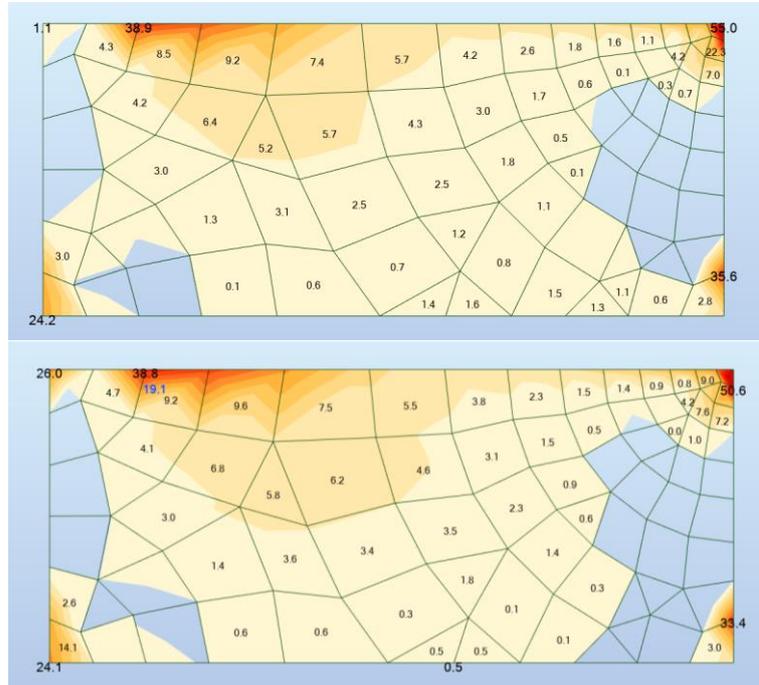


Figura 24.- Cuanía vertical exterior muro 109-110

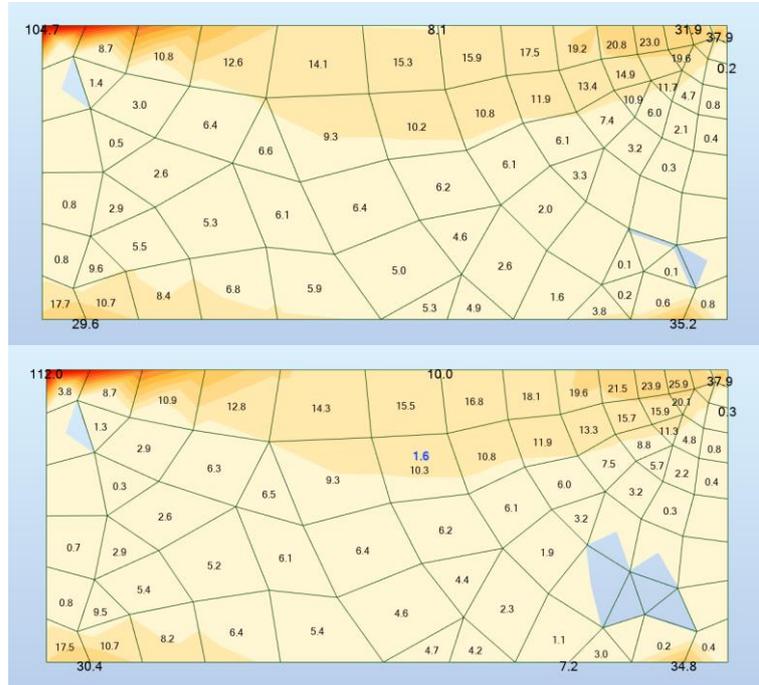


Figura 25.- Cuanía horizontal interior muro 109-110

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

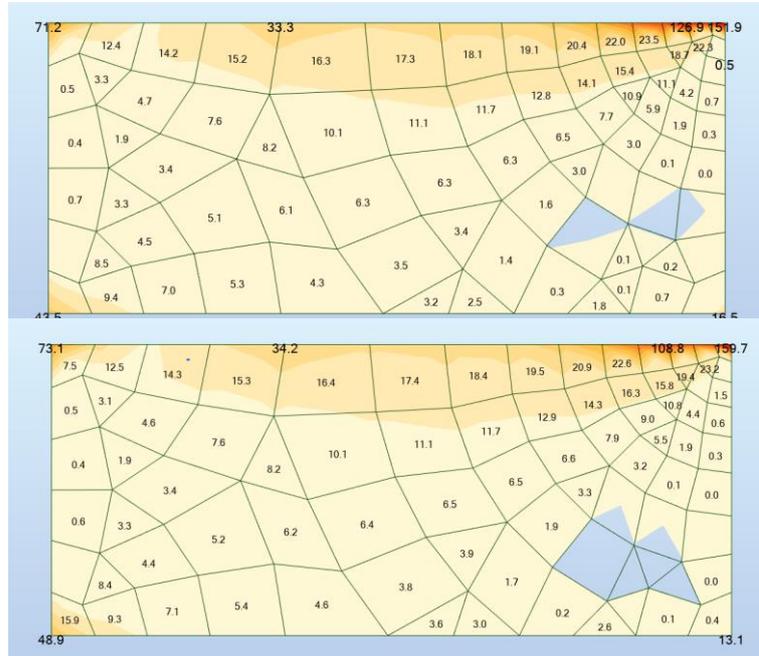


Figura 26.- Cuantía horizontal exterior muro 109-110

11.5.3 Muro 24

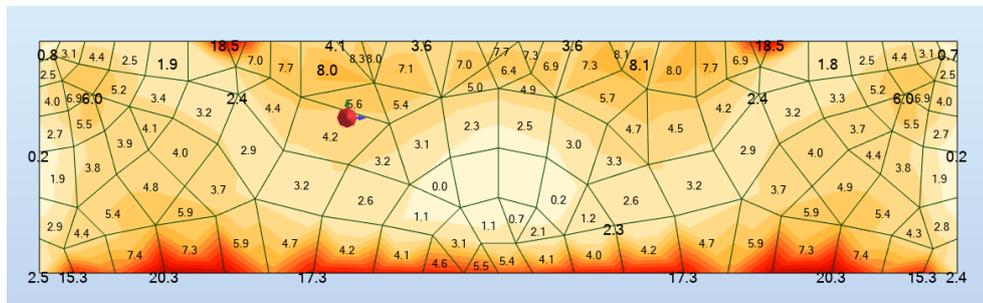


Figura 27.- Cuantía vertical interior muro 24

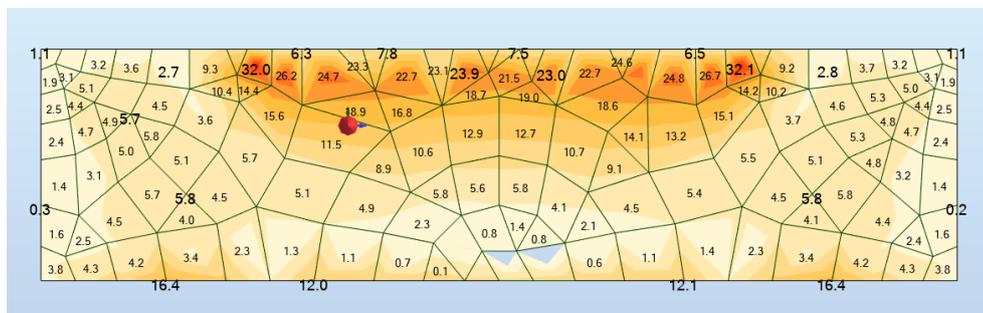


Figura 28.- Cuantía vertical exterior muro 24

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

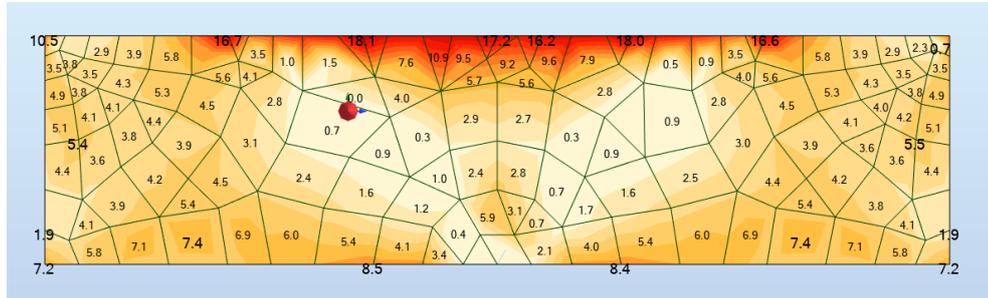


Figura 29.- Cuantía horizontal interior muro 24

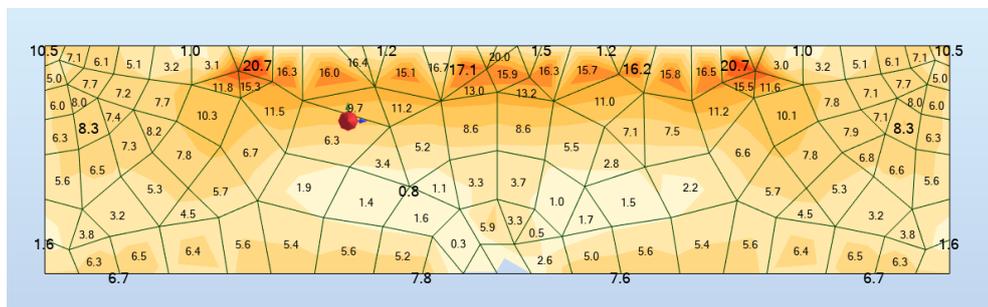


Figura 30.- Cuantía horizontal exterior muro 24

11.5.4 Muro 111-113

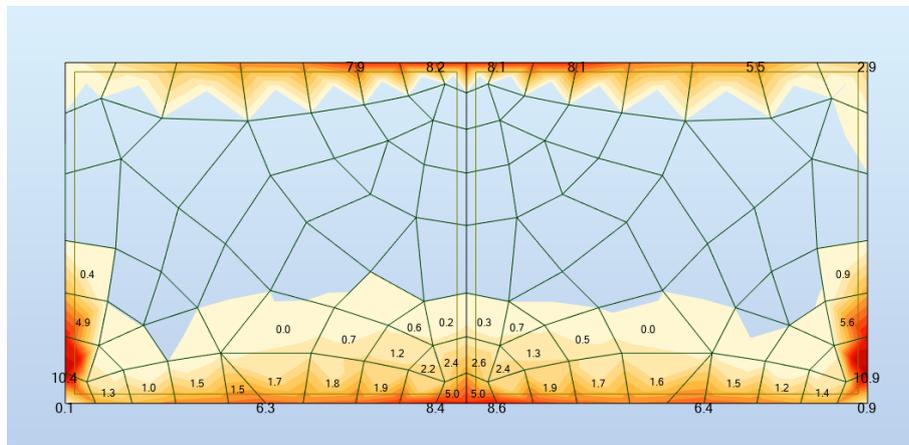


Figura 31.- Cuantía vertical interior muro 111-113 (lado visto)

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

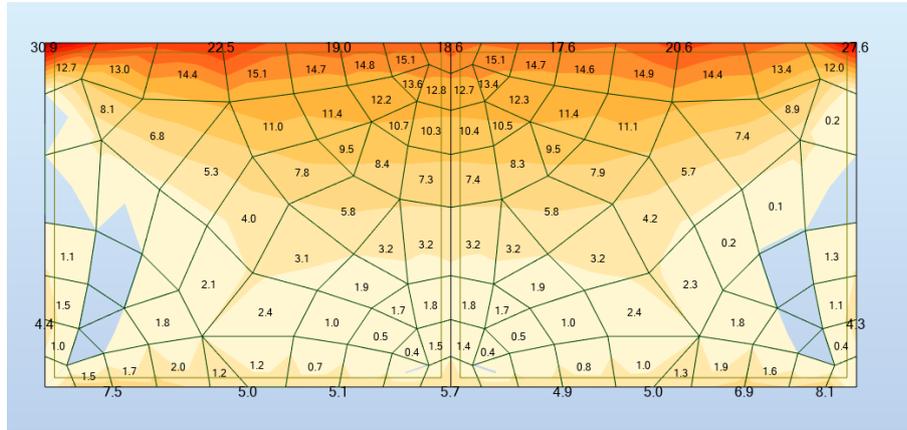


Figura 32.- Cuanía vertical exterior muro 111-113 (lado enterrado)

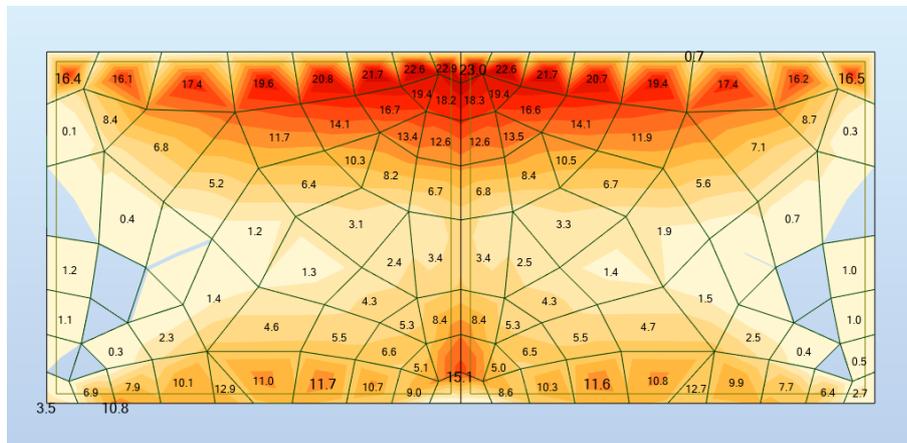


Figura 33.- Cuanía horizontal interior muro 111-113 (lado visto)

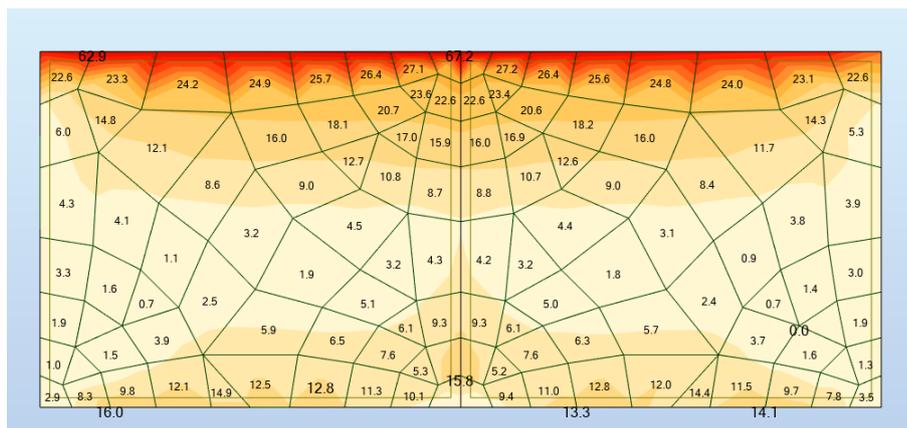


Figura 34.- Cuanía horizontal exterior muro 111-113 (lado enterrado)

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



11.5.5 Muro 18-31

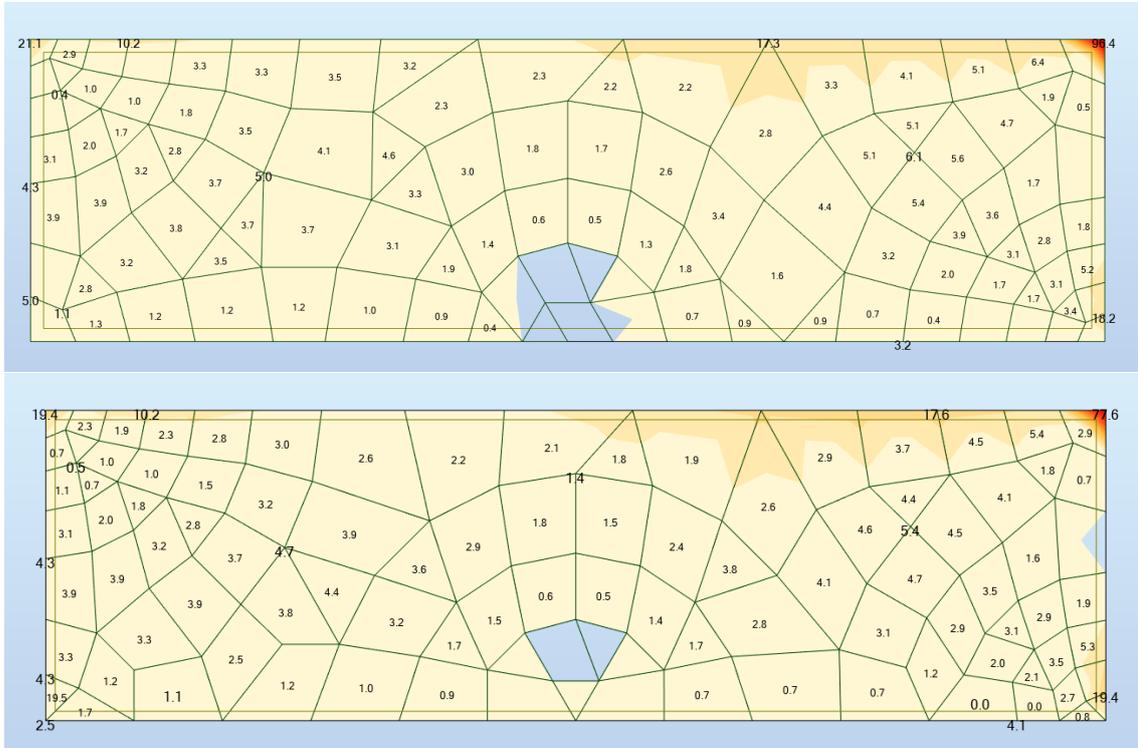


Figura 35.- Cuantía vertical interior muro 18-31 (lado visto)

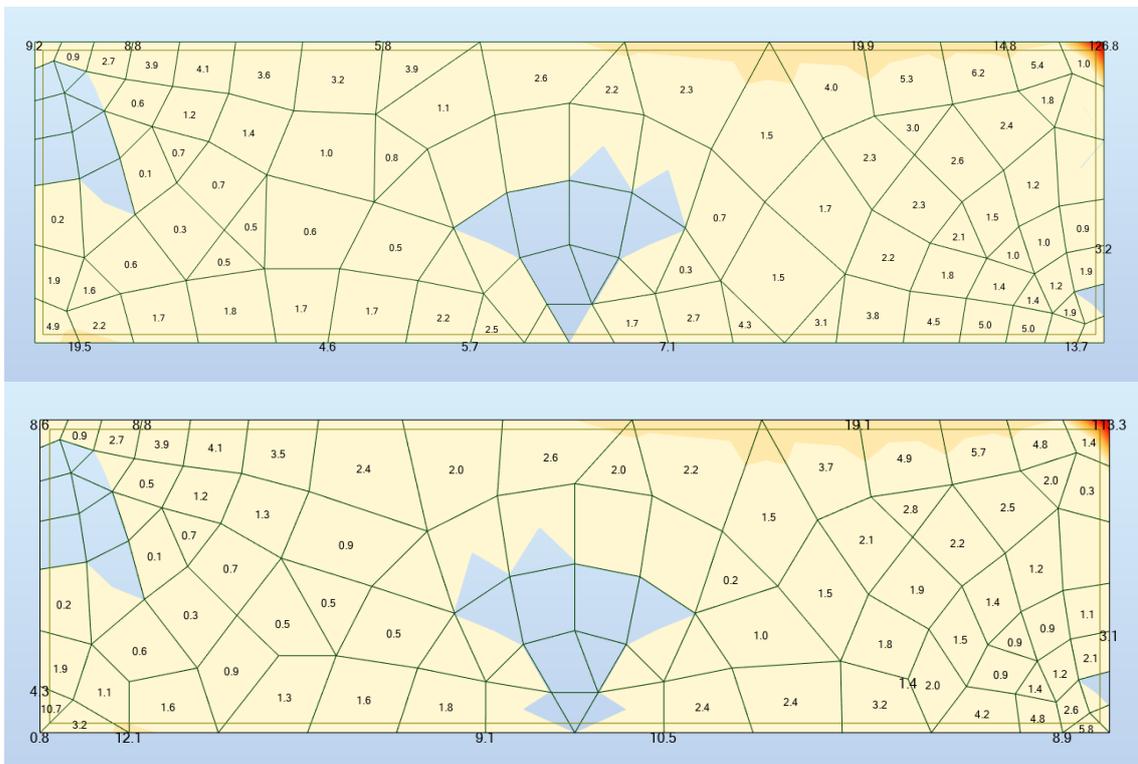


Figura 36.- Cuantía vertical exterior muro 18-31 (lado enterrado)

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

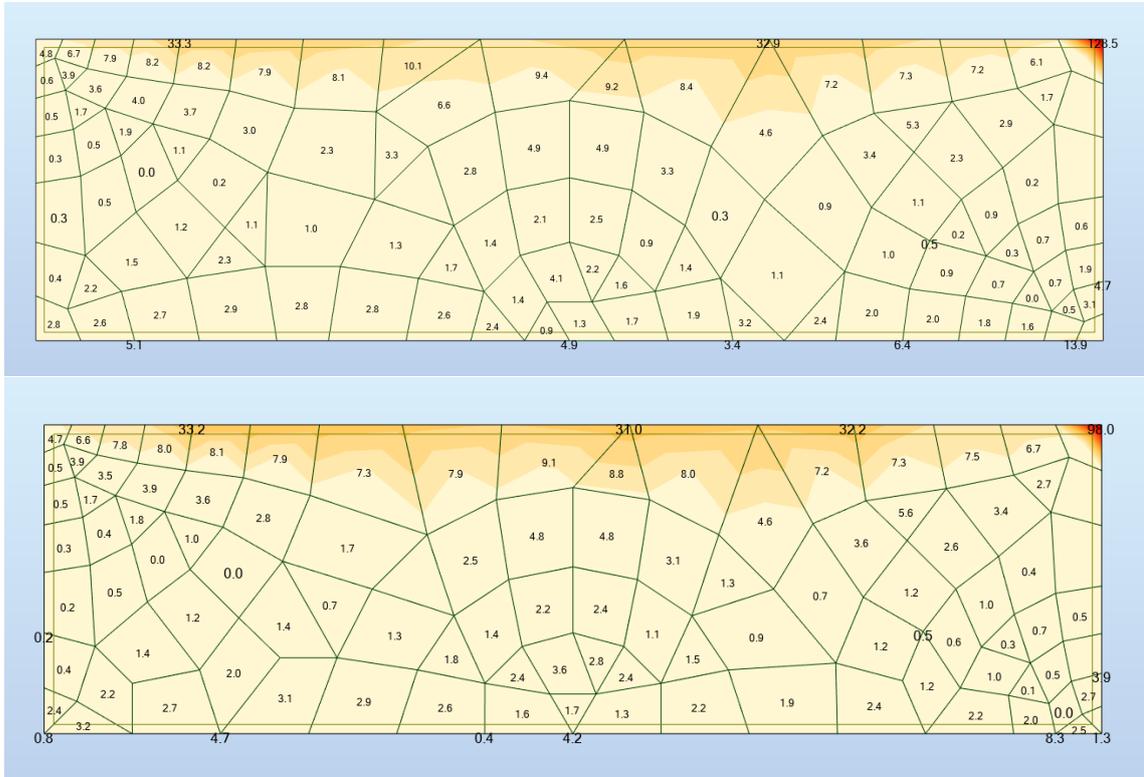


Figura 37.- Cuantía horizontal interior muro 18-31 (lado visto)

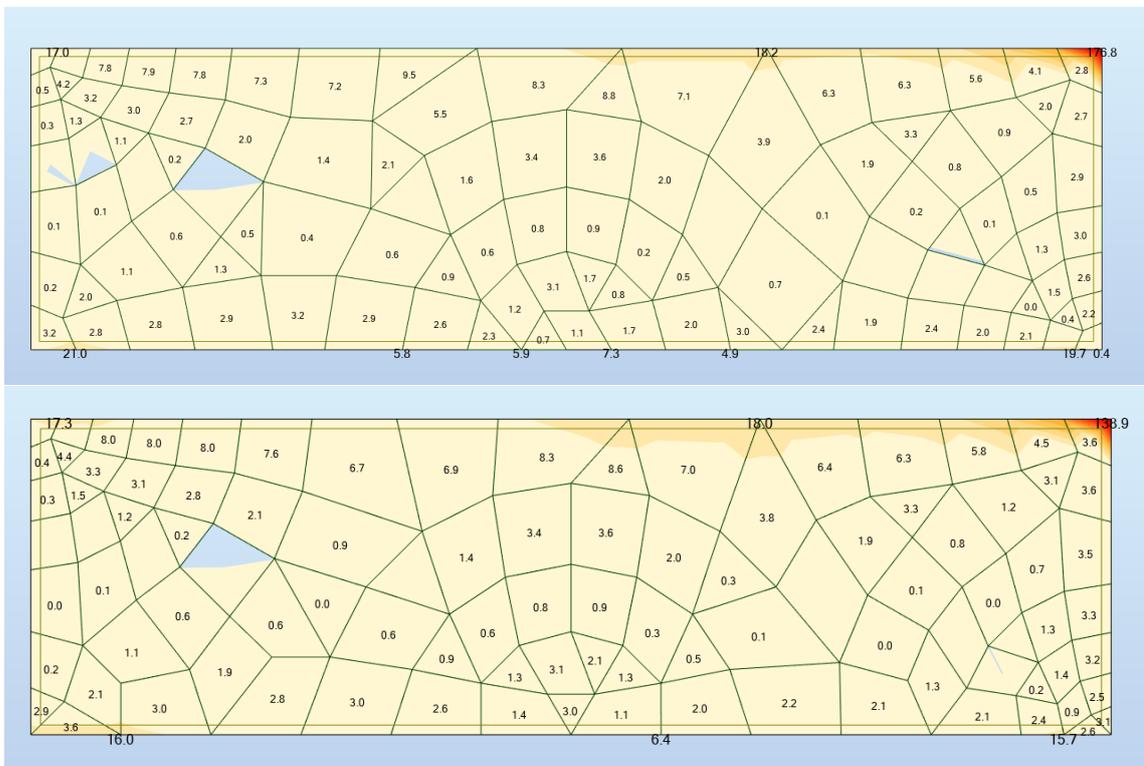


Figura 38.- Cuantía horizontal exterior muro 18-31 (lado enterrado)

Proyecto Constructivo de la Nueva  
 Estación de Zarautz  
 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



11.5.6 Muro 26-27

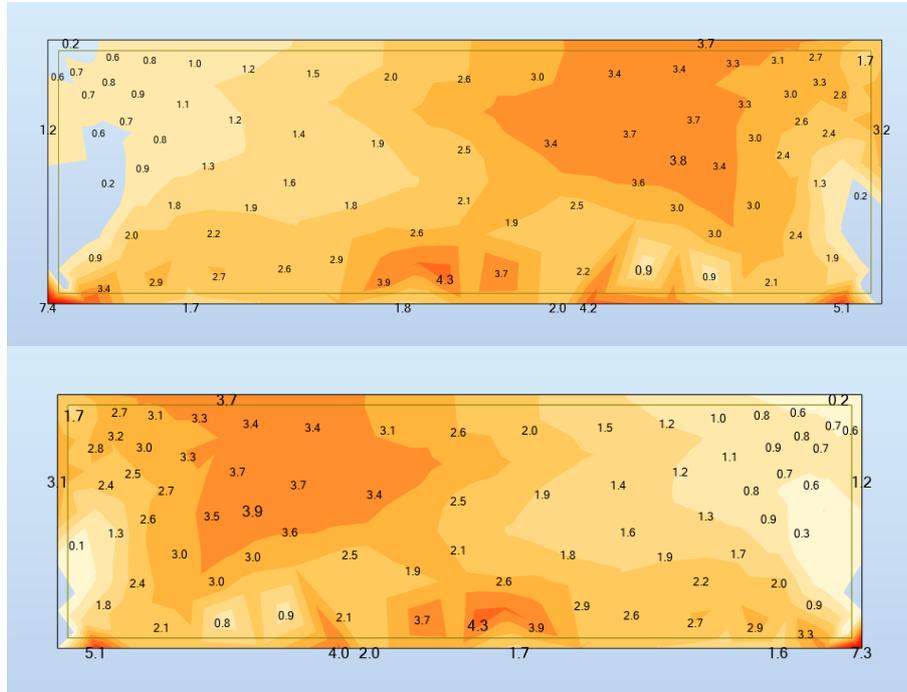


Figura 39.- Cuantía vertical interior muro 26-27

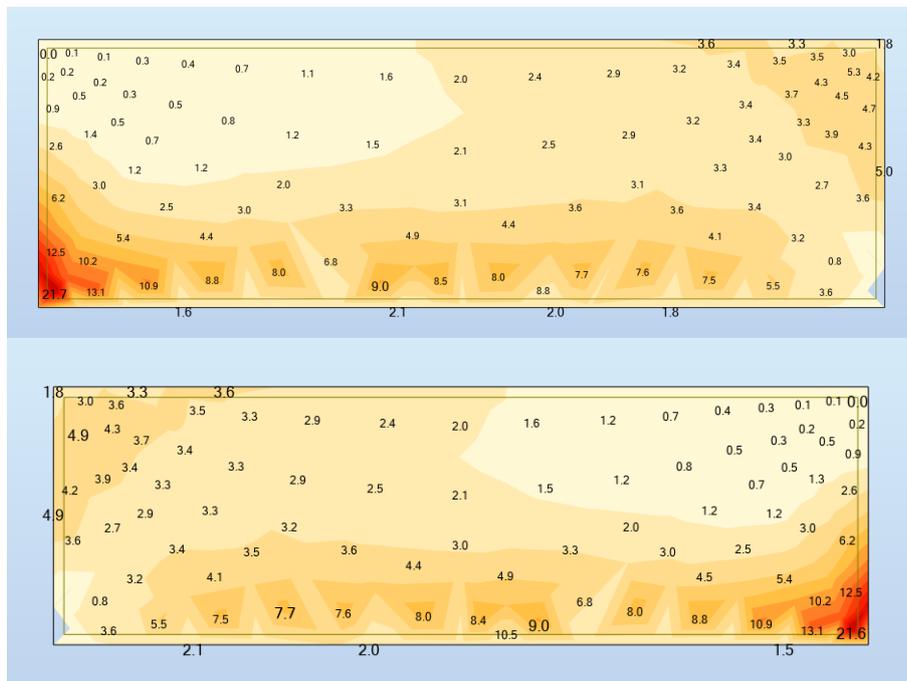


Figura 40.- Cuantía vertical exterior muro 26-27

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

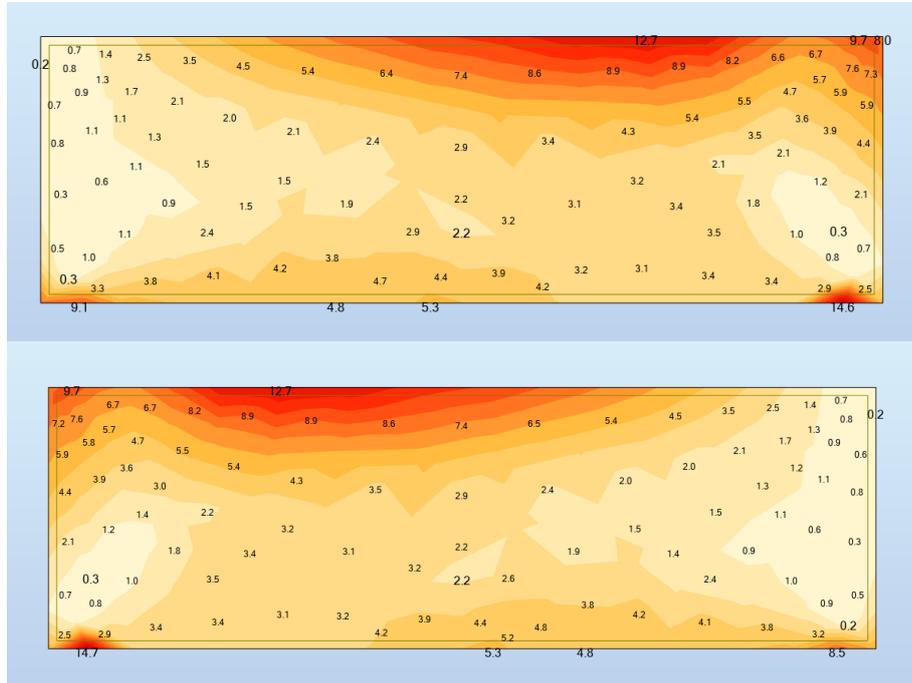


Figura 41.- Cuanría horizontal interior muro 26-27

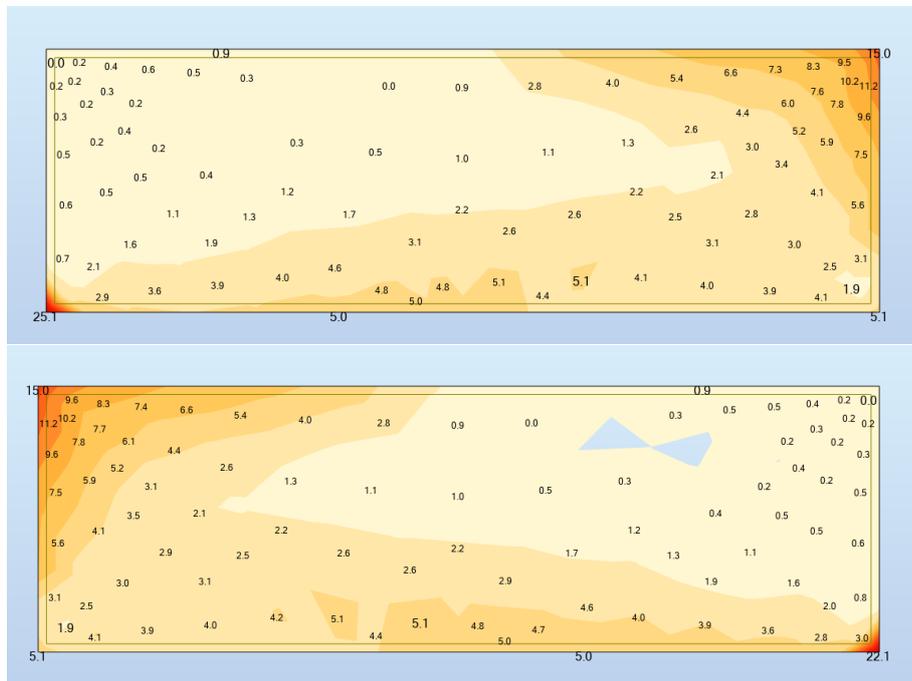


Figura 42.- Cuanría horizontal exterior muro 26-27

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



11.5.7 Muro 114-115

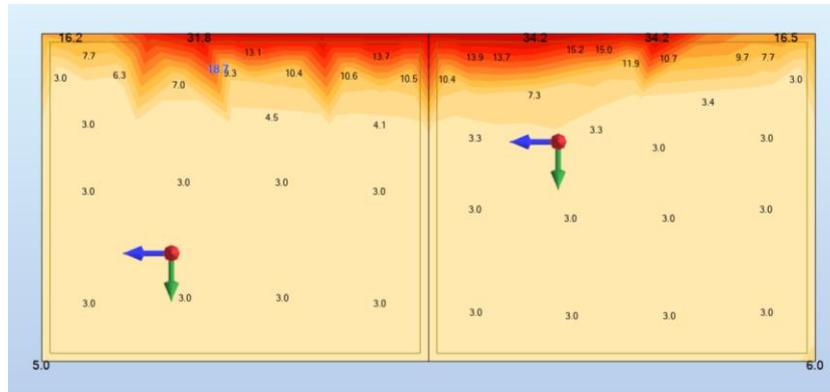


Figura 43.- Cuanía vertical exterior muro 114-115

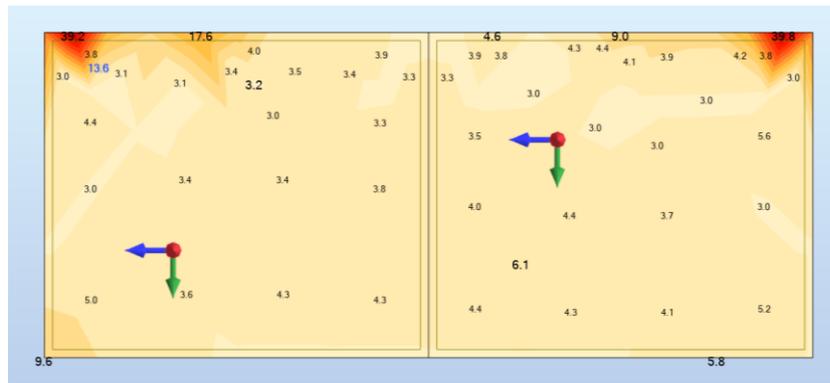


Figura 44.- Cuanía vertical interior muro 114-115

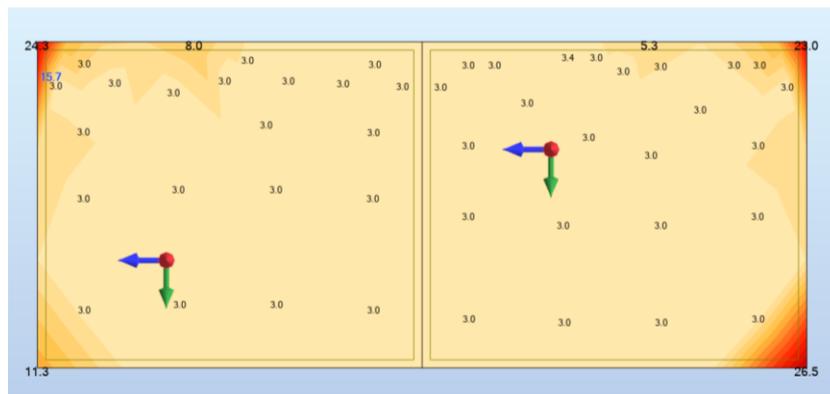


Figura 45.- Cuanía horizontal exterior muro 114-115

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

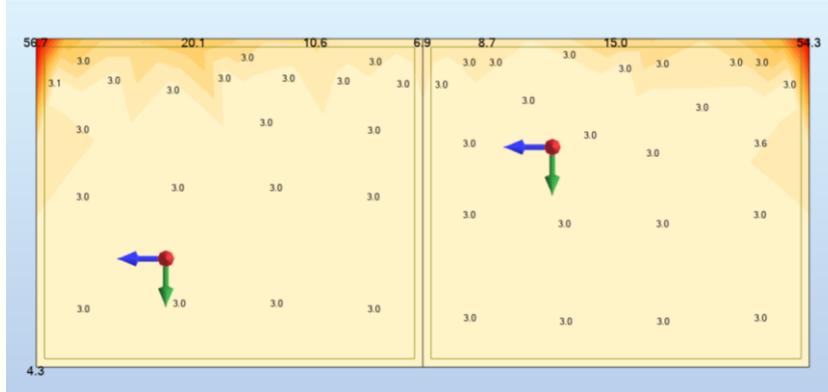


Figura 46.- Cuantía horizontal interior muro 114-115

11.5.8 Armadura dispuesta muros

Muro	Cara	Armado vertical base [mm/mm, cm <sup>2</sup> /m]	Armado vertical zona reforzada [mm/mm, cm <sup>2</sup> /m]	Armado horizontal tipo [mm/mm, cm <sup>2</sup> /m]	Armado horizontal zona reforzada [mm/mm, cm <sup>2</sup> /m]
109/110 (30cm)	interior	Ø12/150 (7,54)	+Ø20/150 (28,48)	Ø16/150 (13,40)	Ø20/150 (20,94)
	exterior	Ø12/150 (7,54)	+Ø20/150 (28,48)	Ø16/150 (13,40)	Ø20/150 (20,94)
24 (70cm)	interior	Ø16/150 (13,40)	-	Ø16/150 (13,40)	Ø20/150 (20,94)
	exterior	Ø16/150 (13,40)	+Ø20/150 (34,35)	Ø16/150 (13,40)	Ø20/150 (20,94)
111/113 (70cm)	interior	Ø16/150 (13,40)	-	Ø16/150 (13,40)	Ø20/150 (20,97)
	exterior	Ø16/150 (13,40)	+Ø20/150 (34,35)	Ø16/150 (13,40)	Ø20/150 (20,97)
18/31 (30cm)	interior	Ø12/150 (7,54)	+Ø16/150 (20,94)	Ø12/150 (7,54)	Ø16/150 (13,40)
	exterior	Ø12/150 (7,54)	+Ø16/150 (20,94)	Ø12/150 (7,54)	Ø16/150 (13,40)
26/27 (30cm)	interior	Ø12/150 (7,54)	Ø12/150 (7,54)	Ø12/150 (7,54)	Ø12/150 (7,54)
	exterior	Ø12/150 (7,54)	Ø12/150 (7,54)	Ø12/150 (7,54)	Ø12/150 (7,54)
114/115 (30cm)	interior	Ø12/150 (7,54)	+Ø16/150 (20,94)	Ø12/150 (7,54)	-
	exterior	Ø12/150 (7,54)	+Ø16/150 (20,94)	Ø12/150 (7,54)	-

Tabla 11.- Armadura muros



Proyecto Constructivo de la Nueva  
 Estación de Zarautz  
 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

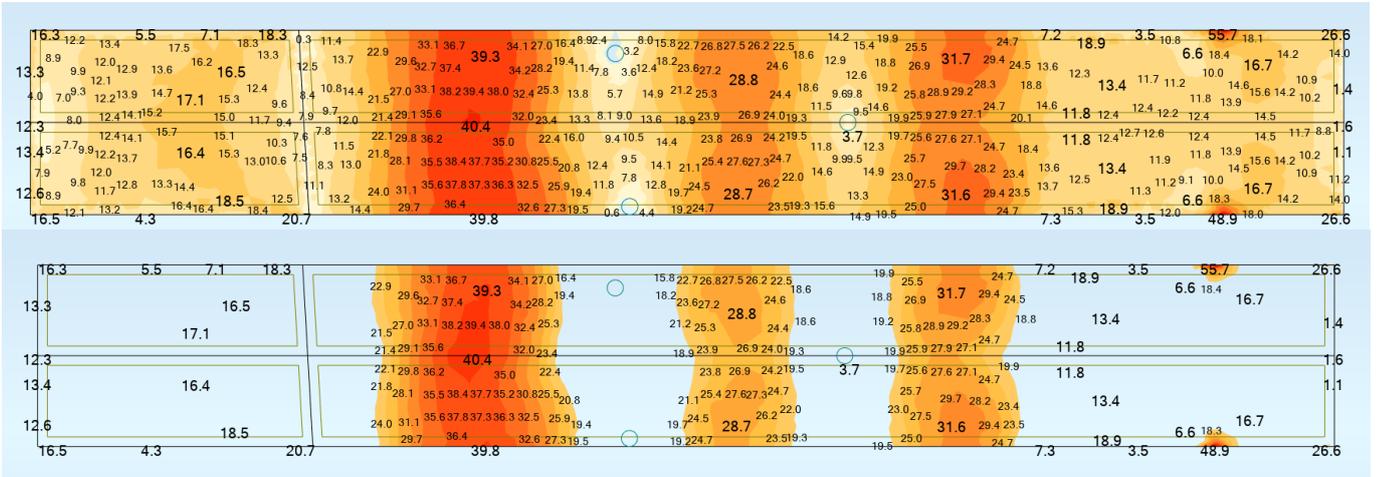


Figura 50.- Armadura inferior longitudinal (abajo zona reforzada)

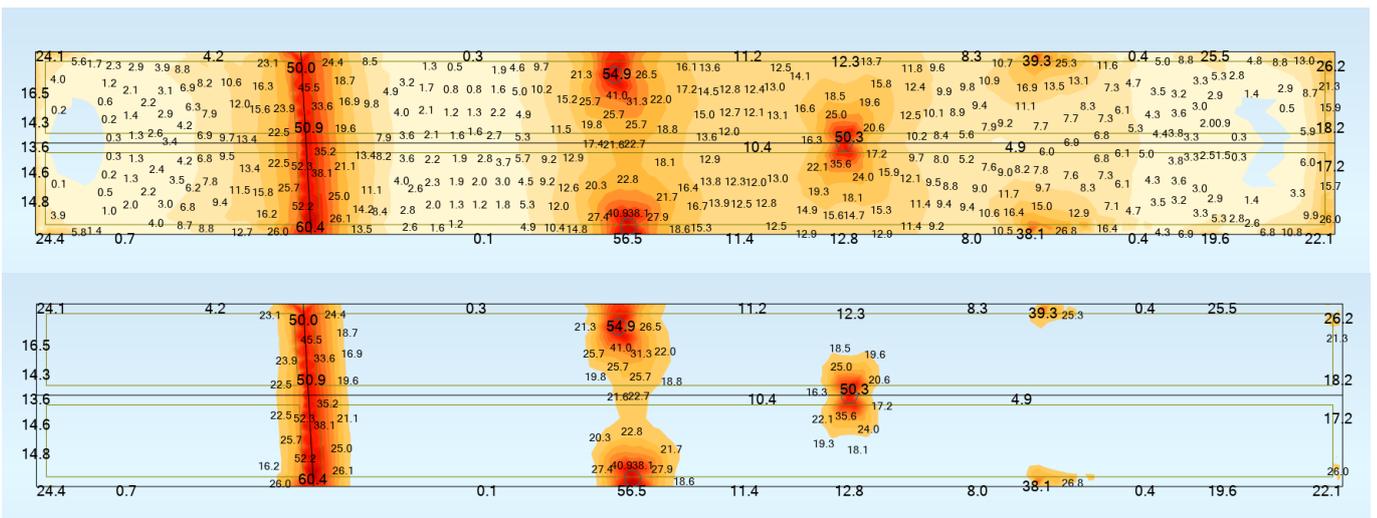


Figura 51.- Armadura superior longitudinal (abajo zona reforzada)

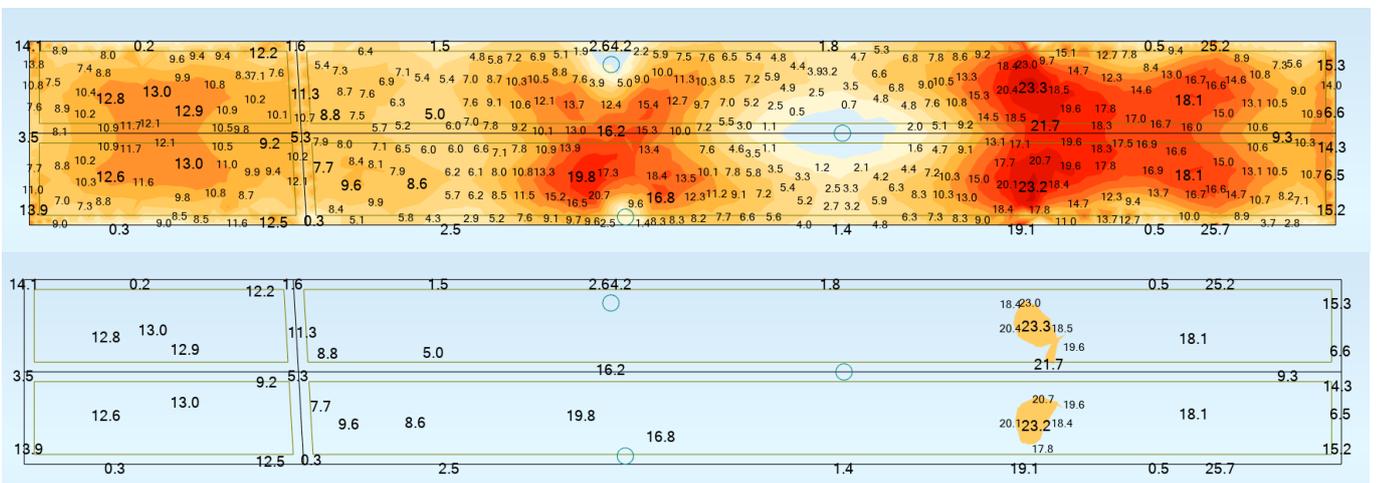


Figura 52.- Armadura inferior transversal (abajo zona reforzada)

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

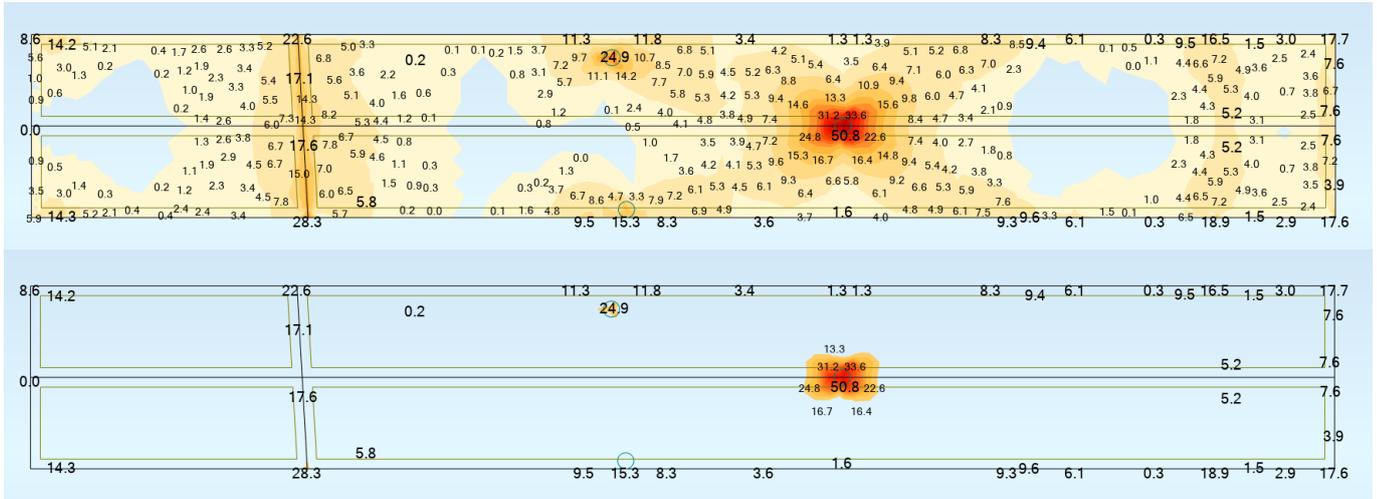


Figura 53.- Armadura superior transversal (abajo zona reforzada)

### 11.6.1.2 Estado límite último (Fatiga)

Para las diferentes longitudes de los vanos (columnas 1 a 5) y los factores de longitudes críticas (columna 6) resulta un factor de corrección máximo de  $\lambda_s = 0,62$  para calcular el rango de tensiones equivalente  $\Delta\sigma_{s, equ}$  que se utiliza en lo que sigue.

#### EN 1992-2:2005 / NN.3 Railway bridges (reinforcing steel)

		1	2	3	4	5	6	
Longitud de vano	$L_{vano} =$	12.02	13.61	9.91	8.48	12.25	8.48	[m]
Factor longitud crítica	$f =$	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	[-]
Longitud crítica	$L =$	8.41	9.53	6.94	5.94	8.58	5.94	[m]
Factor longitudes críticas	$\lambda_{s,1,2m} =$	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.85	[-]
	$\lambda_{s,1,20m} =$	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.70	[-]
Factor longitud línea de influencia	$\lambda_{s,1}(L) =$	0.67	0.64	0.71	0.74	0.67	0.78	[m]
Pendiente línea de fatiga	$k_2 =$	9	9	9	9	9	9	[-]
	$Vol =$	2.5.E+07	2.5.E+07	2.5.E+07	2.5.E+07	2.5.E+07	2.5.E+07	[t/año]
Factor volumen tráfico	$\lambda_{s,2} =$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	[-]
Vida útil	$N_{Years} =$	100	100	100	100	100	100	[años]
Factor vida útil	$\lambda_{s,3} =$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	[-]
Factor de simultaneidad	$n =$	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	[-]
Relación tensiones carga de una/dos vías	$\Delta\sigma_1/\Delta\sigma_{1+2} =$	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	[-]
	$\lambda_{s,4} =$	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	[-]
	$\lambda_s =$	0.53	0.51	0.56	0.58	0.53	0.62	[-]

Según EHE 38.10 el límite de fatiga  $\Delta\sigma_D$  para armaduras pasivas no dobladas es  $150 \text{ N/mm}^2$  de modo que para el modelo de cálculo con cargas UIC71 la tensión máxima en servicio es de  $150/0,62 = 243 \text{ MPa}$ . En caso de aplicar el límite preconizado por el Eurocódigo la tensión máxima sería  $162,5/(\gamma_s=1,15)/0,62 = 228 \text{ MPa}$ . Se utiliza este último valor.

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Las envolventes de los momentos flectores, así como la armadura necesaria para las cargas de tráfico con esta limitación de tensiones se muestra en las gráficas siguientes.

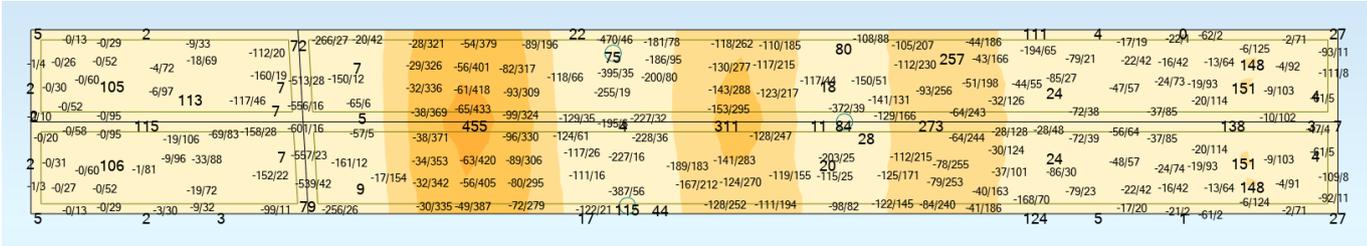


Figura 54.- Envolvente momentos flectores  $M_{xx}$  casos tráfico (armado longitudinal)

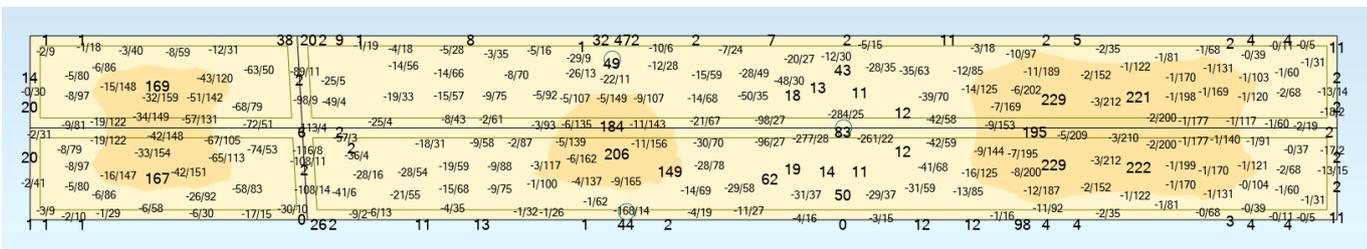


Figura 55.- Envolvente momentos flectores  $M_{yy}$  casos tráfico (armado transversal)

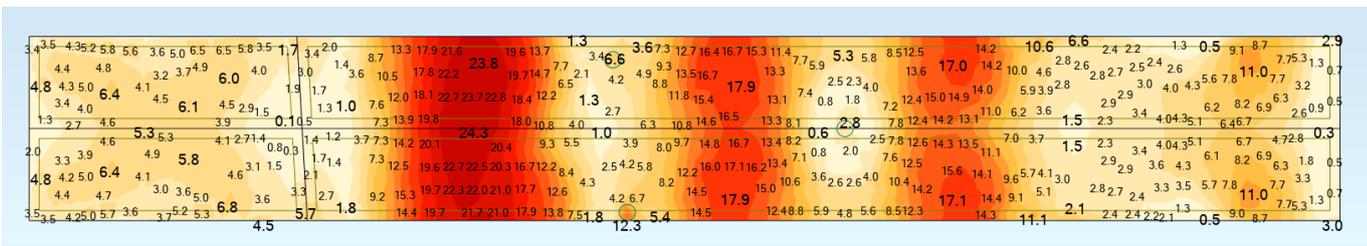


Figura 56.- Armadura inferior longitudinal

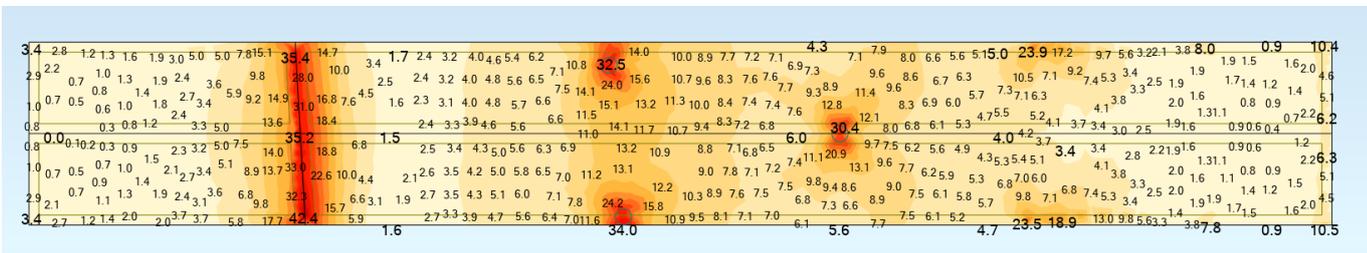


Figura 57.- Armadura superior longitudinal

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

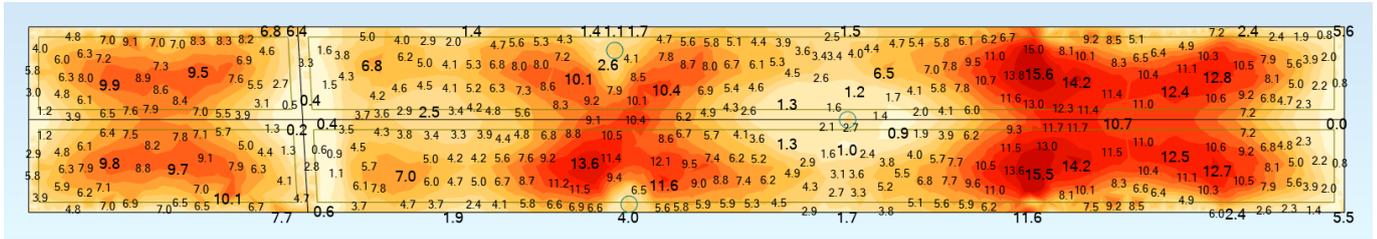


Figura 58.- Armadura inferior transversal

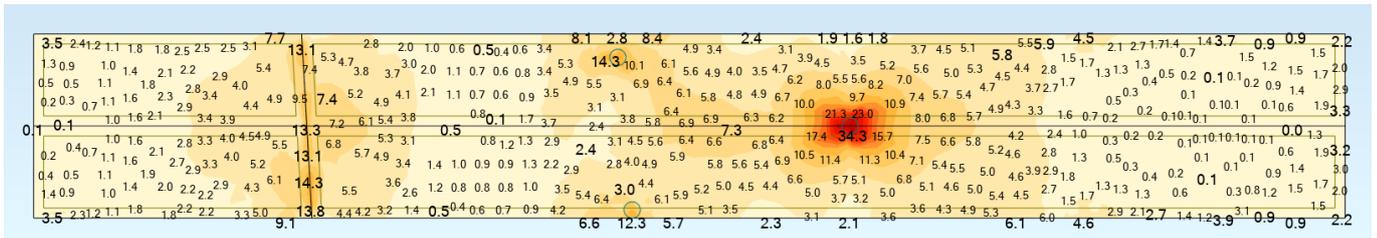


Figura 59.- Armadura superior transversal

### 11.6.1.3 Cuantía mínima

La cuantía mecánica mínima según EHE 42.3.2 es:

$$A_s \geq 0,04A_c \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,04 \times 100\text{cm} \times 88\text{cm} \times \frac{35/1,5}{500/1,15} = 18,9 \text{ cm}^2/\text{m}$$

La cuantía geométrica mínima según EHE tabla 42.3.5 es (por cara):

$$A_s \geq 1,8/1000 \times A_c/2 = 3/1000 \times 100\text{cm} \times 88\text{cm} / 2 = 7,9 \text{ cm}^2/\text{m}$$

### 11.6.1.4 Armado dispuesto

A partir de los gráficos anteriores y teniendo en cuenta las posibles reducciones de valores puntuales por anchos de apoyo reales y de distribuciones a lo ancho de las secciones, se disponen las armaduras siguientes.

Posición	Zona	Número / Diámetro [mm]	Separación [cm]	Sección [cm <sup>2</sup> /m]
Inferior longitudinal	Base	1 Ø 20	15	20,94
	Reforzada	2 Ø 20	15	41,89
Superior longitudinal	Base	1 Ø 20	15	20,94
	Reforzada	1 Ø 20 + 1 Ø 25	15	53,67
Inferior transversal	Base	1 Ø 20	15	20,94
	Reforzada	2 Ø 20	22,5	27,93
Superior transversal	Base	1 Ø 20	15	20,94
	Reforzada	1 Ø 20 + 1 Ø 25	15	53,67

Tabla 12.- Armadura principal losa

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 11.6.2 Deformaciones

#### 11.6.2.1 Deformaciones verticales tráfico ferroviario

La IAPF 4.2.1.1.3 limita la deformación vertical bajo carga de tráfico a 1/600 de la luz. Partiendo de los valores del modelo lineal-elástico se ha aplicado la reducción de la inercia correspondiente a la sección fisurada para la obtención de la flecha real instantánea.

El vano 2 es el más crítico al tener la luz más grande:

Vano	Luz de cálculo [m]	Límite flecha [mm]	Flecha modelo [mm]	Reducción inercia [-]	Flecha real [mm]
2	13,74	22,9	4,86	0,228	21,3

Tabla 13.- Flecha debido a tráfico ferroviario

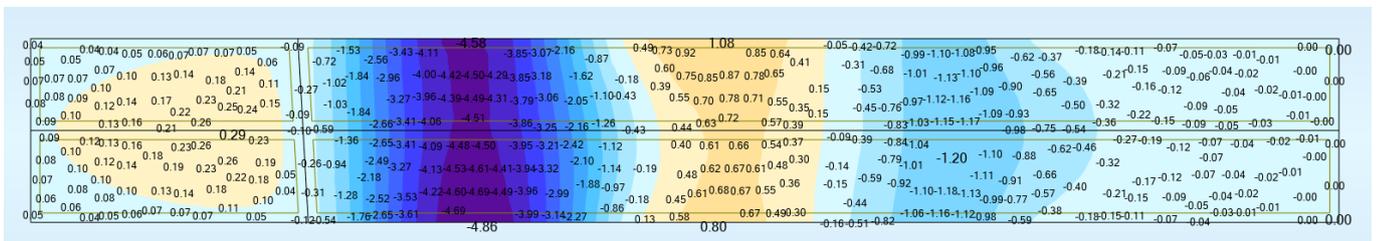


Figura 60.- Flecha máxima por tráfico vano 2

#### 11.6.2.2 Deformaciones de alabeo por tráfico ferroviario

La IAPF 4.2.1.1.2 limita el máximo alabeo medido entre dos secciones de la vía separadas 3 m. Para velocidades menores de 120 km/h y vía de ancho métrica el valor "t" se limita a 3,71 mm.

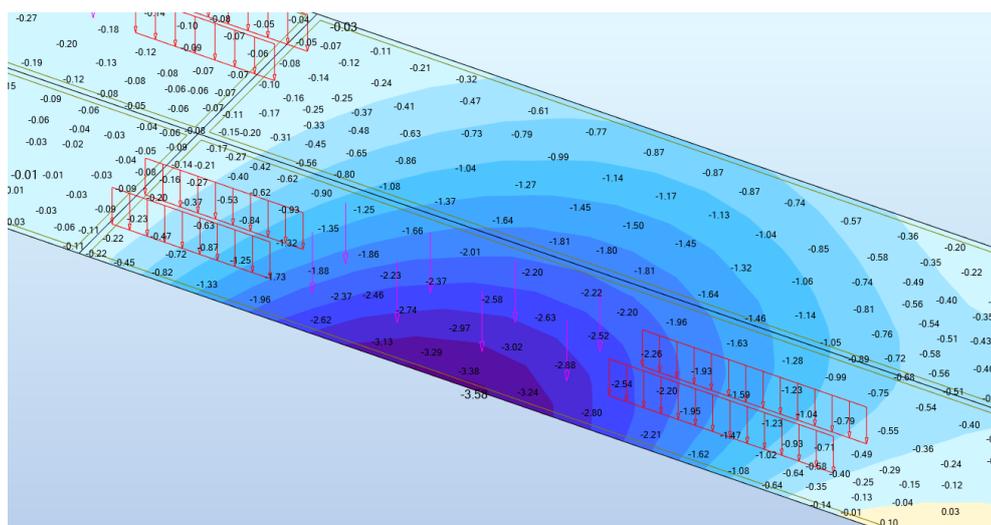


Figura 61.- Máximo alabeo vano 2

Con un factor de aumento de 4 por fisuración el alabeo máximo resulta ser del orden de  $1,6 \text{ mm} \leq 3,71 \text{ mm}$ .

Proyecto Constructivo de la Nueva  
 Estación de Zarautz  
 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 11.6.2.3 Deformaciones permanentes

Con la deformación del modelo del vano 2 de 3,05 mm y un aumento por fisuración resulta una flecha instantánea de 3,05/0,228 = 13,4 mm. Siendo la flecha diferida aproximadamente 1,5 veces este valor resultarían 33 mm o 1/410 de la luz.

Esta deformación puede resultar ser inadecuada desde un punto de vista estético y se prevé en el vano 2 una contraflecha de 20 mm en el centro y de 15 mm a un cuarto de la luz.

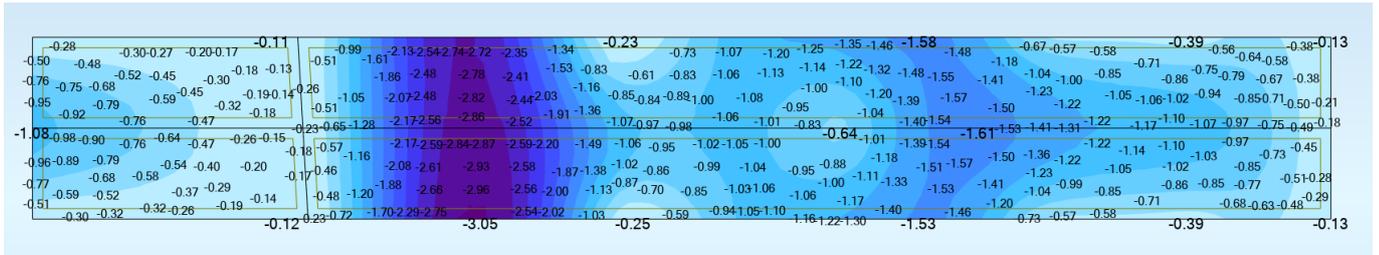


Figura 62.- Flecha peso propio [mm]

### 11.6.3 Armadura de cortante

#### 11.6.3.1 Estado límite último (ELU)

La resistencia de la losa sin armadura de cortante es de 358 kN/m. Las áreas del gráfico de esfuerzos cortantes indica en color las zonas donde no se supera este valor.

Sección: LOSA\_80

ρ [%]: 3  
 b0 [m]: 1.00  
 d [m]: 0.75  
 z [m]: 0.68

Con armadura de cortante  
 Sin armadura de cortante

Control normal hormigón  
 Control indirecto hormigón

Armadura de compresión

Diámetro de la armadura comprimida: 12 [mm]

Inclínación de las bielas: ctg θ = 1.0, θ [°] = 45

Inclínación de las armaduras: α [°] = 90.0

Axil de cálculo (compresión +): Nd [kN] = -400

σ<sub>cd</sub> [MPa]: -0.5  
 Pcomprimida [%]: 0.0

Tensiones elásticas de cálculo (compresión +):  
 σ<sub>xd</sub> [MPa]: -0.5  
 σ<sub>yd</sub> [MPa]: 0.0  
 θ<sub>e</sub> [°]: 47.4

Comprobación

Cortante de agotamiento de las bielas	Vu1 [kN]	5249.9
Cortante de agotamiento de los tirantes	Vu2 [kN]	358.0
Contribución del hormigón a la resistencia	Vcu [kN]	358.0
Contribución de la armadura transversal	Vsu [kN]	0.0
<b>Resistencia a cortante</b>	<b>Vu [kN]</b>	<b>358.0</b>

φ [mm]: 8  
 st [m]: 0.20  
 n° ramas: 2  
 A<sub>α</sub> [cm<sup>2</sup>/m]: 0.0

Figura 63.- Resistencia losa sin armadura a cortante

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

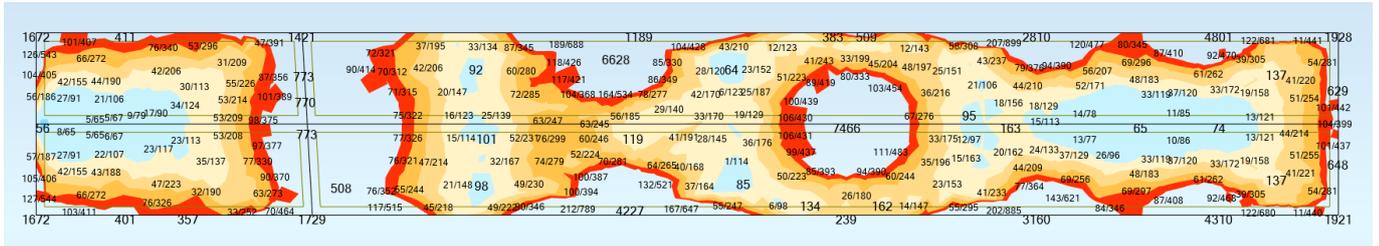


Figura 64.- Zonas sin armadura de cortante

En la gráfica siguiente se muestra la zona cubierta por refuerzos con estribos de  $\varnothing 10$  cada 25/15 cm. Las zonas cerca de los pilares se comprueban a punzonamiento en el punto siguiente.

Sección: **L0SA\_80**

$b_0$  [m]: 1.00  
 $d$  [m]: 0.75  
 $z$  [m]: 0.68

Con armadura de cortante  
 Sin armadura de cortante

Control normal hormigón  
 Control indirecto hormigón

Armadura de compresión  
 Diámetro de la armadura comprimida: 12 [mm]

Inclínación de las bielas:  $\text{ctg } \theta = 2.0$ ,  $\theta = 26.0^\circ$   
 Inclínación de las armaduras:  $\alpha = 90.0^\circ$

Axil de cálculo (compresión +)  
 $N_d$  [kN]: -400  
 $\sigma_{cd}$  [MPa]: -0.5  
 $P_{\text{comprimida}}$  [%]: 0.0

Tensiones elásticas de cálculo (compresión +)  
 $\sigma_{xd}$  [MPa]: -0.5  
 $\sigma_{yd}$  [MPa]: 0.0  
 $\theta_e$  [°]: 47.4

Comprobación: **Dimensionamiento**

**ARMADURA DE CORTANTE**  
**BIELAS DE COMPRESIÓN**

Cortante de agotamiento de las bielas	$V_{u1}$ [kN]	4137.0
Cortante de agotamiento de los tirantes	$V_{u2}$ [kN]	966.2
Contribución del hormigón a la resistencia	$V_{cu}$ [kN]	0.0
Contribución de la armadura transversal	$V_{su}$ [kN]	966.2
<b>Resistencia a cortante</b>	<b><math>V_u</math> [kN]</b>	<b>966.2</b>

$\phi$  [mm]: 10  
 $s_t$  [m]: 0.18  
 $n^\circ$  ramas: 4  
 $A_{\alpha}$  [cm<sup>2</sup>/m]: 17.5

Figura 65.- Resistencia losa con armadura a cortante

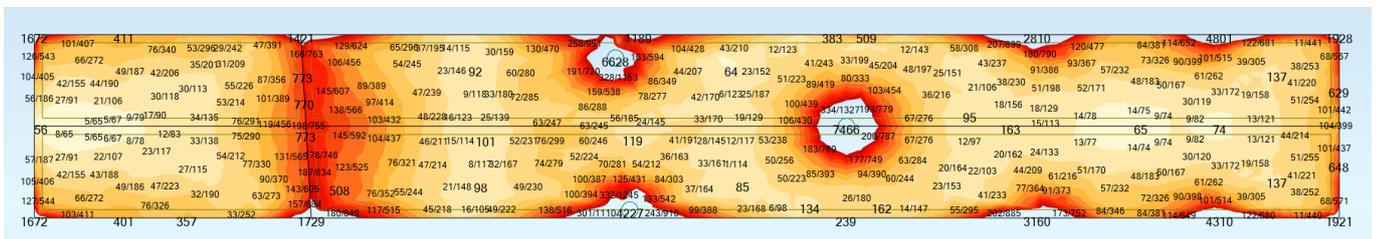


Figura 66.- Zonas cubiertas por armadura de cortante

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 11.6.3.2 Fatiga

La resistencia equivalente de la armadura a fatiga se calcula como sigue.

#### EN 1992-2:2005 / NN.3 Railway bridges

##### DAMAGE EQUIVALENT STRESS RANGE CORRECTION FACTOR

Span length		$L_{span} =$	8.48	[m]
Critical length influence factor		$f =$	0.70	[-]
Critical length		$L =$	5.94	[m]
Critical length factor 20m span	Table NN.2 p82	$\lambda_{s,1,2m} =$	0.95	[-]
Critical length factor 2m span		$\lambda_{s,1,20m} =$	0.50	[-]
Critical length factor actual span	(NN.108)2 p80	$\lambda_{s,1}(L) =$	0.74	[m]
Fatigue coefficient steel		$k_2 =$	9	[-]
Traffic volume		$Vol =$	2.5.E+07	[t/año]
Traffic volume factor		$\lambda_{s,2} =$	1.00	[-]
Design life		$N_{Years} =$	100	[años]
Design life factor		$\lambda_{s,3} =$	1.00	[-]
Simultaneous traffic factor		$n =$	0.12	[-]
Stress ratio		$\Delta\sigma_1 / \Delta\sigma_{1+2} =$	0.50	[-]
Loaded tracks factor		$\lambda_{s,4} =$	0.79	[-]
Total correction factor		$\lambda_s =$	0.58	[-]

##### REINFORCEMENT STRENGTH VERIFICATION

Fatigue resistance	EHE 38.10	$\Delta\sigma_D =$	150	[N/mm <sup>2</sup> ]
Equivalent stress range		$\Delta\sigma_D / \lambda_s =$	257	[N/mm <sup>2</sup> ]

Con ello se calcula la resistencia a cortante con  $\tan\Theta_{fat} = \sqrt{\tan\Theta}$  y se compara con la envolvente de las cargas de tráfico.

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Sección: **LOSA\_80\_F**

**Inclinación de las bielas**  
ctg  $\theta$ : 1.4     $\theta$  [°]: 35.3

**Inclinación de las armaduras**  
 $\alpha$  [°]: 90.0

$\rho$  [%]: 6  
b0 [m]: 1.00  
d [m]: 0.75  
z [m]: 0.68

Con armadura de cortante  
 Sin armadura de cortante

Control normal hormigón  
 Control indirecto hormigón

Armadura de compresión  
Diámetro de la armadura comprimida: 12 [mm]

**Áxil de cálculo (compresión +)**  
Nd [kN]: -400  
 $\sigma_{cd}$  [MPa]: -0.5  
Pcomprimida [%]: 0.0

**Tensiones elásticas de cálculo (compresión +)**  
 $\sigma_{xd}$  [MPa]: -0.5  
 $\sigma_{yd}$  [MPa]: 0.0  
 $\theta_e$  [°]: 47.4

Comprobación | Dimensionamiento

Cortante de agotamiento de las bielas	Vu1 [kN]	<b>4951.8</b>
Cortante de agotamiento de los tirantes	Vu2 [kN]	<b>567.7</b>
Contribución del hormigón a la resistencia	Vcu [kN]	<b>140.1</b>
Contribución de la armadura transversal	Vsu [kN]	<b>427.6</b>
<b>Resistencia a cortante</b>	<b>Vu [kN]</b>	<b>567.7</b>

$\phi$  [mm]: 10  
st [m]: 0.18  
nº ramas: 4     $A_{\alpha}$  [cm²/m]: 17.5

Figura 67.- Resistencia a fatiga con armadura a cortante

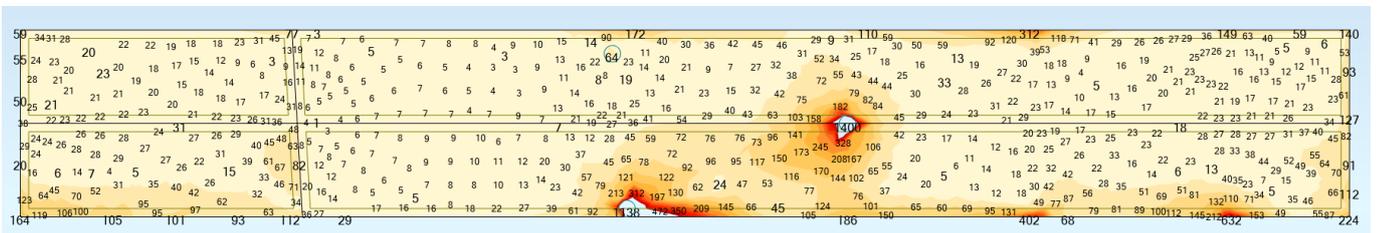


Figura 68.- Zonas cubierta por armadura de cortante a fatiga

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



11.6.4 Punzonamiento

Los axiles máximos [kN] en ELU y en el ELS en la combinación frecuente se presentan en estas imágenes:

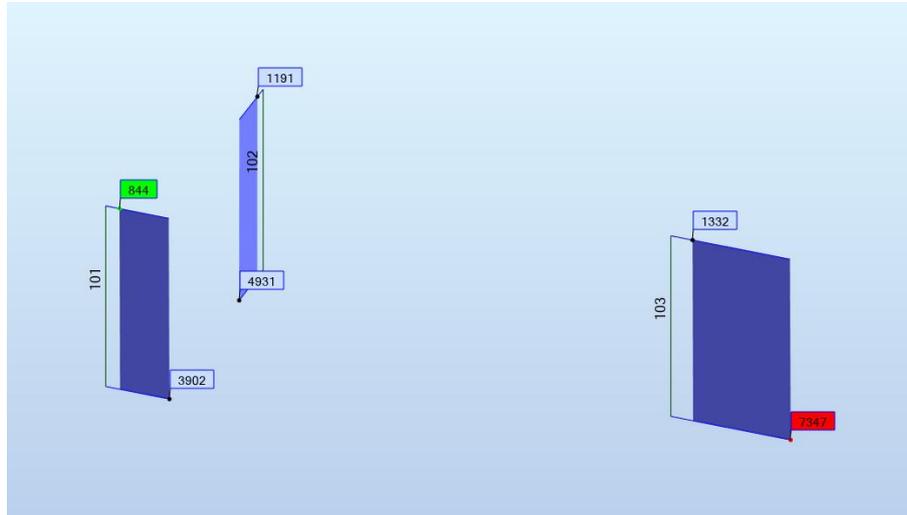


Figura 69.- Axiles pilares ELU

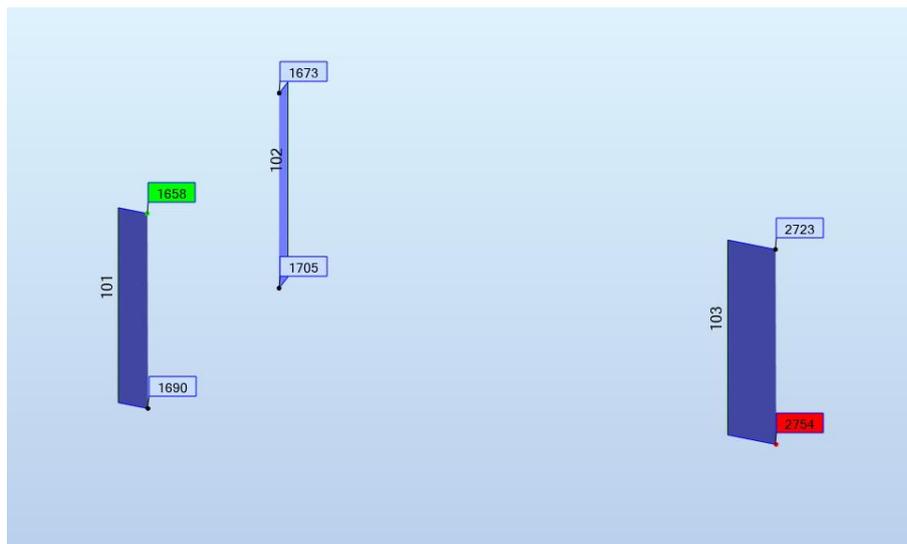


Figura 70.- Axiles pilares combinación frecuente

11.6.4.1 Estado límite último (ELU)

Para los tres pilares se dimensiona la armadura necesaria según el artículo 46 de la EHE-08. Dado que hasta un diámetro de 10 mm las barras dobladas no requieren reducción del límite de fatiga se opta por este diámetro para los refuerzos transversales.

**GEOMETRÍA Y ARMADO LOSA**

GEOMETRÍA LOSA	P101	P102	P103	
Canto total	h = 80	82	84	[cm]
Recubrimiento a armadura longitudinal	$c_{nom} = 45$	45	45	[mm]
Canto útil promedio	d = 73.0	75.0	77.0	[cm]

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Distancia superficie al eje armadura		$d' =$	7.0	7.0	7.0	[cm]
<b>ARMADURA LONGITUDINAL X-X</b>		<i>Hasta 3d a cada lado del soporte</i>				
Diámetro		$\phi_1 =$	25	25	25	[mm]
Separación		$s_1 =$	15.0	15.0	15.0	[cm]
Sección		$A_{sx1} =$	32.72	32.72	32.72	[cm <sup>2</sup> /m]
Diámetro		$\phi_2 =$	20	20	20	[mm]
Separación		$s_2 =$	15.0	15.0	15.0	[cm]
Sección		$A_{sx2} =$	20.94	20.94	20.94	[cm <sup>2</sup> /m]
Canto útil		$d_x =$	74.2	76.2	78.2	[cm]
<b>ARMADURA LONGITUDINAL Y-Y</b>		<i>Hasta 3d a cada lado del soporte</i>				
Diámetro		$\phi_1 =$	25	25	25	[mm]
Separación		$s_1 =$	15.0	15.0	15.0	[cm]
Sección		$A_{sy1} =$	32.72	32.72	32.72	[cm <sup>2</sup> /m]
Diámetro		$\phi_2 =$	20	20	20	[mm]
Separación		$s_2 =$	15.0	15.0	15.0	[cm]
Sección		$A_{sy2} =$	20.94	20.94	20.94	[cm <sup>2</sup> /m]
Canto útil		$d_y =$	71.8	73.8	75.8	[cm]

**MATERIALES**

Coefficiente parcial de seguridad hormigón		$\gamma_c =$	1.5	1.5	1.5	[-]
Resistencia característica		$f_{ck} =$	35	35	35	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente de cansancio		$\alpha_{cc} =$	0.85	0.85	0.85	[-]
Resistencia de diseño hormigón		$f_{cd} =$	19.8	19.8	19.8	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistencia a compresión del hormigón bielas		$f_{cd1} =$	11.9	11.9	11.9	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistencia efectiva del hormigón a cortante		$f_{cv} =$	35.0	35.0	35.0	[N/mm <sup>2</sup> ]
Límite elástico característico acero		$f_{yk} =$	500	500	500	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente parcial de seguridad acero		$\gamma_s =$	1.15	1.15	1.15	[-]
Resistencia de cálculo armadura cortante		$f_{y0,d} =$	400	400	400	[N/mm <sup>2</sup> ]

**CARGA Y GEOMETRÍA SOPORTE**

Tipo soporte	<i>Interior/borde/esquina</i>	$1/2/3 =$	2	2	1	[-]
Coefficiente excentricidad soporte		$\beta =$	1.40	1.40	1.15	[-]
Axil mayorado		$F_{sd} =$	3860	4894	7301	[kN]
Esfuerzo axil medio losa concomitante	<i>Compresión positiva</i>	$F'_{cd} =$	-400	-400	-400	[kN/m]
Esfuerzo efectivo de punzonamiento		$F_{sd,ef} =$	5404	6852	8396	[kN]
Lado pilar paralelo borde		$c_1 =$	55	55	55	[cm]
Lado pilar perpendicular borde		$c_2 =$	55	55	55	[cm]
Distancia adicional al borde		$c_3 =$	0	65	0	[cm]

**LOSA SIN ARMADURA DE PUNZONAMIENTO (EHE-08 46.3 p.230)**

Perímetro crítico		$u_1 =$	624	766	1188	[cm]
-------------------	--	---------	-----	-----	------	------

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Factor de escala canto losa		$\xi =$	1.52	1.52	1.51	[-]
Cuantía geométrica armadura longitudinal		$\rho_l =$	7.35	7.16	6.97	[%]
Tensión axil media losa	<i>Compresión positiva</i>	$\sigma'_{cd} =$	-0.50	-0.49	-0.48	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensión resistente mínima		$\tau_{rd,min} =$	0.51	0.50	0.50	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensión máxima resistente		$\tau_{rd,0} =$	0.49	0.48	0.48	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensión resistente		$\tau_{rd} =$	0.51	0.50	0.50	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistencia máxima a punzonamiento		$F_{rd} =$	2304	2894	4582	[kN]
Relación esfuerzo/resistencia		$F_{sd,ef}/F_{rd} =$	2.35	2.37	1.83	[-]
¿Cumple?			NO	NO	NO	

**ZONA ADYACENTE AL SOPORTE (EHE-08 46.4.3 p.232)**

Perímetro crítico		$u_0 =$	165	165	220	[cm]
Resistencia máxima a punzonamiento		$F_{rd,0} =$	7164	7360	10075	[kN]
Relación esfuerzo/resistencia		$F_{sd,ef}/F_{rd,0} =$	0.75	0.93	0.83	[-]
¿Cumple?			sí	sí	sí	

**LOSA CON ARMADURA DE PUNZONAMIENTO (EHE-08 46.4.1 p.232)**

**ARMADURA TRANSVERSAL**

Número de ramas		$n =$	12	12	16	[-]
Diámetro armadura		$\emptyset =$	10	10	10	[mm]
Separación entre armaduras		$s =$	7.5	7.5	7.5	[cm]
Ángulo de las armaduras		$\alpha =$	90	90	90	[°]
Área total en un perímetro		$A_{sw} =$	9.42	9.42	12.57	[cm <sup>2</sup> ]

**RESISTENCIA**

Distancia cara soporte a perímetro crítico		$e =$	146.0	150.0	154.0	[cm]
Perímetro crítico		$u_1 =$	624	766	1188	[cm]
Tensión resistente mínima		$\tau_{rd,min} =$	0.51	0.50	0.50	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensión resistente		$\tau_{rd,0} =$	0.49	0.48	0.48	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensión resistente hormigón		$\tau_{rd,1} =$	0.38	0.38	0.38	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensión resistente armadura		$\tau_{rd,2} =$	1.21	0.98	0.85	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistencia hormigón		$F_{rd,1} =$	1728	2170	3436	[kN]
Resistencia acero		$F_{rd,2} =$	5504	5655	7741	[kN]

**COMPROBACIÓN**

Resistencia máxima a punzonamiento		$F_{rd,tot} =$	7232	7825	11177	[kN]
Relación esfuerzo/resistencia		$F_{sd,ef}/F_{rd,tot} =$	0.75	0.88	0.75	[-]
¿Cumple?			sí	sí	sí	

**ZONA EXTERIOR A LA ARMADURA DE PUNZONAMIENTO (EHE-08 46.4.2 p.232)**

Esquema de armado	<i>Rectangular/cruceta</i>	$1/2 =$	1	1	1	[-]
Distancia con estribos adicional	<i>Desde distancia 2d</i>	$\Delta e =$	55	110	20	[cm]
Proporción del armado longitudinal que atraviesa perímetro		$A_s/A_{s,tot} =$	0.39	0.39	0.39	[-]
Distancia cara soporte a perímetro crítico		$e = \Delta e + 2d + 2d =$	347	410	328	[cm]
Perímetro crítico		$u_{n,ef} =$	1553	1935	2844	[cm]

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Cuantía geométrica armadura longitudinal	$\rho_l =$	2.87	2.79	2.72	[‰]
Relación esfuerzo/resistencia	$\tau_{rd} =$	0.34	0.34	0.34	[N/mm <sup>2</sup> ]
¿Cumple?	$F_{rd} =$	3905	4939	7366	[kN]
	$F_{sd}/F_{rd,tot} =$	0.99	0.99	0.99	[-]
		sí	sí	sí	

DISPOSICIÓN ARMADURA (EHE-08 46.5 p.233)

Distancia máxima a primer estribo	$0,5d =$	365	375	385	[mm]
Distancia máxima entre estribos	$0,75d =$	548	563	578	[mm]
Distancia cara pilar al último estribo	$\Delta e+2d =$	2010	2600	1740	[mm]

11.6.4.2 Estado límite último (Fatiga)

Según los cálculos siguientes la compresión del hormigón cumple con los criterios de fatiga. En cuanto a la armadura, la tensión equivalente resulta ser de 257 MPa. Teniendo en cuenta la resistencia de 400 MPa en estado límite último de rotura y un coeficiente de seguridad parcial de acciones de 1,42 resulta un aprovechamiento máximo de  $257/(400/1,42) = 0,91 > 0,88$  (ver punto anterior).

EN 1992-2:2005 / NN.3 Railway bridges

DESIGN PARAMETERS PUNCHING

Column		P101	P102	P103		
Maximum compression force (frequent LC)	$N_{Sk,fr,max} =$	2157	2700	3987	[kN]	
Minimum compression force (frequent LC)	$N_{Sk,fr,min} =$	1212	1585	2237	[kN]	
Maximum compression force (characteristic)	$N_{Sk,max} =$	2715	3402	5062	[kN]	
Minimum compression force (characteristic)	$N_{Sk,min} =$	1176	1533	1987	[kN]	
Critical perimeter	$u_0 =$	165	165	220	[cm]	
Load excentricity coefficient	EHE 46.3	$\beta =$	1.40	1.40	1.15	[-]
Cotangent of compression strut angle (ULS)	6.2.3(2) p88	$1 \leq \cot \theta \leq 2.5 =$	1.0	1.0	1.0	[RAD]
Angle concrete compression strut (ULS)		$\theta =$	45.0	45.0	45.0	[°]
Angle between shear reinforcement and beam axis		$\alpha =$	90	90	90	[°]
		$\tan \theta_{fat} =$	1.00	1.00	1.00	[RAD]
		$\theta_{fat} =$	45.0	45.0	45.0	[°]
Effective section depth		$d =$	73.0	75.0	77.0	[cm]
Inner lever arm		$z = 0.9d =$	65.7	67.5	69.3	[cm]

CONCRETE COMPRESSION STRENGTH

Fatigue resistance coefficient		$k_1 =$	0.85	0.85	0.85	[-]
Age at beginning of cyclic load		$t_0 =$	180	180	180	[d]
Cement type coefficient	cf. (3.2)	$s =$	0.25	0.25	0.25	[-]
Strength coefficient	(3.2)	$\beta_{cc}(t_0) =$	1.16	1.16	1.16	[-]
Characteristic compressive concrete strength		$f_{ck} =$	35	35	35	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficient long term effects		$\alpha_{cc} =$	1.00	1.00	1.00	[-]
Partial factor for fatigue of concrete		$\gamma_{C,fat} =$	1.50	1.50	1.50	[-]
Design value of concrete compressive strength		$f_{cd} =$	23	23	23	[N/mm <sup>2</sup> ]

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Concrete fatigue compression strength	(6.76)	$f_{cd,fat} =$	19.8	19.8	19.8	[N/mm <sup>2</sup> ]
<b>CONCRETE STRENGTH VERIFICATION</b>						
Maximum compressive concrete stress		$\sigma_{c,max} =$	5.57	6.79	6.01	[N/mm <sup>2</sup> ]
Minimum compressive concrete stress		$\sigma_{c,min} =$	3.13	3.98	3.37	[N/mm <sup>2</sup> ]
Strength reduction factor	(6.6N)	$\nu =$	0.52	0.52	0.52	[-]
Strut fatigue compression strength	(6.76)	$f_{cd,fat,punch} =$	10.2	10.2	10.2	[N/mm <sup>2</sup> ]
Verification term 1	(6.77) p117	$\sigma_{c,max}/f_{cd,fat} =$	0.54	0.66	0.59	[-]
Verification term 2		$0,5+0,45\sigma_{c,min}/f_{cd,fat} \leq 0,9 =$	0.64	0.68	0.65	[-]
Complies?			yes	yes	yes	
<b>CONCRETE RESISTANCE WITHOUT SHEAR REINFORCEMENT</b>						
Punching resistance		$V_{Rd,c} =$	2304	2894	4582	[kN]
Maximum shear force (frequent LC)		$V_{Ed,max} =$	2157	2700	3987	[kN]
Minimum shear force (frequent LC)		$V_{Ed,min} =$	1212	1585	2237	[kN]
Verification term 1		$V_{Ed,max} / V_{Rd,c} =$	0.94	0.93	0.87	[-]
Verification term 2		$0,5+0,45V_{Ed,min}/V_{Rd,c} \leq 0,9 =$	0.74	0.75	0.72	[-]
Complies?			NO	NO	NO	
<b>DAMAGE EQUIVALENT STRESS RANGE CORRECTION FACTOR</b>						
Span length		$L_{span} =$	8.48	8.48	8.48	[m]
Critical length influence factor		$f =$	0.70	0.70	0.70	[-]
Critical length		$L =$	5.94	5.94	5.94	[m]
Critical length factor 20m span	Table NN.2 p82	$\lambda_{s,1,2m} =$	0.95	0.95	0.95	[-]
Critical length factor 2m span		$\lambda_{s,1,20m} =$	0.50	0.50	0.50	[-]
Critical length factor actual span	(NN.108)2 p80	$\lambda_{s,1}(L) =$	0.74	0.74	0.74	[m]
Fatigue coefficient steel		$k_2 =$	9	9	9	[-]
Traffic volume		$Vol =$	2.5.E+07	2.5.E+07	2.5.E+07	[t/año]
Traffic volume factor		$\lambda_{s,2} =$	1.00	1.00	1.00	[-]
Design life		$N_{Years} =$	100	100	100	[años]
Design life factor		$\lambda_{s,3} =$	1.00	1.00	1.00	[-]
Simultaneous traffic factor		$n =$	0.12	0.12	0.12	[-]
Stress ratio		$\Delta\sigma_1 / \Delta\sigma_{1+2} =$	0.50	0.50	0.50	[-]
Loaded tracks factor		$\lambda_{s,4} =$	0.79	0.79	0.79	[-]
Total correction factor		$\lambda_s =$	0.58	0.58	0.58	[-]
<b>REINFORCEMENT STRENGTH VERIFICATION</b>						
Fatigue resistance	EHE 38.10	$\Delta\sigma_D =$	150	150	150	[N/mm <sup>2</sup> ]
Equivalent stress range		$\Delta\sigma_D / \lambda_s =$	257	257	257	[N/mm <sup>2</sup> ]

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 11.7 Cimentación

### 11.7.1 Reacciones

Las reacciones máximas y mínimas de las combinaciones en servicio se muestran a continuación. La posible colaboración de la losa de fondo no se ha tendida en cuenta en este modelo.

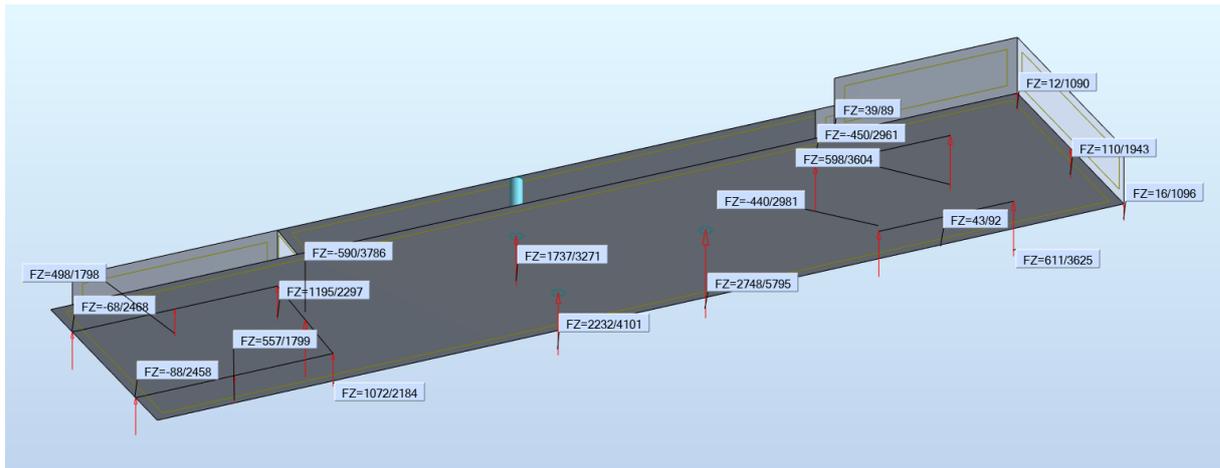


Figura 71.- Reacciones ELS

### 11.7.2 Pilotes

Dado el número total pequeño de pilotes necesarios, por facilidad de ejecución se ha diseñado un único tipo de pilote de 80 cm de diámetro. Su ejecución prevista es in situ mediante entubación metálica debido a la presencia de agua. Su capacidad resistente y las armaduras necesarias se detallan a continuación.

#### TOPE ESTRUCTURAL

Diámetro		d =	80	[cm]
Sección transversal bruta		A <sub>b</sub> =	5027	[cm <sup>2</sup> ]
Tensión máxima del pilote	CTE SE-C-53 tabla 5.1	σ =	5.50	[MPa]
Tope estructural		N <sub>tope</sub> =	2765	[kN]

#### ARMADURA LONGITUDINAL (UNE-EN 1536)

Cuantía mínima	Tabla 4	A <sub>s,min</sub> =	25.0	[cm <sup>2</sup> ]
Número de barras		n =	8	[-]
Diámetro		∅ =	20	[mm]
Sección armadura		A <sub>s</sub> =	25.1	[cm <sup>2</sup> ]
Recubrimiento	7.6.4	r =	6.0	[cm]
Distancia libre entre barras	100-400mm	s =	239	[mm]
¿Cumple?			si	

#### ARMADURA LONGITUDINAL (UNE-EN 1536)

Diámetro	Tabla 5	∅ =	8	[mm]
Separación	≤ 400mm, ≤ 15∅	s =	300	[mm]
¿Cumple?			si	

#### CARGA DE HUNDIMIENTO

Diámetro		d =	80	[cm]
----------	--	-----	----	------

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



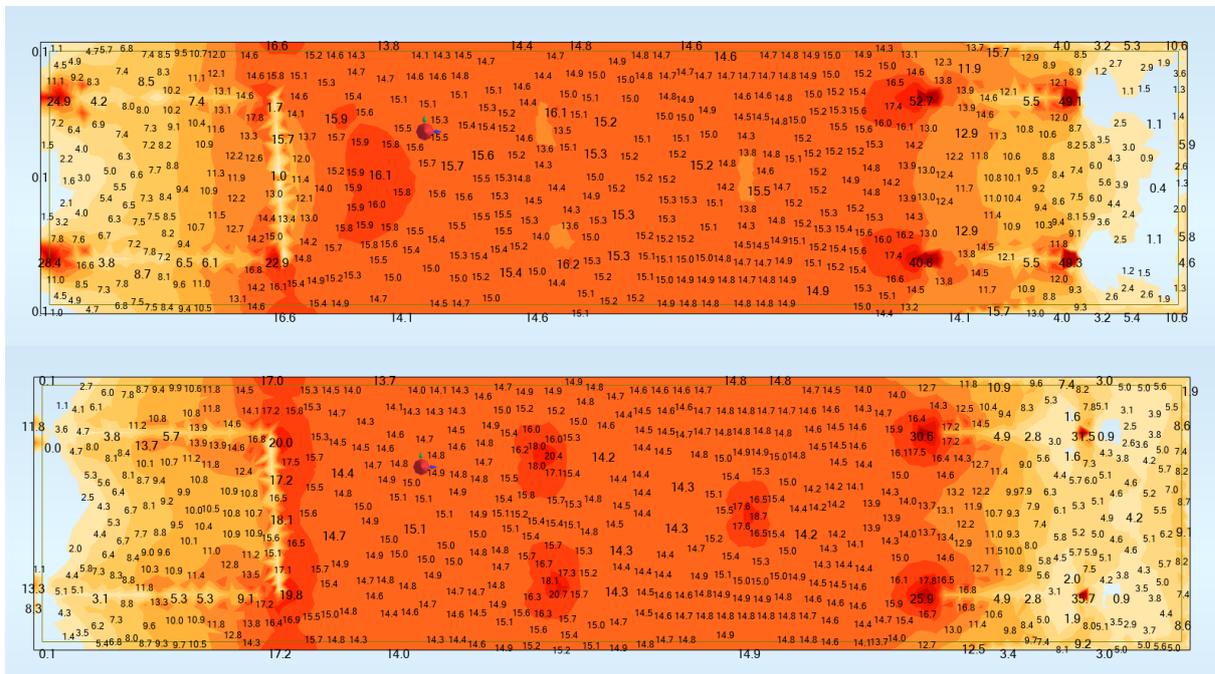
Sección transversal bruta	$A_b =$	5027	[cm <sup>2</sup> ]
Longitud de empotramiento	$L_e =$	2.40	[m]
Resistencia por punta	$q_p =$	2.52	[MPa]
Resistencia por fuste	$q_e =$	2.52	[MPa]
Factor de seguridad global	$F_s =$	3.0	[-]
Carga de hundimiento por punta	$Q_{hp} =$	1267	[kN]
Carga de hundimiento por fuste	$Q_{hf} =$	15200	[kN]
Carga de hundimiento admisible	$Q_{h,adm} =$	5489	[kN]
Presión admisible de hundimiento	$q_{h,adm} =$	10.9	[MPa]
Presión característica de hundimiento	$q_h =$	32.8	[MPa]

La comprobación de los encepados se incluye en el anexo 1.

## 11.8 Losa de fondo

### 11.8.1 Dimensionado

Las cuantías necesarias [cm<sup>2</sup>/m] en estado límite último se representan a continuación (cm<sup>2</sup>/m). En cuanto a las exigencias de fisuración, éstas son poco relevantes al aplicar la combinación cuasipermanente dónde los esfuerzos por temperatura apenas intervienen.



Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

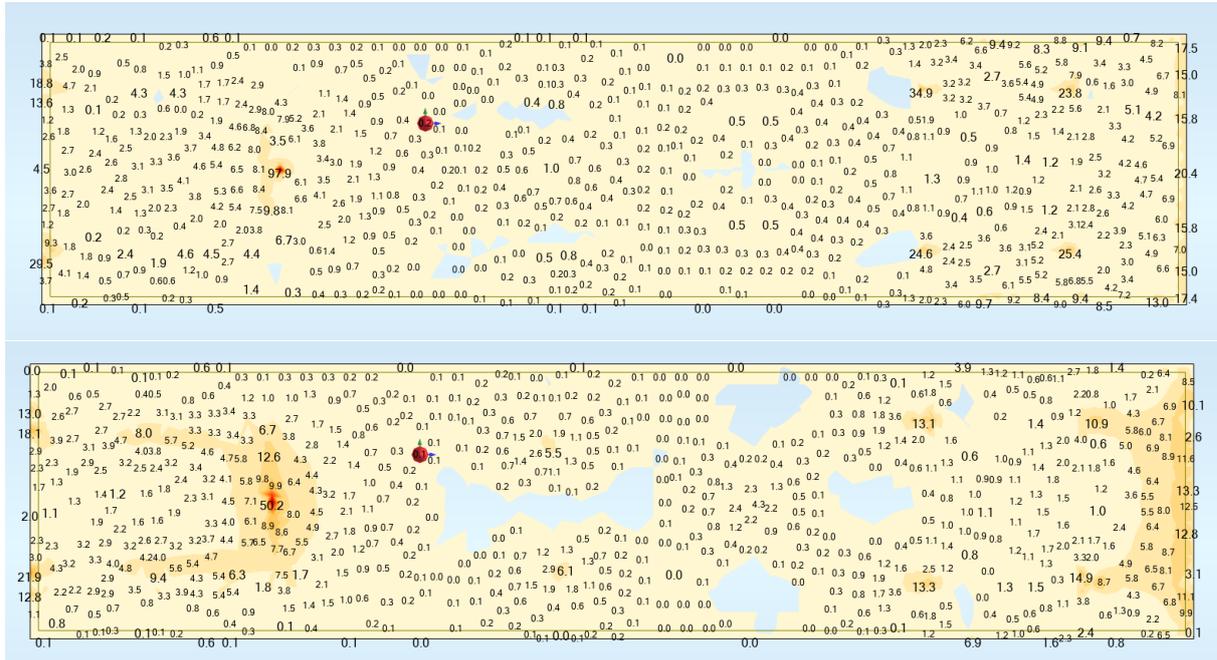


Figura 72.- Armadura longitudinal inferior/superior y transversal inferior/superior

Se dispone un armado de Ø20/150 en sentido longitudinal y de Ø16/150 en sentido transversal.

### 11.8.2 Estabilidad a subpresiones

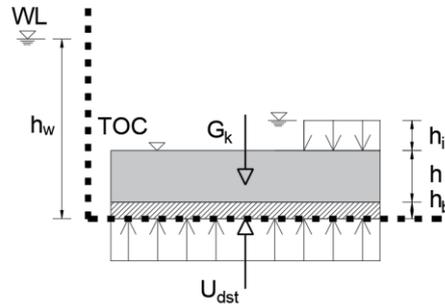
En la zona inmediatamente conectada a la cimentación las cargas de supresión se transmiten directamente a ella. Fuera de esta zona se prevé una capa de hormigón en masa para evitar la flotación. Los espesores correspondientes se calculan a continuación.

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### SLAB-ON-GRADE UPLIFT

Maximum water level
Slab thickness
Blinding concrete thickness
Water level inside
Concrete finish level
Total water height over base
Reinforced concrete weight density
Lean concrete weight density
Water specific weight
Concrete self-weight
Uplift force
Partial factor concrete self-weight
Partial factor water pressure
Safety factor ( $\geq 1$ )



WL =	2.35	[m]
h =	0.35	[m]
h <sub>b</sub> =	0.45	[m]
h <sub>i</sub> =	0.00	[m]
TOC =	1.55	[m]
h <sub>w</sub> = WL - TOC + h + h <sub>b</sub> =	1.60	[m]
γ <sub>RC</sub> =	25	[kN/m <sup>3</sup> ]
γ <sub>C</sub> =	23	[kN/m <sup>3</sup> ]
γ <sub>W</sub> =	10	[kN/m <sup>3</sup> ]
G <sub>k</sub> = h*γ <sub>RC</sub> + h <sub>b</sub> *γ <sub>C</sub> + h <sub>i</sub> *γ <sub>W</sub> =	19.1	[kN/m <sup>2</sup> ]
U <sub>dst</sub> = h <sub>w</sub> *γ <sub>W</sub> =	16	[-]
γ <sub>G,inf</sub> =	0.90	[-]
γ <sub>G,Q,sup</sub> =	1.05	[-]
E <sub>d,stb</sub> / E <sub>d,dst</sub> = G <sub>k</sub> *γ <sub>G,inf</sub> / U <sub>dst</sub> *γ <sub>G,Q,sup</sub> =	1.02	[-]

## 11.9 Resistencia a fuego

Se aplica el Anejo 6 de la EHE-08 [3] y se comprueba los elementos mediante tablas según el punto 5. La resistencia requerida de R 90 se cumple para los elementos estructurales de hormigón.

### 11.9.1 Losa superior

La losa superior de la vía de tren cumple con REI 180 según la tabla A 6.5.6. para losas macizas (espesor mínimo 150 mm, distancia mínima equivalente al eje 50 mm para flexión en una dirección).

### 11.9.2 Pilares

Los pilares cumplen con R 240 según la tabla A 6.5.2. Soportes (dimensión mínima 400 mm, distancia mínima equivalente al eje 50 mm).

### 11.9.3 Muros portantes

Los muros cumplen con REI 180 según la tabla A 6.5.3.2. para muros portantes expuestos por ambas caras (espesor mínimo 250 mm, distancia mínima equivalente al eje 45 mm).

## 11.10 Impermeabilización

En este punto se describen los aspectos que afectan a la estructura en aplicación del Código Técnico, Documento Básico Salubridad [10]. Las referencias hechas a continuación se refieren a los diferentes puntos de este documento.

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 11.10.1 Muros

Según 2.1.1 la presencia de agua se considera media y la permeabilidad del terreno alta. La tabla 2.1 determina un grado de impermeabilidad mínimo de 3.

Tabla 2.2 Condiciones de las soluciones de muro

Grado de impermeabilidad	Muro de gravedad			Muro flexorresistente			Muro pantalla		
	Imp. interior	Imp. exterior	Parcialmente estanco	Imp. interior	Imp. exterior	Parcialmente estanco	Imp. interior	Imp. exterior	Parcialmente estanco
	≤1	I2+D1+D5	I2+I3+D1+D5	V1	C1+I2+D1+D5	I2+I3+D1+D5	V1	C2+I2+D1+D5	C2+I2+D1+D5
≤2	C3+I1+D1+D3 <sup>(3)</sup>	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C3+I1+D1+D3	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1
≤3	C3+I1+D1+D3 <sup>(3)</sup>	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C3+I1+D1+D3 <sup>(2)</sup>	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1
≤4		I1+I3+D1+D3	D4+V1		I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1
≤5		I1+I3+D1+D2+D3	D4+V1 <sup>(1)</sup>		I1+I3+D1+D2+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1

Figura 73.- Solución constructiva muros

Esta solución implica una lámina impermeabilizante (I1) y condiciones de drenaje determinadas (D1, D3). No se indican condicionantes para la estructura en sí.

Según el punto 2.1.3.6 / 3 para juntas en muros hormigonados in situ se prevén perfiles expansivos en el canto.

### 11.10.2 Suelos

Según la tabla 2.3 con presencia de agua media y la permeabilidad del terreno alta se determina un grado de impermeabilidad mínimo de 4.

Tabla 2.4 Condiciones de las soluciones de suelo

Grado de impermeabilidad	Muro flexorresistente o de gravedad								
	Suelo elevado			Solera			Placa		
	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención
≤1			V1		D1	C2+C3+D1		D1	C2+C3+D1
≤2	C2		V1	C2+C3	C2+C3+D1	C2+C3+D1	C2+C3	C2+C3+D1	C2+C3+D1
≤3	I2+S1+S3+V1	I2+S1+S3+V1	I2+S1+S3+V1+D3+D4	C1+C2+C3+I2+D1+D2+S1+S2+S3	C1+C2+C3+I2+D1+D2+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+C1+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+C1+S1+S2+S3	C1+C2+C3+I2+D1+D2+S1+S2+S3	C1+C2+I2+D1+D2+S1+S2+S3
≤4	I2+S1+S3+V1	I2+S1+S3+V1+D4		C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C1+C2+C3+I1+I2+D1+D2+D3+D4+P1+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C1+C2+C3+I1+I2+D1+D2+D3+D4+P1+P2+S1+S2+S3
≤5	I2+S1+S3+V1+D3	I2+P1+S1+S3+V1+D3		C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I1+I2+D1+D2+P1+P2+S1+S2+S3		C2+C3+D1+D2+I2+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I1+I2+D1+D2+P1+P2+S1+S2+S3	C1+C2+C3+I1+I2+D1+D2+D3+D4+P1+P2+S1+S2+S3

Figura 74.- Solución constructiva suelos

Estos condicionantes constructivos implican a nivel de estructura:

- Hormigón hidrófugo (C1)
- Hormigón de retracción moderada (C2)
- Juntas previstas con perfiles de caucho expansivo (S2)

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 12 ESTRUCTURA MARQUESINA

### 12.1 Modelo de cálculo

La siguiente imagen muestra el modelo de cálculo hecho con el programa Autodesk Robot RSA [21].

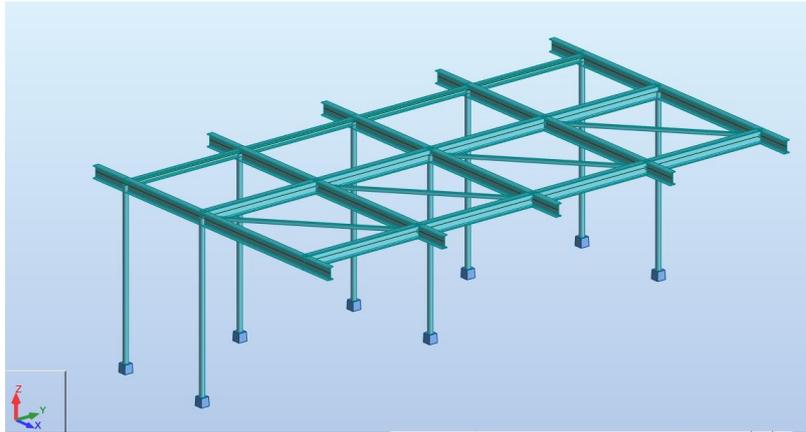


Figura 75.- Modelo de cálculo

### 12.2 Acciones aplicadas

La base para determinar las acciones principales ha sido expuesto en el punto 10, en lo que sigue se especifican las particularidades de las hipótesis de carga del modelo.

#### 12.2.1 Peso propio y cargas muertas (DL)

Esta hipótesis de carga incluye:

- Peso propio de la estructura
- Chapa de acabado con perfiles auxiliares 0,15 kN/m<sup>2</sup>
- Correas y fijaciones 0,05 kN/m<sup>2</sup>

Para ambas superficies se obtiene un total de 0,40 kN/m<sup>2</sup>.

#### 12.2.2 Viento (DL)

Se han planteado tres hipótesis según los esquemas siguientes. En naranja figuran los coeficientes eólicos, las referencias a las figuras de la normativa [7] están subrayadas.

Proyecto Constructivo de la Nueva  
 Estación de Zarautz  
 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

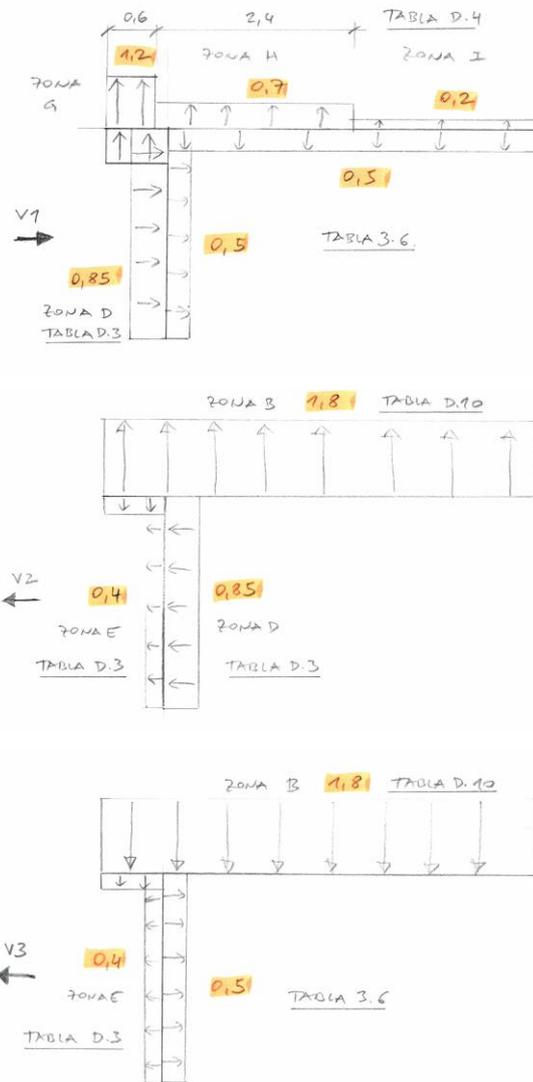


Figura 76.- Coeficientes eólicos marquesina

### 12.2.3 Nieve (N)

Se han aplicado 0,30 kN/m<sup>2</sup>.



Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

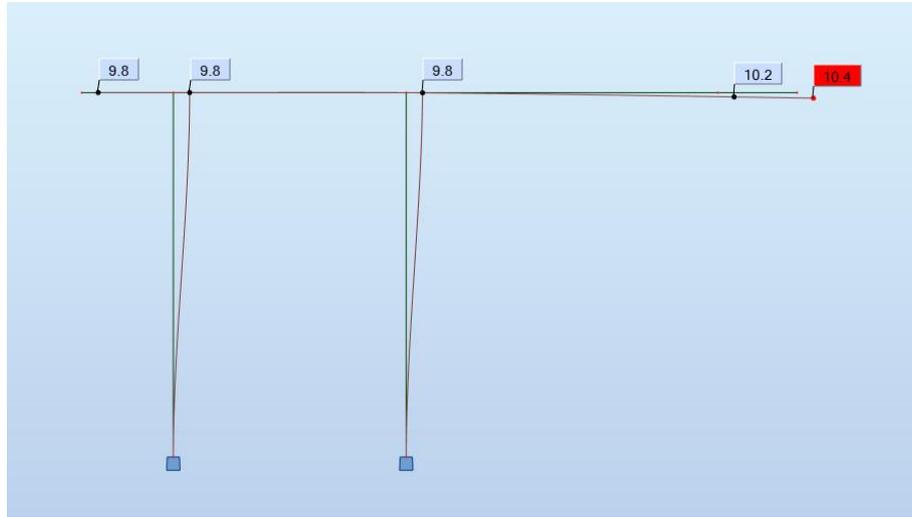


Figura 78.- Deformación viento

### 12.2 Comprobación perfiles ELU

La siguiente imagen muestra la envolvente de los momentos flectores principales en estado límite último para los dos tipos de pórtico.

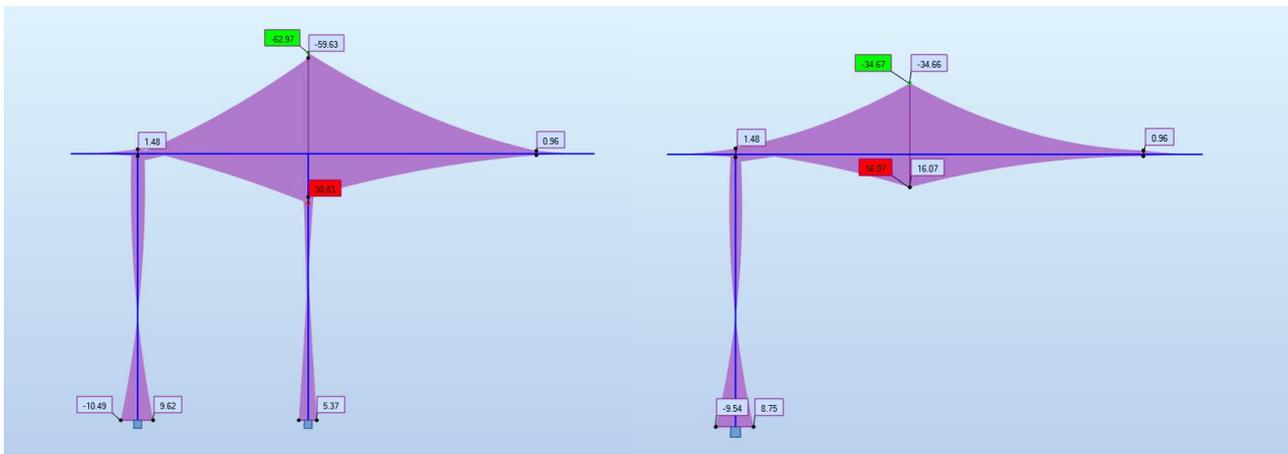


Figura 79.- Envolvente momentos flectores ELU [kNm]

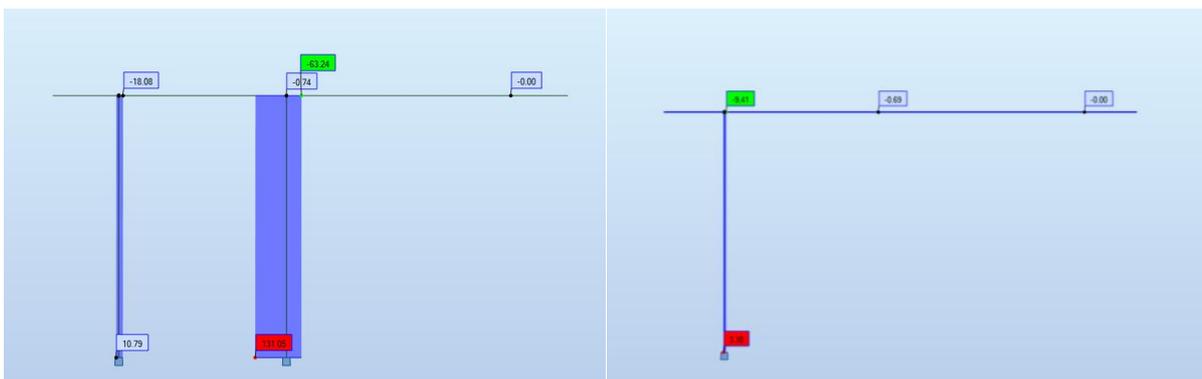


Figura 80.- Envolvente axiles ELU [kN]

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



La comprobación de los pilares y dinteles muestra un margen suficiente de seguridad debido a que el dimensionado está condicionado por las deformaciones de la estructura.

### 12.2.1 Pilar fachada

CODE: *SE-A: 2006, Documento Basico - Acero.*

ANALYSIS TYPE: *Member Verification*

CODE GROUP:

MEMBER: *13 Column\_13*

POINT: *1*

COORDINATE: *x = 0.00 L = 0.000 m*

LOADS:

Governing Load Case: *7 ULS /2/ 1\*1.35 + 2\*1.50 + 5\*1.05*

MATERIAL:

S 355 ( S 355 )	$f_y = 355.00 \text{ MPa}$	$f_{y,d,0} = 338.10 \text{ MPa}$	$f_{y,d,1} = 338.10 \text{ MPa}$
$f_u = 470.00 \text{ MPa}$	$f_{ud} = 376.00 \text{ MPa}$	$g_{M0} = 1.05$	$g_{M1} = 1.05$
$g_{M2} = 1.25$			



SECTION PARAMETERS: *pipe 114x8*

$h = 11.4 \text{ cm}$	$A_y = 17.01 \text{ cm}^2$	$A_z = 17.01 \text{ cm}^2$	$A_x = 26.72 \text{ cm}^2$
	$I_y = 379.49 \text{ cm}^4$	$I_z = 379.49 \text{ cm}^4$	$I_x = 758.98 \text{ cm}^4$
$tw = 0.8 \text{ cm}$	$W_{ply} = 90.57 \text{ cm}^3$	$W_{plz} = 90.57 \text{ cm}^3$	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

$N_{,Ed} = -17.16 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = -10.49 \text{ kN*m}$	$M_{z,Ed} = 0.00 \text{ kN*m}$	$V_{y,Ed} = 0.00 \text{ kN}$
$N_{t,Rd} = 903.26 \text{ kN}$	$M_{y,pl,Rd} = 30.62 \text{ kN*m}$	$M_{z,pl,Rd} = 30.62 \text{ kN*m}$	$V_{y,pl,T,Rd} = 331.99 \text{ kN}$
	$M_{y,c,Rd} = 30.62 \text{ kN*m}$	$M_{z,c,Rd} = 30.62 \text{ kN*m}$	$V_{z,Ed} = 10.41 \text{ kN}$
			$V_{z,pl,T,Rd} = 331.99 \text{ kN}$
			$T_{t,Ed} = 0.00 \text{ kN*m}$
			Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



*Section strength check:*

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.36 < 1.00 \quad (6.2.8.(1))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,pl,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,pl,T,Rd} = 0.03 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$$

$$\tau_{xy,Ed}/(f_{yd,0}/\sqrt{3}) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$$

$$\tau_{xz,Ed}/(f_{yd,0}/\sqrt{3}) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$$

**Section OK !!!**

## 12.2.2 Pilar interior

CODE: [SE-A: 2006](#), [Documento Basico - Acero](#).

ANALYSIS TYPE: [Member Verification](#)

CODE GROUP:

MEMBER: **18 Column\_18**

POINT: **3**

COORDINATE: **x = 1.00 L = 3.300 m**

LOADS:

Governing Load Case: 7 ULS /6/ 1\*1.35 + 4\*1.50 + 5\*1.05

MATERIAL:

S 355 ( S 355 )	$f_y = 355.00 \text{ MPa}$	$f_{y,d,0} = 338.10 \text{ MPa}$	$f_{y,d,1} = 338.10 \text{ MPa}$
$f_u = 470.00 \text{ MPa}$	$f_{ud} = 376.00 \text{ MPa}$	$g_{M0} = 1.05$	$g_{M1} = 1.05$
$g_{M2} = 1.25$			



SECTION PARAMETERS: pipe 114x8

$h = 11.4 \text{ cm}$	$A_y = 17.01 \text{ cm}^2$	$A_z = 17.01 \text{ cm}^2$	$A_x = 26.72 \text{ cm}^2$
	$I_y = 379.49 \text{ cm}^4$	$I_z = 379.49 \text{ cm}^4$	$I_x = 758.98 \text{ cm}^4$
$tw = 0.8 \text{ cm}$	$W_{ply} = 90.57 \text{ cm}^3$	$W_{plz} = 90.57 \text{ cm}^3$	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

$N_{Ed} = 130.13 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = -3.34 \text{ kN*m}$	$M_{z,Ed} = -0.01 \text{ kN*m}$	$V_{y,Ed} = 0.00 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 903.26 \text{ kN}$	$M_{y,pl,Rd} = 30.62 \text{ kN*m}$	$M_{z,pl,Rd} = 30.62 \text{ kN*m}$	$V_{y,pl,T,Rd} = 331.99 \text{ kN}$
$N_{b,Rd} = 156.17 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 30.62 \text{ kN*m}$	$M_{z,c,Rd} = 30.62 \text{ kN*m}$	$V_{z,Ed} = -1.27 \text{ kN}$
			$V_{z,pl,T,Rd} = 331.99 \text{ kN}$
			$T_{t,Ed} = 0.00 \text{ kN*m}$
			Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
 MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA


**BUCKLING PARAMETERS:**


About Y axis:

$L_y = 3.300 \text{ m}$        $X_y = 0.17$   
 $L_{k,y} = 6.600 \text{ m}$        $C_{m,y} = 0.50$   
 $L_{amy} = 175.12$        $a_y = 0.60$   
 $L_{am_y} = 2.29$        $k_y = 2.74$



About Z axis:

$L_z = 3.300 \text{ m}$        $X_z = 0.17$   
 $L_{k,z} = 6.600 \text{ m}$        $C_{m,z} = 0.40$   
 $L_{amz} = 175.12$        $a_z = 0.60$   
 $L_{am_z} = 2.29$        $k_z = 4.32$

**VERIFICATION FORMULAS:**
*Section strength check:*

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.25 < 1.00 \quad (6.2.8.(1))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,pl,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,pl,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$$

$$\tau_{xy,Ed}/(f_{yd,0}/\sqrt{3}) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$$

$$\tau_{xz,Ed}/(f_{yd,0}/\sqrt{3}) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$$

*Global stability check of member:*

$$\lambda_{y} = 175.12 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 175.12 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot A_x \cdot f_{yd,1}) + k_y \cdot C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}/(XLT \cdot W_y \cdot f_{yd,1}) + a_z \cdot k_z \cdot C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}/(W_z \cdot f_{yd,1}) = 0.98 < 1.00 \quad (6.3.4.2.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot A_x \cdot f_{yd,1}) + a_y \cdot k_y \cdot C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}/(W_y \cdot f_{yd,1}) + k_z \cdot C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}/(W_z \cdot f_{yd,1}) = 0.92 < 1.00 \quad (6.3.4.2.(1))$$

**Section OK !!!**

### 12.2.3 Dintel

CODE: [SE-A: 2006](#), [Documento Basico - Acero](#).

ANALYSIS TYPE: [Member Verification](#)

**CODE GROUP:**

MEMBER: 15

POINT: 1

COORDINATE:  $x = 0.00 \text{ L} = 0.000 \text{ m}$

**LOADS:**

Governing Load Case: 7 ULS /6/  $1 \cdot 1.35 + 4 \cdot 1.50 + 5 \cdot 1.05$

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )       $f_y = 275.00 \text{ MPa}$        $f_{yd,0} = 261.90 \text{ MPa}$        $f_{yd,1} = 261.90 \text{ MPa}$   
 $f_u = 410.00 \text{ MPa}$        $f_{ud} = 328.00 \text{ MPa}$        $g_{M0} = 1.05$        $g_{M1} = 1.05$   
 $g_{M2} = 1.25$


**SECTION PARAMETERS: IPE 240**

$h = 24.0 \text{ cm}$        $A_y = 27.31 \text{ cm}^2$        $A_z = 19.14 \text{ cm}^2$        $A_x = 39.12 \text{ cm}^2$   
 $b = 12.0 \text{ cm}$        $I_y = 3891.63 \text{ cm}^4$        $I_z = 283.63 \text{ cm}^4$        $I_x = 11.60 \text{ cm}^4$   
 $tw = 0.6 \text{ cm}$        $W_{ply} = 366.68 \text{ cm}^3$        $W_{plz} = 73.93 \text{ cm}^3$

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



tf=1.0 cm

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = -0.00 kN	My,Ed = -62.97 kN*m	Mz,Ed = -0.00 kN*m	Vy,Ed = -0.00 kN
Nt,Rd = 1024.47 kN	My,pl,Rd = 96.03 kN*m	Mz,pl,Rd = 19.36 kN*m	Vy,pl,T,Rd = 412.97 kN
	My,c,Rd = 96.03 kN*m	Mz,c,Rd = 19.36 kN*m	Vz,Ed = 32.07 kN
			Vz,pl,T,Rd = 289.47 kN
	Mb,Rd = 72.77 kN*m		Tt,Ed = 0.00 kN*m
	Mef,y,Ed = 62.97 kN*m		Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

z = 0.00	Mcr = 135.36 kN*m	Curve,LT - a	XLT = 0.76
Lc,low=2.810 m	Lam_LT = 0.86	fi,LT = 0.94	

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

*Section strength check:*

$$N,Ed/Nt,Rd + My,Ed/My,c,Rd + Mz,Ed/Mz,c,Rd = 0.66 < 1.00 \quad (6.2.8.(1))$$

$$\sqrt{(\text{Sig},x,Ed^2 + 3*(\text{Tau},y,Ed + \text{Tau},ty,Ed)^2)/fyd,0} = 0.74 < 1.00 \quad (6.1.(2))$$

$$Vy,Ed/Vy,pl,T,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$$

$$Vz,Ed/Vz,pl,T,Rd = 0.11 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$$

$$\text{Tau},ty,Ed/(fyd,0/\sqrt{3}) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$$

$$\text{Tau},tz,Ed/(fyd,0/\sqrt{3}) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$$

*Global stability check of member:*

$$Mef,y,Ed/(XLT*Wy*fyd,1) + Mz,Ed/(Wz*fy,d1) = 0.87 < 1.00 \quad (6.3.4.1.(1))$$

**Section OK !!!**

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 13 ANDENES

### 13.1 Acciones

Las cargas actuantes sobre el andén son:

- Peso propio de la estructura
- Acabados  $2,0 \text{ kN/m}^2$
- Sobrecarga de uso  $5 \text{ kN/m}^2$
- Reacción pilar marquesina en ELU  $131 \text{ kN} / 6 \text{ kNm}$

### 13.2 Dimensionado losa

La carga repartida mayorada es de

$$0,25 \text{ m} * 25 \text{ kN/m}^3 * 1,35 + 2,0 \text{ kN/m}^2 * 1,35 + 5 \text{ kN/m}^2 * 1,5 = 18,6 \text{ kN/m}^2$$

y el momento flector máximo

$$18,6 \text{ kN/m}^2 * (4,75 \text{ m})^2 / 8 = 52,6 \text{ kNm/m}$$

La losa de 25 cm de espesor con un armado de  $\emptyset 12/200$  proporciona un momento resistente  $M_{Rd} = 56,8 \text{ kNm/m}$ .

### 13.1 Dimensionado viga apoyo marquesina

La carga repartida mayorada es de

$$18,6 \text{ kN/m}^2 * 4,8 \text{ m} = 89,5 \text{ kN/m}$$

y el momento flector máximo

$$89,5 \text{ kN/m} * (4,75 \text{ m})^2 / 8 + 131 \text{ kN} * 4,75 \text{ m} / 4 + 6 \text{ kNm} / 2 = 411 \text{ kNm}$$

y un cortante máximo de

$$89,5 \text{ kN/m} * 4,75 \text{ m} / 2 + 131 \text{ kN} * 2 / 3 + 6 \text{ kNm} / 4,75 \text{ m} / 2 = 314 \text{ kN}$$

Se dispone una viga de 50 cm de descuelgue con un ancho de 30 cm con armado de  $4\emptyset 20$  y estribos  $\emptyset 10/150$ .

## 14 CONTENCIÓN PROVISIONAL

### 14.1 Situación

Durante la primera fase de la obra el trayecto del ferrocarril se desplaza fuera de su trazado actual para poder construir la nueva estación. Las vías se encuentran en esta fase en coronación de la contención provisional mediante tablestacas ancladas. En el perímetro de la excavación se producen además otras situaciones.

Los casos estudiados son:

- Contención anclada con tráfico ferroviario.
- Contención anclada sin tráfico ferroviario con sobrecarga de  $10 \text{ kN/m}^2$ .
- Contención anclada del depósito.
- Contención sin anclajes con talud del relleno de  $30^\circ$  en coronación.

En todos los casos la profundidad de las tablestacas no está condicionada por la estabilidad sino para minimizar la entrada de agua subterránea durante el bombeo.

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 14.2 Contención anclada con tráfico ferroviario (situación 1)

### 14.2.1 Anclajes

Se disponen anclajes de dos cordones con una separación de 2,40 m entre ellos con una carga de tesado de 340 kN.

La comprobación frente al arrancamiento del bulbo requiere 8 m de longitud en base a un valor del ensayo SPT de 10 (figura 23 del estudio geotécnico [1]). La tensión límite  $a_{lim}$  de 0,10 MPa (figura 3.2 de la referencia [18]) requiere para ello un proceso de inyección repetitiva o repetitiva y selectiva.

#### GUÍA PARA EL DISEÑO Y LA EJECUCIÓN DE ANCLAJES AL TERRENO EN OBRAS DE CARRETERA

(MINISTERIO DE FOMENTO 2003)

##### DATOS CORDÓN

Diámetro cordón	$\varnothing = 0.60$	["]
Sección cordón	$A = 140$	[mm <sup>2</sup> ]
Carga unitaria máxima	$f_{m\acute{a}x} = 1860$	[MPa]
Carga de rotura cordón	$F_m = 260$	[kN]
Carga límite elástico	$F_{p0,1} = 229$	[kN]

##### RESISTENCIA DE DISEÑO CORDÓN

Coefficiente de seguridad rotura acero (anclaje provisional)	$\gamma_1 = 1.25$	[-]
Coefficiente de seguridad límite elástico (anclaje provisional)	$\gamma_2 = 1.10$	[-]
Resistencia de diseño cordón	$F_{Rd} = 208$	[kN]

##### RESISTENCIA DE CÁLCULO ANCLAJE

Coefficiente de mayoración	$F_1 = 1.20$	[-]
Número de cordones	$n^o = 2$	[-]
Carga nominal mayorada maxima anclaje provisional	$P_{Nd} = n^o \cdot F_{Rd} = 416$	[kN]
Carga nominal maxima anclaje provisional	$P_N = P_{Nd} / F_1 = 347$	[kN]

##### COMPROBACIÓN BULBO

Diámetro nominal del bulbo	$D_N = 0.20$	[m]
Adherencia límite <i>Figura 3.2</i>	$a_{lim} = 0.10$	[MPa]
Coefficiente seguridad obra provisional	$F_3 = 1.45$	[-]
Adherencia admisible	$a_{adm} = 0.07$	[MPa]
Longitud de cálculo del bulbo	$L_b = 9.6$	[m]

### 14.2.2 Modelo de cálculo

#### 14.2.2.1 Generalidades

Se ha utilizado un modelo de deformación plana mediante el programa Plaxis 2D [23].

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



#### 14.2.2.2 Geometría

Según la geometría del desvío provisional el eje de la vía queda en su punto más próximo a 5,5 m del paramento exterior de los muros de contención de la estación. Con una previsión de 2m para el espacio de trabajo más el espacio que ocupan los anclajes y las tablestacas se sitúa el eje a 3,5 m de las mismas.

El salto de altura considerado es entre las cotas 5,65 y 0,55, es decir 5,1 m.

Nivel	Cota [m]
Cota relleno (vía provisional)	+5,65
Cota anclajes	+4,65
Cota excavación ejecución anclajes	+4,15
Cota agua relleno	+2,35
Cota excavación (foso ascensor)	+0,35
Cota agua excavación (encepado -0,20 m)	-0,45
Profundidad tablestacas (longitud 12 m)	-6,35

#### 14.2.2.3 Cargas

Las cargas del tren de cargas verticales UIC71 (IAPF) definidas en 9.4.2 se convierten en cargas lineales para el modelo plano, es decir de la carga puntual de  $0,91 \cdot 250 \text{ kN} / 2$  aplicada en 1,60 m se obtiene 71,1 kN/m. No se ha aplicado ningún coeficiente de impacto en este caso.

#### 14.2.2.4 Terreno

El terreno se modeliza mediante un modelo Mohr-Coulomb con un módulo elástico de 20 MPa y un ángulo de fricción de  $32^\circ$ . y un peso específico de  $18 \text{ kN/m}^3$  (sumergido  $20 \text{ kN/m}^3$ ). El ángulo de rozamiento entre muro y terreno aplicado es de  $2/3 \cdot 32^\circ$ .

#### 14.2.2.5 Deformaciones admisibles

A falta de un criterio apropiado establecido normativamente se ha limitado las deformaciones de la manera siguiente. Para vías sobre balasto la *Instrucción para el Proyecto y Construcción de Obras Ferroviarias IF-3* [20] admite la construcción sobre una explanada constituida por suelos de clase QS 1. Para esta clase de suelo se exige un módulo mínimo de 12,5 MPa (figura 2, p.15).

Sobre un suelo de estas características y con las cargas del proyecto se obtiene una deformación máxima de 21,9 mm:

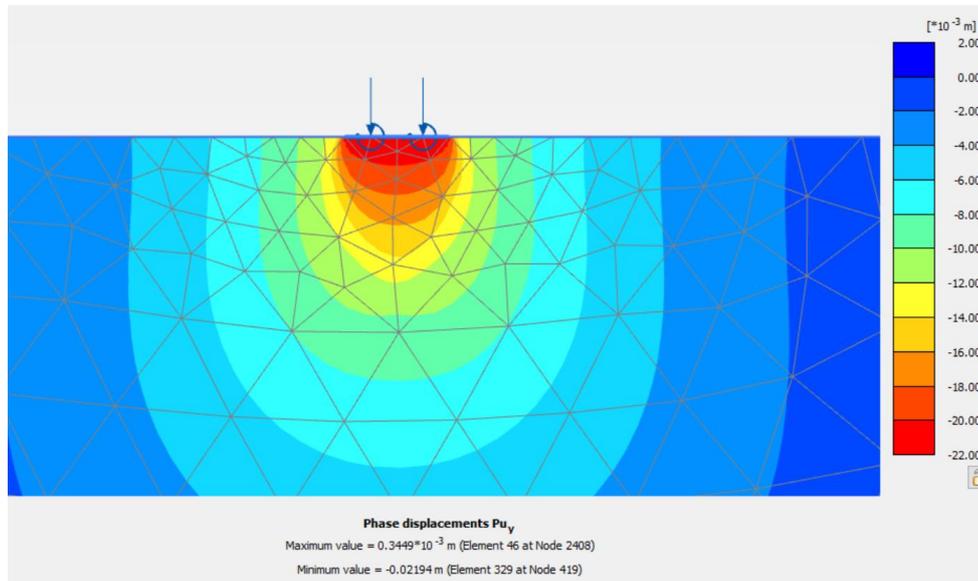


Figura 81.- Deformación modelo referencia

Los anclajes de la contención se dimensionan de tal manera que no se sobrepasa este valor en el modelo. Para poder ajustar la velocidad de los trenes en la vía provisional a los valores admisibles, será necesario efectuar las mediciones y comprobaciones in situ correspondientes.

#### 14.2.2.6 Resultados deformaciones

Los resultados muestran una deformación vertical de 20,2 mm con una deformación diferencial entre railes de 1,28 mm (cargas del UIC70 sin coeficiente de impacto como descrito más arriba).

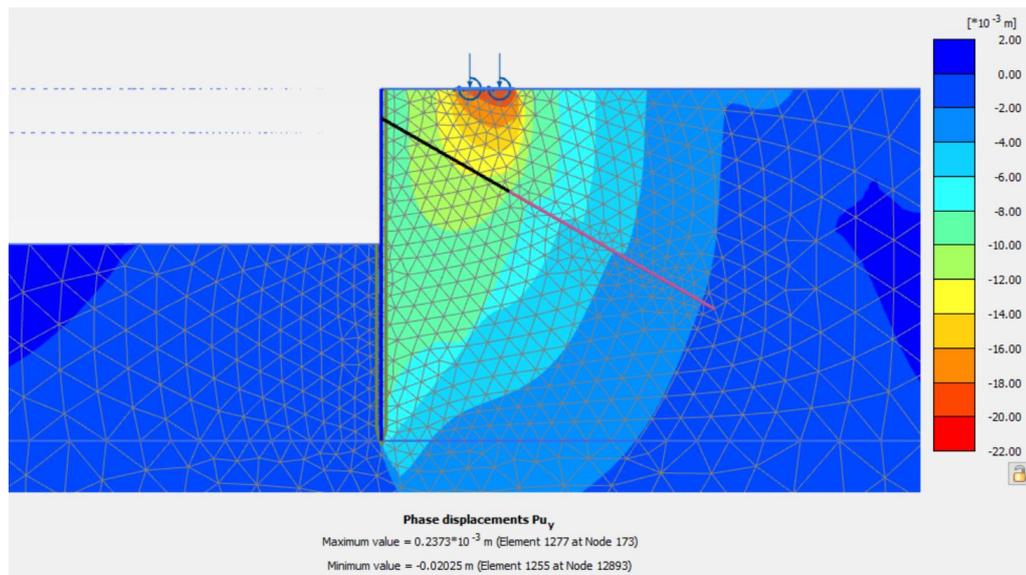


Figura 82.- Deformaciones verticales situación 1

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 14.2.3 Estabilidad global

El coeficiente de seguridad global que resulta disminuyendo la resistencia del terreno es de 1,665. En situaciones transitorias se suele exigir un valor mínimo de 1,30.

### 14.2.4 Tablestacas

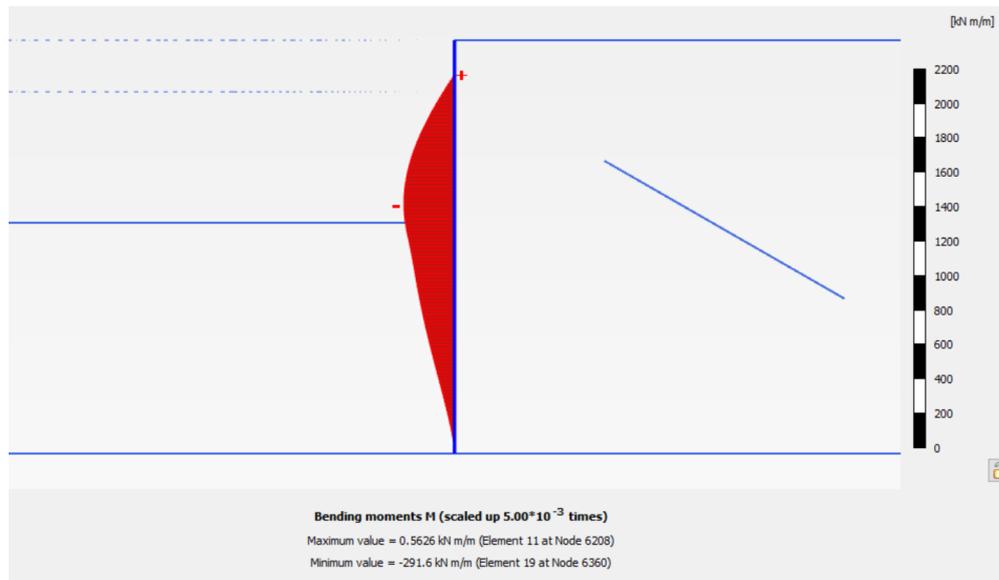


Figura 83.- Momento flector situación 1

El momento flector máximo obtenido es de 291,6 kNm/m y con mayoración resultan 396,5 kNm/m. Para un perfil AZ12 (S355) se obtiene:

$$\sigma_{sd} = \frac{M_{sd}}{W_y} = \frac{396,5 \text{ kNm/m} \cdot 100}{1200 \text{ cm}^3/\text{m}} = 33,0 \text{ kN/cm}^2 \leq f_{yd} = 35,5/1,05 = 33,81 \text{ kN/cm}^2$$

### 14.2.5 Viga de reparto

Se coloca dos UPN 300 en calidad S275JR.

$$M_{sd} = 0,1 \cdot A_{sd} \cdot a^2 = 0,1 \cdot 416 \text{ kN} \cdot (2,4\text{m})^2 = 239,8 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{M_{sd}}{W_y} = \frac{239,8 \text{ kNm/m} \cdot 100}{2 \cdot 535 \text{ cm}^3/\text{m}} = 22,4 \text{ kN/cm}^2 \leq f_{yd} = 27,5/1,05 = 26,2 \text{ kN/cm}^2$$

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 14.3 Contención anclada sin tráfico ferroviario (situación 2)

Esta situación corresponde a la anterior, únicamente se sustituye la carga del tren por una sobrecarga uniforme de 10 kN/m<sup>2</sup>. Los anclajes se colocan con una separación de 3,0 m.

#### 14.3.1 Deformaciones

Las deformaciones totales máximas son de 2,0 cm.

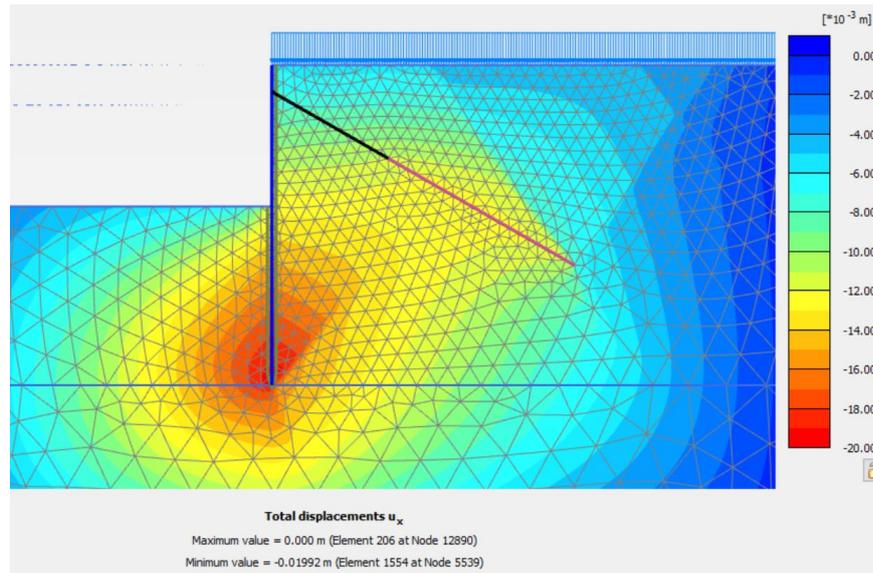


Figura 84.- Deformaciones situación 2

#### 14.3.2 Estabilidad global

El coeficiente de seguridad global que resulta al disminuir la resistencia del terreno es de 1,83.

#### 14.3.3 Tablestacas

El momento flector máximo obtenido es de 250,9 kNm/m, menor que en el caso anterior.

#### 14.3.4 Viga de reparto

Al separar los anclajes, el perfil necesario pasa a ser 2xUPN 350.

**VIGA DE REPARTO**

Separación entre anclajes

a = 3.0 [m]

Momento flector

$M_{Sd} = 374.7$  [kNm]

Modulo resistente sección

$W_{el} = 1468.0$  [cm<sup>3</sup>]

Tensión máxima

$\sigma_{Sd} = 255$  [MPa]

Resistencia acero

$f_{yd} = 262$  [MPa]

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 14.4 Contención anclada depósito (situación 3)

Se estudia la situación anclada con una sobrecarga sobre el relleno horizontal de  $10 \text{ kN/m}^2$ . Los anclajes se separan 2,60 m.

Las cotas consideradas son:

Nivel	Cota [m]
Cota relleno (cota actual)	+5,65
Cota superior tablestacas (talud de 30°)	+3,40
Cota anclajes	+2,40
Cota agua relleno	+2,35
Cota excavación ejecución anclajes	+1,90
Cota excavación	-1,15
Cota agua excavación	-1,25
Profundidad tablestacas (longitud 12m)	-6,35

### 14.4.1 Deformación

La deformación horizontal total máxima en coronación de las tablestacas obtenidas con el modelo Mohr-Coulomb es de 2,57 cm.

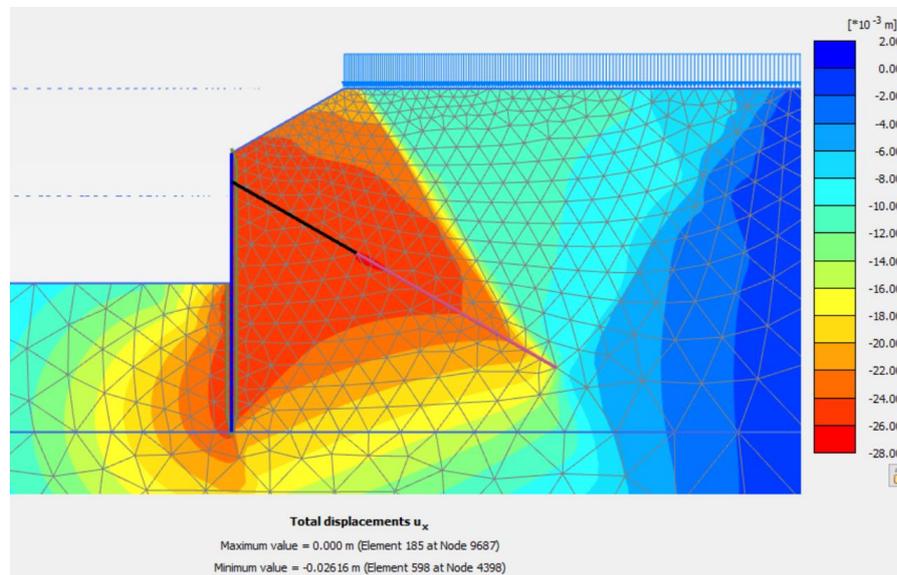


Figura 85.- Deformaciones situación 3

### 14.4.2 Estabilidad global

El coeficiente de seguridad global que resulta al disminuir la resistencia del terreno es de 1,368.

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 14.4.3 Tablestacas

El momento flector máximo obtenido es de 212,1 kNm/m, menor que en el caso del muro anclado.

### 14.5 Contención sin anclajes (situación 4)

Se estudia la situación anterior sin anclajes y con una sobrecarga sobre el relleno horizontal de 10 kN/m<sup>2</sup> para la evaluación de la estabilidad. El máximo desnivel entre el fondo de la excavación y la coronación de las tablestacas es de 2,75 m.

Las cotas consideradas son:

Nivel	Cota [m]
Cota relleno (cota actual)	+5,65
Cota superior tablestacas (talud de 30°)	+3,40
Cota agua relleno	+2,35
Cota excavación (losa fondo)	+0,65
Cota agua excavación	-0,45
Profundidad tablestacas (longitud 12m)	-6,35

#### 14.5.1 Deformación

Las deformaciones horizontales totales en coronación de las tablestacas son de 3,5 cm.

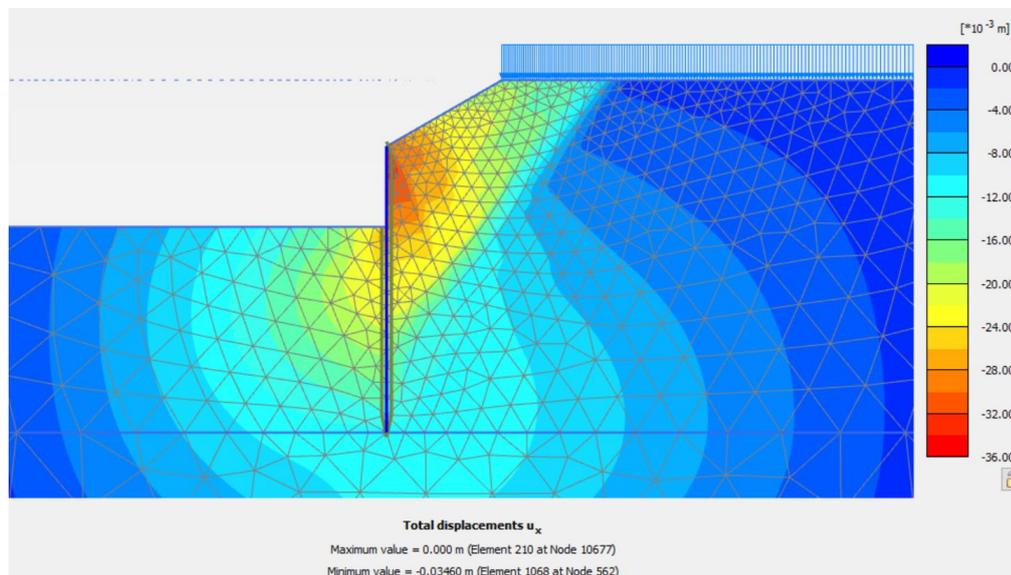


Figura 86.- Deformaciones situación 4

#### 14.5.2 Estabilidad global

El coeficiente de seguridad global que resulta al disminuir la resistencia del terreno es de 1,35.

#### 14.5.3 Tablestacas

El momento flector máximo obtenido es de 246,4 kNm/m, menor que en el caso del muro anclado.

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## ANEXO 1 - COMPROBACIÓN ENCEPADOS

En este anexo se incluye la comprobación de los encepados según el programa de la referencia [24].

### 1. Encepado de un pilote

#### 1.- CANTO MÍNIMO DEL ENCEPADO

El canto total mínimo en el borde de los elementos de cimentación de hormigón armado no será inferior a 25 cm si se apoyan sobre el terreno, ni a 40 cm si se trata de encepados sobre pilotes. Además, en este último caso el espesor no será, en ningún punto, inferior al diámetro del pilote (EHE-08, 58.8.1).

$$900.0 \text{ mm} \geq 800.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

**h**: Canto total. **h** : 900.0 mm

**h<sub>min</sub>**: Canto total mínimo. Se calcula como el mayor de los siguientes valores: **h<sub>min</sub>** : 800.0 mm

**h<sub>min,1</sub>** : 400.0 mm

**h<sub>min,2</sub>** : 800.0 mm

Siendo:

**a**: Mayor dimensión de la sección del pilote. **a** : 800.0 mm

#### 2.- VUELO LIBRE MÍNIMO DEL ENCEPADO

La distancia existente entre cualquier punto del perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado no será inferior a 25 cm (EHE-08, 58.8.1).

$$400.0 \text{ mm} \geq 250.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

**v**: Distancia existente entre el perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado. **v** : 400.0 mm

**v<sub>min</sub>**: Distancia mínima entre el perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado. **v<sub>min</sub>** : 250.0 mm

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 3.- DIMENSIONES MÍNIMAS DE LOS PILOTES

Los pilotes ejecutados en obra deberán tener su dimensión mínima mayor o igual a 25 cm (EHE-08, 58.6).

$$800.0 \text{ mm} \geq 250.0 \text{ mm} \checkmark$$

Donde:

**a**: Dimensión del pilote.

$$a : \underline{800.0} \text{ mm}$$

**a<sub>min</sub>**: Dimensión mínima del pilote.

$$a_{\min} : \underline{250.0} \text{ mm}$$

### 4.- DISTANCIA LIBRE MÍNIMA ENTRE BARRAS PARALELAS

La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a  $a_{\min}$  (EHE-08, 69.4.1.1):

$$84.6 \text{ mm} \geq 25.0 \text{ mm} \checkmark$$

El resultado pésimo se produce para las barras del siguiente grupo: Estribos xy.

Donde:

**a**: Distancia libre.

$$a : \underline{84.6} \text{ mm}$$

**a<sub>min</sub>**: Distancia mínima libre, obtenida como el mayor de los siguientes valores:

$$a_{\min} : \underline{25.0} \text{ mm}$$

$$a_1 : \underline{20.0} \text{ mm}$$

$$a_2 : \underline{25.0} \text{ mm}$$

$$a_3 : \underline{16.0} \text{ mm}$$

Siendo:

$\emptyset$ : Diámetro de la barra.

$$\emptyset : \underline{16.0} \text{ mm}$$

**d<sub>a</sub>**: Tamaño máximo del árido.

$$d_a : \underline{20.0} \text{ mm}$$

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



## 5.- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE CENTROS DE BARRAS PARALELAS

La armadura dispuesta en las caras superior, inferior y laterales no distará más de 30 cm (EHE-08, 58.8.2).

$$198.9 \text{ mm} \leq 300.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

El resultado pésimo se produce para las barras del siguiente grupo: Estribos xz.

Donde:

**s**: Espaciamiento.

$$s : 198.9 \text{ mm}$$

**s<sub>max</sub>**: Espaciamiento máximo.

$$s_{\max} : 300.0 \text{ mm}$$

## 6.- RECUBRIMIENTOS

La instrucción establece unos recubrimientos mínimos de hormigón en función de la resistencia del mismo y de la clase de exposición (EHE-08, 37.2.4).

$$80.0 \text{ mm} \geq 80.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

**c**: Recubrimiento.

$$c : 80.0 \text{ mm}$$

**r<sub>nom</sub>**: Recubrimiento nominal.

$$r_{\text{nom}} : 80.0 \text{ mm}$$

Siendo:

**r<sub>min</sub>**: Recubrimiento mínimo.

$$r_{\text{min}} : 70.0 \text{ mm}$$

**Δr**: Margen de recubrimiento del hormigón, en función del nivel de control de ejecución.

$$\Delta r : 10.0 \text{ mm}$$

Para cualquier clase de armaduras pasivas (incluso estribos) o armaduras activas pretensas, el recubrimiento no será, en ningún punto, inferior a los valores mínimos recogidos en las tablas 37.2.4.1.a, 37.2.4.1.b y 37.2.4.1.c ( $r_{\text{min},1}$ ).

Cuando se trate de superficies límites de hormigonado que en situación definitiva queden embebidas en la masa del hormigón, el recubrimiento no será menor que el diámetro de la barra o diámetro equivalente cuando se trate de grupo de barras ( $r_{\text{min},2}$ ), ni que 0,8 veces el tamaño máximo del árido ( $r_{\text{min},3}$ ).

En piezas hormigonadas contra el terreno, el recubrimiento mínimo será 70 mm ( $r_{\text{min},4}$ ), salvo que se haya preparado el terreno y dispuesto un hormigón de limpieza.

Siendo:

**Clase de exposición:** IIa

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



$f_{ck}$ : Resistencia característica del hormigón.

$f_{ck}$  : 35.00 N/mm<sup>2</sup>

$t_g$ : Vida útil de proyecto, en años.

$t_g$  : 50 años

$d_a$ : Tamaño máximo del árido.

$d_a$  : 20.0 mm

Cara	$r_{min,1}$ (mm)	$r_{min,2}$ (mm)	$r_{min,3}$ (mm)	$r_{min,4}$ (mm)	$r_{min}$ (mm)	$\Delta r$ (mm)	$r_{nom}$ (mm)	c (mm)	Cumple
Superior	15.0	16.0	16.0	-	16.0	10.0	26.0	80.0	✓
Inferior	15.0	16.0	16.0	-	16.0	10.0	26.0	100.0	✓
<b>Lateral</b>	<b>15.0</b>	<b>16.0</b>	<b>16.0</b>	<b>70.0</b>	<b>70.0</b>	<b>10.0</b>	<b>80.0</b>	<b>80.0</b>	✓

## 7.- ARMADURAS TRANSVERSALES

Los tirantes  $T_d$  indicados en la figura 61.1.b se dimensionarán para la tracción de cálculo indicada en las siguientes expresiones (EHE-08, 61.3).

$$965.08 \text{ kN} \geq 138.25 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$965.08 \text{ kN} \geq 138.25 \text{ kN} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM+1.6·Qa.

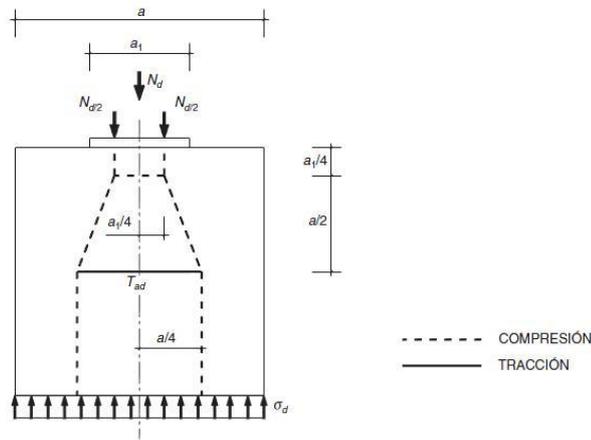
$$T_{ad} : \underline{138.25} \text{ kN}$$

en sentido paralelo a  $a$ , y

$$T_{bd} : \underline{138.25} \text{ kN}$$

en sentido paralelo a  $b$ , con  $f_{yd} \leq 400 \text{ N/mm}^2$  (apartado 40.2)

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



$f_{yd} : 400.00 \text{ N/mm}^2$

$N_d : 4424.00 \text{ kN}$

$a : 800.0 \text{ mm}$

$b : 800.0 \text{ mm}$

$a_1 : 700.0 \text{ mm}$

$b_1 : 700.0 \text{ mm}$

$A_s : 2412.7 \text{ mm}^2$

## 8.- CAPACIDAD PORTANTE DEL PILOTE

Se debe satisfacer:

Donde:

$N_{Ed,s}$ : Esfuerzo normal máximo en servicio.

$N_{Rd,s}$ : Axil máximo resistido.

Situación	Combinación de acciones	$N_{Ed,s}$ (kN)	$N_{Rd,s}$ (kN)	Cumple
Persistentes o transitorias	PP+CM+Qa	2821.51	5000.00	✓

## 2. Encepado de dos pilotes

### 1.- CANTO MÍNIMO DEL ENCEPADO

El canto total mínimo en el borde de los elementos de cimentación de hormigón armado no será inferior a 25 cm si se apoyan sobre el terreno, ni a 40 cm si se trata de encepados sobre pilotes. Además, en este último caso el espesor no será, en ningún punto, inferior al diámetro del pilote (EHE-08, 58.8.1).

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



$$1550.0 \text{ mm} \geq 800.0 \text{ mm} \checkmark$$

Donde:

**h**: Canto total.

$$h : \underline{1550.0} \text{ mm}$$

**h<sub>min</sub>**: Canto total mínimo. Se calcula como el mayor de los siguientes valores:

$$h_{\min} : \underline{800.0} \text{ mm}$$

$$h_{\min,1} : \underline{400.0} \text{ mm}$$

$$h_{\min,2} : \underline{800.0} \text{ mm}$$

Siendo:

**a**: Mayor dimensión de la sección del pilote.

$$a : \underline{800.0} \text{ mm}$$

## 2.- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE EL PILOTE Y EL ARRANQUE

Dentro del grupo de cimentaciones rígidas se encuentran los encepados cuyo vuelo 'v' en la dirección principal de mayor vuelo es menor que '2·h' (EHE-08, 58.2.1).

$$850.0 \text{ mm} \leq 3100.0 \text{ mm} \checkmark$$

Donde:

**h**: Canto total.

$$h : \underline{1550.0} \text{ mm}$$

**v<sub>max</sub>**: Mayor distancia entre el perímetro del pilar y el eje del pilote.

$$v_{\max} : \underline{850.0} \text{ mm}$$

## 3.- VUELO LIBRE MÍNIMO DEL ENCEPADO

La distancia existente entre cualquier punto del perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado no será inferior a 25 cm (EHE-08, 58.8.1).

$$400.0 \text{ mm} \geq 250.0 \text{ mm} \checkmark$$

Donde:

**v**: Distancia existente entre el perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado.

$$v : \underline{400.0} \text{ mm}$$

**v<sub>min</sub>**: Distancia mínima entre el perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado.

$$v_{\min} : \underline{250.0} \text{ mm}$$

#### 4.- DIMENSIONES MÍNIMAS DE LOS PILOTES

Los pilotes ejecutados en obra deberán tener su dimensión mínima mayor o igual a 25 cm (EHE-08, 58.6).

$$800.0 \text{ mm} \geq 250.0 \text{ mm} \checkmark$$

Donde:

**a**: Dimensión del pilote.

$$a : \underline{800.0} \text{ mm}$$

**a<sub>min</sub>**: Dimensión mínima del pilote.

$$a_{\min} : \underline{250.0} \text{ mm}$$

#### 5.- DIÁMETRO MÍNIMO DE LA ARMADURA LONGITUDINAL

Se recomienda que el diámetro de las armaduras a disponer en un elemento de cimentación no sea inferior a 12 mm (EHE-08, 58.8.2).

$$16.0 \text{ mm} \geq 12.0 \text{ mm} \checkmark$$

El resultado pésimo se produce para las barras del siguiente grupo: Viga - Armadura superior.

Donde:

**Ø**: Diámetro de la barra.

$$\text{Ø} : \underline{16.0} \text{ mm}$$

**Ø<sub>min</sub>**: Diámetro mínimo de la barra.

$$\text{Ø}_{\min} : \underline{12.0} \text{ mm}$$

#### 6.- DISTANCIA LIBRE MÍNIMA ENTRE BARRAS PARALELAS

La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a **a<sub>min</sub>** (EHE-08, 69.4.1.1):

$$47.4 \text{ mm} \geq 25.0 \text{ mm} \checkmark$$

El resultado pésimo se produce para las barras del siguiente grupo: Viga - Armadura inferior.

Donde:

**a**: Distancia libre.

$$a : \underline{47.4} \text{ mm}$$

**a<sub>min</sub>**: Distancia mínima libre, obtenida como el mayor de los siguientes valores:

$$a_{\min} : \underline{25.0} \text{ mm}$$

$$a_1 : \underline{20.0} \text{ mm}$$

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA

 $a_2 : 25.0 \text{ mm}$  $a_3 : 25.0 \text{ mm}$ 

Siendo:

$\emptyset$ : Diámetro de la barra.

 $\emptyset : 25.0 \text{ mm}$ 

$d_a$ : Tamaño máximo del árido.

 $d_a : 20.0 \text{ mm}$ 

## 7.- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE CENTROS DE BARRAS PARALELAS

La armadura dispuesta en las caras superior, inferior y laterales no distará más de 30 cm (EHE-08, 58.8.2).

**276.8 mm  $\leq$  300.0 mm** ✓

El resultado pésimo se produce para las barras del siguiente grupo: Viga - Armadura superior.

Donde:

$s$ : Espaciamiento.

 $s : 276.8 \text{ mm}$ 

$s_{\max}$ : Espaciamiento máximo.

 $s_{\max} : 300.0 \text{ mm}$ 

## 8.- CUANTÍA GEOMÉTRICA MÍNIMA DE LOS ESTRIBOS HORIZONTALES

En los encepados sobre dos pilotes se debe adoptar una armadura horizontal y vertical dispuesta en retícula en las caras laterales. La cuantía de estas armaduras, referida al área de la sección de hormigón perpendicular a su sección, será, como mínimo, de 0.0040. Si el ancho supera la mitad del canto, la sección de referencia se toma con un ancho igual a la mitad del canto (EHE-08, Artículo 58.4.1.2.1.2). Aunque este artículo no sería estrictamente aplicable en este caso, se considera que esta limitación también se debe aplicar a los encepados lineales sobre varios pilotes, dado que, tal como se indica en los comentarios al artículo, esta armadura está prevista para absorber las posibles excentricidades que se pueden producir en el encepado, por un desplazamiento accidental de los pilotes con respecto a su posición teórica, o por la presencia de un momento flector transversal en el pilar.

**0.0042  $\geq$  0.0040** ✓

Donde:

$\rho$ : Cuantía geométrica.

 $\rho : 0.0042$

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Siendo:

$A_s$ : Área de la sección de la armadura.

$A_s$  : 5026.6 mm<sup>2</sup>

$A_c$ : Área de la sección del hormigón.

$A_c$  : 1201250.0 mm<sup>2</sup>

$\rho_{min}$ : Cuantía geométrica mínima.

$\rho_{min}$  : 0.0040

## 9.- CUANTÍA GEOMÉTRICA MÍNIMA DE LOS ESTRIBOS VERTICALES

En los encepados sobre dos pilotes se debe adoptar una armadura horizontal y vertical dispuesta en retícula en las caras laterales. La cuantía de estas armaduras, referida al área de la sección de hormigón perpendicular a su sección, será, como mínimo, de 0.0040. Si el ancho supera la mitad del canto, la sección de referencia se toma con un ancho igual a la mitad del canto (EHE-08, Artículo 58.4.1.2.1.2). Aunque este artículo no sería estrictamente aplicable en este caso, se considera que esta limitación también se debe aplicar a los encepados lineales sobre varios pilotes, dado que, tal como se indica en los comentarios al artículo, esta armadura está prevista para absorber las posibles excentricidades que se pueden producir en el encepado, por un desplazamiento accidental de los pilotes con respecto a su posición teórica, o por la presencia de un momento flector transversal en el pilar.

**0.0053  $\geq$  0.0040 ✓**

Donde:

$\rho$ : Cuantía geométrica.

$\rho$  : 0.0053

Siendo:

$A_s$ : Área de la sección de la armadura.

$A_s$  : 16336.3 mm<sup>2</sup>

$A_c$ : Área de la sección del hormigón.

$A_c$  : 3100000.0 mm<sup>2</sup>

$\rho_{min}$ : Cuantía geométrica mínima.

$\rho_{min}$  : 0.0040

## 10.- RECUBRIMIENTOS

La instrucción establece unos recubrimientos mínimos de hormigón en función de la resistencia del mismo y de la clase de exposición (EHE-08, 37.2.4).

**80.0 mm  $\geq$  80.0 mm ✓**

Donde:

$c$ : Recubrimiento.

$c$  : 80.0 mm

$r_{nom}$ : Recubrimiento nominal.

$r_{nom}$  : 80.0 mm

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Siendo:

$r_{min}$ : Recubrimiento mínimo.

$r_{min}$  : 70.0 mm

$\Delta r$ : Margen de recubrimiento del hormigón, en función del nivel de control de ejecución.

$\Delta r$  : 10.0 mm

Para cualquier clase de armaduras pasivas (incluso estribos) o armaduras activas pretesas, el recubrimiento no será, en ningún punto, inferior a los valores mínimos recogidos en las tablas 37.2.4.1.a, 37.2.4.1.b y 37.2.4.1.c ( $r_{min,1}$ ).

Cuando se trate de superficies límites de hormigonado que en situación definitiva queden embebidas en la masa del hormigón, el recubrimiento no será menor que el diámetro de la barra o diámetro equivalente cuando se trate de grupo de barras ( $r_{min,2}$ ), ni que 0,8 veces el tamaño máximo del árido ( $r_{min,3}$ ).

En piezas hormigonadas contra el terreno, el recubrimiento mínimo será 70 mm ( $r_{min,4}$ ), salvo que se haya preparado el terreno y dispuesto un hormigón de limpieza.

Siendo:

**Clase de exposición:** IIa

$f_{ck}$ : Resistencia característica del hormigón.

$f_{ck}$  : 35.00 N/mm<sup>2</sup>

$t_g$ : Vida útil de proyecto, en años.

$t_g$  : 50 años

$d_a$ : Tamaño máximo del árido.

$d_a$  : 20.0 mm

Cara	$r_{min,1}$ (mm)	$r_{min,2}$ (mm)	$r_{min,3}$ (mm)	$r_{min,4}$ (mm)	$r_{min}$ (mm)	$\Delta r$ (mm)	$r_{nom}$ (mm)	c (mm)	Cumple
Superior	15.0	20.0	16.0	-	20.0	10.0	30.0	80.0	✓
Inferior	15.0	20.0	16.0	-	20.0	10.0	30.0	100.0	✓
<b>Lateral</b>	<b>15.0</b>	<b>20.0</b>	<b>16.0</b>	<b>70.0</b>	<b>70.0</b>	<b>10.0</b>	<b>80.0</b>	<b>80.0</b>	✓

## 11.- CAPACIDAD MECÁNICA DE LA ARMADURA SUPERIOR

Se dispondrá una armadura longitudinal dispuesta en la cara superior del encepado y extendida, sin escalonar, en toda la longitud del mismo. Su capacidad mecánica no será inferior a 1/10 de la capacidad mecánica de la armadura inferior (EHE-08, 58.4.1.2.1.2).

**482.56 kN ≥ 235.62 kN ✓**

Donde:

$A_{s,inf}$ : Área de la sección de la armadura, situada en la cara inferior del encepado.

$A_{s,inf}$  : 5890.6 mm<sup>2</sup>

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



$A_{s,sup}$ : Área de la sección de la armadura, situada en la cara superior del encepado.

$A_{s,sup}$  : 1206.4 mm<sup>2</sup>

Se considerará como resistencia de cálculo del acero  $f_{yd}$  el valor (EHE-08, 38.3):

$f_{yd}$  : 400.00 N/mm<sup>2</sup>

$f_{yk}$ : Límite elástico característico

$f_{yk}$  : 500.00 N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_s$ : Coeficiente parcial de seguridad definido en el Artículo 15°

$\gamma_s$  : 1.15

## 12.- LONGITUD DE ANCLAJE

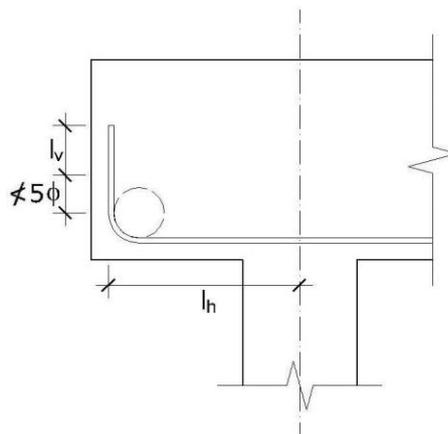
Para barras con patilla se debe cumplir (EHE-08, 69.5):

**962.5 mm  $\geq$  473.2 mm ✓**

Donde:

$l_{disp}$ : Longitud de anclaje disponible.

$l_{disp}$  : 962.5 mm



$l_{b,neta}$ : Longitud neta de anclaje.

$l_{b,neta}$  : 473.2 mm

Siendo:

$l_{bI}$ : Longitud básica de anclaje (Para barras en posición I)

$l_{bI}$  : 812.5 mm

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Donde:

$\emptyset$ : Diámetro de la barra.

$\emptyset$  : 25.0 mm

**m**: Coeficiente numérico, con los valores indicados en la tabla 69.5.1.2.a en función del tipo de acero, obtenido a partir de los resultados experimentales realizados con motivo del ensayo de adherencia de las barras.

**m** : 1.3

**f<sub>yk</sub>**: Límite elástico garantizado del acero.

**f<sub>yk</sub>** : 500.00 N/mm<sup>2</sup>

**β**: Factor de reducción definido en la tabla 69.5.1.2.b.

**β** : 0.7

**σ<sub>sd</sub>**: Tensión de trabajo de la armadura que se desea anclar, en la hipótesis de carga más desfavorable, en la sección desde la que se determinará la longitud de anclaje.

**σ<sub>sd</sub>** : 332.82 N/mm<sup>2</sup>

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub>** : 400.00 N/mm<sup>2</sup>

La longitud neta de anclaje definida en 69.5.1.2 y 69.5.1.4 no podrá adoptar valores inferiores al mayor de los tres siguientes:

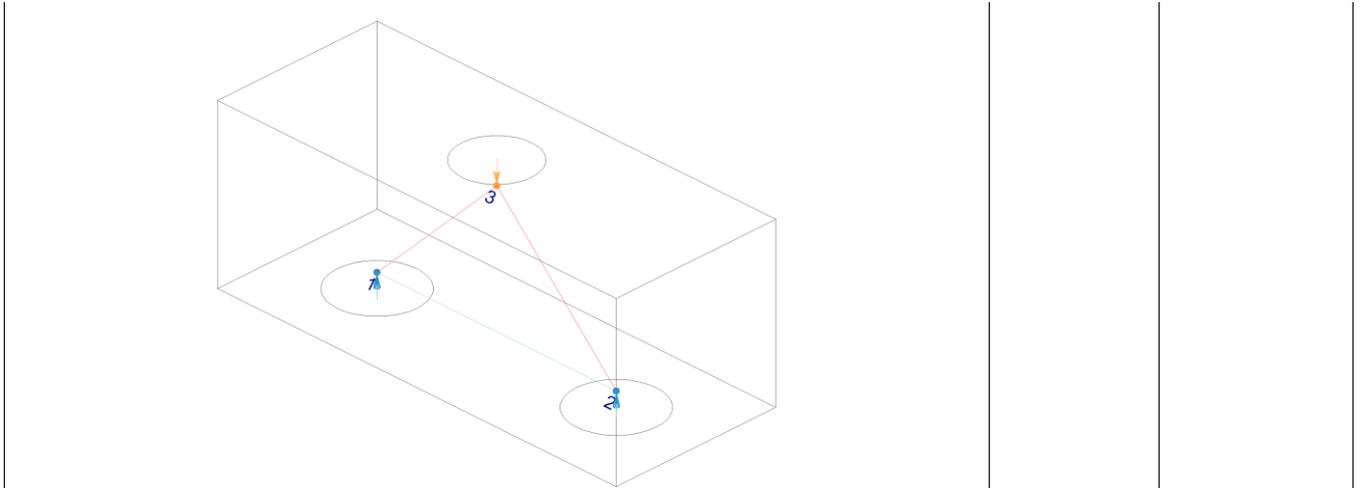
- 10  $\emptyset$ ;
- 150 mm;
- La tercera parte de la longitud básica de anclaje para barras traccionadas y los dos tercios de dicha longitud para barras comprimidas.;

Elemento	m	$\emptyset$ (mm)	f <sub>yk</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	l <sub>b</sub> (mm)	β	σ <sub>sd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>yd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	l <sub>b,net</sub> (mm)	l <sub>disp</sub> (mm)	η	Cumple
<b>1 - 2</b>	<b>1.3</b>	<b>25.0</b>	<b>500.00</b>	<b>812.5</b>	<b>0.7</b>	<b>332.82</b>	<b>400.00</b>	<b>473.2</b>	<b>962.5</b>	<b>0.49</b>	<b>✓</b>

### 13.- AGOTAMIENTO DEL TIRANTE

Modelo de bielas y tirantes asociado a la combinación: "1.6·PP+1.6·CM+1.6·Qa"	
<b>Elemento: 1 - 2</b>	
Nudo inicial	Nudo final
1	2
Reacciones (kN)	Solicitaciones (kN)
R1 = 3280.80 R2 = 3280.80	P1 = 6561.60

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



La tensión calculada en el tirante no ha de superar su capacidad resistente de cálculo (EHE-08, 40.2).

$$332.82 \text{ N/mm}^2 \leq 400.00 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{sd}$ : Tensión calculada en el tirante

$$\sigma_{sd} : \underline{332.82} \text{ N/mm}^2$$

Siendo:

$F_s$ : Fuerza calculada en el elemento

$$F_s : \underline{3267.53} \text{ kN}$$

$A_s$ : Área asignada al elemento

$$A_s : \underline{9817.60} \text{ mm}^2$$

Se considerará como resistencia de cálculo del acero  $f_{yd}$  el valor (EHE-08, 38.3):

$$f_{yd} : \underline{400.00} \text{ N/mm}^2$$

$f_{yk}$ : Límite elástico característico

$$f_{yk} : \underline{500.00} \text{ N/mm}^2$$

$\gamma_s$ : Coeficiente parcial de seguridad definido en el Artículo 15°

$$\gamma_s : \underline{1.15}$$

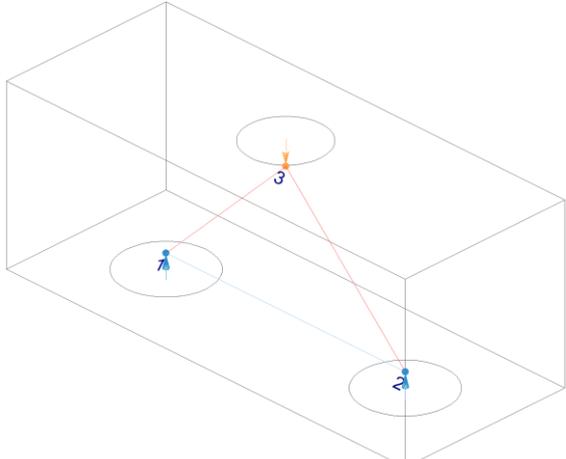
Elemento	$f_{yd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	A. real (mm <sup>2</sup> )	A. nec. (mm <sup>2</sup> )	$F_s$ (kN)	$\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\eta_s$	Cumple
<b>1 - 2</b>	<b>400.00</b>	<b>9817.60</b>	<b>8168.83</b>	<b>3267.53</b>	<b>332.82</b>	<b>0.832</b>	<b>✓</b>

#### 14.- AGOTAMIENTO DE LA BIELA

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Modelo de bielas y tirantes asociado a la combinación: "1.6-PP+1.6-CM+1.6-Qa"

	<b>Elemento: 3 - 2</b>	
	Nudo inicial	Nudo final
	3	2
	Reacciones (kN)	Solicitaciones (kN)
R1 = 3280.80 R2 = 3280.80	P1 = 6561.60	

La compresión en la biela no ha de superar su capacidad (EHE-08, 40.3).

$$13.07 \text{ N/mm}^2 \leq 16.33 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{cd}$ : Tensión calculada en la biela

$$\sigma_{cd} : \underline{13.07} \text{ N/mm}^2$$

Siendo:

$F_c$ : Fuerza calculada en el elemento

$$F_c : \underline{4630.38} \text{ kN}$$

$A_c$ : Área asignada al elemento

$$A_c : \underline{354345.00} \text{ mm}^2$$

$f_{1cd}$ : Capacidad resistente de la biela (EHE-08, 40.3)

$$f_{1cd} : \underline{16.33} \text{ N/mm}^2$$

$\beta$ : Coeficiente de capacidad resistente

$$\beta : \underline{0.70}$$

Se considerará como resistencia de cálculo del hormigón en compresión el valor (EHE-08, 39.4):

$$f_{cd} : \underline{23.33} \text{ N/mm}^2$$

$\alpha_{cc}$ : Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón cuando está sometido a altos niveles de tensión de compresión debido a cargas de larga duración. En esta Instrucción se adopta, con carácter general, el valor  $\alpha_{cc} = 1$ .

$$\alpha_{cc} : \underline{1.00}$$

$f_{ck}$ : Resistencia característica de proyecto

$$f_{ck} : \underline{35.00} \text{ N/mm}^2$$

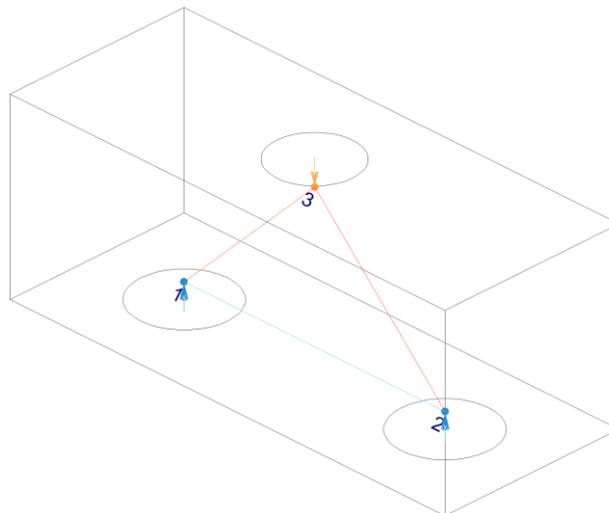
$\gamma_c$ : Coeficiente parcial de seguridad que adopta los valores indicados en el Artículo 15°

$$\gamma_c : \underline{1.50}$$

Elemento	A. real (mm <sup>2</sup> )	A. nec. (mm <sup>2</sup> )	F <sub>c</sub> (kN)	σ <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	η <sub>c</sub>	Cumple
3 - 1	354345.00	283549.91	4630.37	13.07	0.800	✓
<b>3 - 2</b>	<b>354345.00</b>	<b>283550.52</b>	<b>4630.38</b>	<b>13.07</b>	<b>0.800</b>	✓

## 15.- NUDOS

Modelo de bielas y tirantes



Los nudos deben estar concebidos, dimensionados y armados de tal forma que todos los esfuerzos actuantes estén equilibrados y los tirantes convenientemente anclados (EHE-08, 40.4.1).

El dimensionamiento y la disposición de nudos concentrados son críticos para determinar su capacidad resistente (UNE-EN 1992-1-1:2010, 6.5.4(3)).

$$11.93 \text{ N/mm}^2 \leq 16.33 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ<sub>cd</sub>: Tensión de compresión en el hormigón.

$$\sigma_{cd} : \underline{11.93} \text{ N/mm}^2$$

F<sub>cd</sub>: Fuerza que actúa en el nudo (UNE-EN 1992-1-1:2010, 6.5.4).

$$F_{cd} : \underline{4630.37} \text{ kN}$$

A<sub>c</sub>: Área de la sección transversal del hormigón (UNE-EN 1992-1-1:2010, 6.5.4).

$$A_c : \underline{388207.2} \text{ mm}^2$$

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Nudos con tirantes anclados (EHE-08, 40.4.3).

La capacidad resistente a compresión en este tipo de nudos es:

$$f_{2cd} : \underline{16.33} \text{ N/mm}^2$$

Se considerará como resistencia de cálculo del hormigón en compresión el valor (EHE-08, 39.4):

$$f_{cd} : \underline{23.33} \text{ N/mm}^2$$

$\alpha_{cc}$ : Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón cuando está sometido a altos niveles de tensión de compresión debido a cargas de larga duración. En esta Instrucción se adopta, con carácter general, el valor  $\alpha_{cc} = 1$ .

$$\alpha_{cc} : \underline{1.00}$$

$f_{ck}$ : Resistencia característica de proyecto

$$f_{ck} : \underline{35.00} \text{ N/mm}^2$$

$\gamma_c$ : Coeficiente parcial de seguridad que adopta los valores indicados en el Artículo 15°

$$\gamma_c : \underline{1.50}$$

**Nudos multicomprimidos (EHE-08, 40.4.2).**

En nudos que conectan sólo bielas comprimidas:

Elemento	$F_{cd}$ (kN)	$A_c$ (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{2cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Combinación de acciones	Cumple
<b>3 - 1</b>	<b>4630.37</b>	<b>354345.0</b>	<b>13.07</b>	<b>23.33</b>	<b>1.6·PP+1.6·CM+1.6·Qa</b>	✓
3 - 2	4630.38	354345.0	13.07	23.33	1.6·PP+1.6·CM+1.6·Qa	✓

**Nudos con tirantes anclados (EHE-08, 40.4.3).**

La capacidad resistente a compresión en este tipo de nudos es:

Elemento	$F_{cd}$ (kN)	$A_c$ (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{2cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Combinación de acciones	Cumple
<b>1</b>	<b>4630.37</b>	<b>388207.2</b>	<b>11.93</b>	<b>16.33</b>	<b>1.6·PP+1.6·CM+1.6·Qa</b>	✓
2	4630.38	388207.2	11.93	16.33	1.6·PP+1.6·CM+1.6·Qa	✓

**16.- CONSIDERACIONES DEL EFECTO GRUPO**

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



De forma general, para el cálculo de los pilotes, no se considerará el efecto grupo para una separación entre ejes de pilotes igual o mayor a 3 diámetros (CTE DB-SE-C, 5.3.4.1.4).

**2400.0 mm  $\geq$  2400.0 mm** ✓

Separación entre ejes de pilotes : 2400.0 mm

Diámetro del pilote : 800.0 mm

## 17.- CAPACIDAD PORTANTE DEL PILOTE

Se debe satisfacer:

Donde:

**N<sub>Ed,s</sub>**: Esfuerzo normal máximo en servicio.

**N<sub>Rd,s</sub>**: Axil máximo resistido.

Situación	Combinación de acciones	N <sub>Ed,s</sub> (kN)	N <sub>Rd,s</sub> (kN)	Cumple
Persistentes o transitorias	PP+CM+Qa	2172.14	5000.00	✓

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



### 3. Encepado de tres pilotes

#### 1.- CANTO MÍNIMO DEL ENCEPADO

El canto total mínimo en el borde de los elementos de cimentación de hormigón armado no será inferior a 25 cm si se apoyan sobre el terreno, ni a 40 cm si se trata de encepados sobre pilotes. Además, en este último caso el espesor no será, en ningún punto, inferior al diámetro del pilote (EHE-08, 58.8.1).

$$1800.0 \text{ mm} \geq 800.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

**h**: Canto total. **h** : 1800.0 mm

**h<sub>min</sub>**: Canto total mínimo. Se calcula como el mayor de los siguientes valores: **h<sub>min</sub>** : 800.0 mm

**h<sub>min,1</sub>** : 400.0 mm

**h<sub>min,2</sub>** : 800.0 mm

Siendo:

**a**: Mayor dimensión de la sección del pilote. **a** : 800.0 mm

#### 2.- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE EL PILOTE Y EL ARRANQUE

Dentro del grupo de cimentaciones rígidas se encuentran los encepados cuyo vuelo 'v' en la dirección principal de mayor vuelo es menor que '2·h' (EHE-08, 58.2.1).

$$1035.6 \text{ mm} \leq 3600.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

**h**: Canto total. **h** : 1800.0 mm

**v<sub>max</sub>**: Mayor distancia entre el perímetro del pilar y el eje del pilote. **v<sub>max</sub>** : 1035.6 mm

#### 3.- VUELO LIBRE MÍNIMO DEL ENCEPADO

La distancia existente entre cualquier punto del perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado no será inferior a 25 cm (EHE-08, 58.8.1).

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



$$400.0 \text{ mm} \geq 250.0 \text{ mm} \checkmark$$

Donde:

**v**: Distancia existente entre el perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado. **v** : 400.0 mm

**v<sub>min</sub>**: Distancia mínima entre el perímetro del pilote y el contorno exterior de la base del encepado. **v<sub>min</sub>** : 250.0 mm

#### 4.- DIMENSIONES MÍNIMAS DE LOS PILOTES

Los pilotes ejecutados en obra deberán tener su dimensión mínima mayor o igual a 25 cm (EHE-08, 58.6).

$$800.0 \text{ mm} \geq 250.0 \text{ mm} \checkmark$$

Donde:

**a**: Dimensión del pilote. **a** : 800.0 mm

**a<sub>min</sub>**: Dimensión mínima del pilote. **a<sub>min</sub>** : 250.0 mm

#### 5.- DIÁMETRO MÍNIMO DE LA ARMADURA LONGITUDINAL

Se recomienda que el diámetro de las armaduras a disponer en un elemento de cimentación no sea inferior a 12 mm (EHE-08, 58.8.2).

$$16.0 \text{ mm} \geq 12.0 \text{ mm} \checkmark$$

El resultado pésimo se produce para las barras del siguiente grupo: Parrilla superior - Barras paralelas X.

Donde:

**Ø**: Diámetro de la barra. **Ø** : 16.0 mm

**Ø<sub>min</sub>**: Diámetro mínimo de la barra. **Ø<sub>min</sub>** : 12.0 mm

#### 6.- DISTANCIA LIBRE MÍNIMA ENTRE BARRAS PARALELAS

La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a **a<sub>min</sub>** (EHE-08, 69.4.1.1):

$$75.6 \text{ mm} \geq 25.0 \text{ mm} \checkmark$$

El resultado pésimo se produce para las barras del siguiente grupo: Viga lateral - Armadura inferior.

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Donde:

**a**: Distancia libre. **a** : 75.6 mm

**a<sub>min</sub>**: Distancia mínima libre, obtenida como el mayor de los siguientes valores: **a<sub>min</sub>** : 25.0 mm

**a<sub>1</sub>** : 20.0 mm

**a<sub>2</sub>** : 25.0 mm

**a<sub>3</sub>** : 25.0 mm

Siendo:

**∅**: Diámetro de la barra. **∅** : 25.0 mm

**d<sub>a</sub>**: Tamaño máximo del árido. **d<sub>a</sub>** : 20.0 mm

## 7.- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE CENTROS DE BARRAS PARALELAS

La armadura dispuesta en las caras superior, inferior y laterales no distará más de 30 cm (EHE-08, 58.8.2).

$$255.3 \text{ mm} \leq 300.0 \text{ mm} \quad \checkmark$$

El resultado pésimo se produce para las barras del siguiente grupo: Armado perimetral.

Donde:

**s**: Espaciamiento. **s** : 255.3 mm

**s<sub>max</sub>**: Espaciamiento máximo. **s<sub>max</sub>** : 300.0 mm

## 8.- CUANTÍA GEOMÉTRICA MÍNIMA

La cuantía de la armadura longitudinal, referida al área de la sección de hormigón perpendicular a su sección, será, como mínimo, del 0.0018 para aceros con  $f_y = 500.00 \text{ N/mm}^2$ . Para encepados únicamente provistos de armadura inferior, se adoptará la mitad de estos valores en cada dirección dispuestos en la cara inferior (EHE-08, 42.3.5).

$$0.0027 \geq 0.0018 \quad \checkmark$$

El resultado pésimo se produce para la siguiente sección transversal: Sección X-X.

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Donde:

$\rho$ : Cuantía geométrica.

$\rho$ : 0.0027

Siendo:

$A_s$ : Área de la sección de la armadura.

$A_s$ : 20955.4 mm<sup>2</sup>

$A_c$ : Área de la sección del hormigón.

$A_c$ : 7645537.6 mm<sup>2</sup>

$\rho_{min}$ : Cuantía geométrica mínima.

$\rho_{min}$ : 0.0018

## 9.- ARMADURA SECUNDARIA VERTICAL

Para resistir las tracciones debidas a la dispersión del campo de compresiones se dispondrá una armadura secundaria vertical que tendrá una capacidad mecánica total no inferior al valor  $N_d/1.5 \cdot n$  con  $n \geq 3$  (EHE-08, 58.4.1.2.2.2).

**2091.04 kN  $\geq$  2060.44 kN** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.6·PP+1.6·CM+1.6·Qa.

Donde:

$A_s$ : Área total de la armadura transversal repartida sobre la zona de dispersión del campo de compresiones.

$A_s$ : 5227.6 mm<sup>2</sup>

Se considerará como resistencia de cálculo del acero  $f_{yd}$  el valor (EHE-08, 38.3):

$f_{yd}$ : 400.00 N/mm<sup>2</sup>

$f_{yk}$ : Límite elástico característico

$f_{yk}$ : 500.00 N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_s$ : Coeficiente parcial de seguridad definido en el Artículo 15°

$\gamma_s$ : 1.15

$N_d$ : Axil de cálculo del soporte.

$N_d$ : 9272.00 kN

$n$ : Número de pilotes.

$n$ : 3

## 10.- RECUBRIMIENTOS

La instrucción establece unos recubrimientos mínimos de hormigón en función de la resistencia del mismo y de la clase de exposición (EHE-08, 37.2.4).

**80.0 mm  $\geq$  80.0 mm** ✓

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Donde:

**c:** Recubrimiento. **c** : 80.0 mm

**r<sub>nom</sub>:** Recubrimiento nominal. **r<sub>nom</sub>** : 80.0 mm

Siendo:

**r<sub>min</sub>:** Recubrimiento mínimo. **r<sub>min</sub>** : 70.0 mm

**Δr:** Margen de recubrimiento del hormigón, en función del nivel de control de ejecución. **Δr** : 10.0 mm

Para cualquier clase de armaduras pasivas (incluso estribos) o armaduras activas pretesas, el recubrimiento no será, en ningún punto, inferior a los valores mínimos recogidos en las tablas 37.2.4.1.a, 37.2.4.1.b y 37.2.4.1.c ( $r_{min,1}$ ).

Cuando se trate de superficies límites de hormigonado que en situación definitiva queden embebidas en la masa del hormigón, el recubrimiento no será menor que el diámetro de la barra o diámetro equivalente cuando se trate de grupo de barras ( $r_{min,2}$ ), ni que 0,8 veces el tamaño máximo del árido ( $r_{min,3}$ ).

En piezas hormigonadas contra el terreno, el recubrimiento mínimo será 70 mm ( $r_{min,4}$ ), salvo que se haya preparado el terreno y dispuesto un hormigón de limpieza.

Siendo:

**Clase de exposición:** IIa

**f<sub>ck</sub>:** Resistencia característica del hormigón. **f<sub>ck</sub>** : 35.00 N/mm<sup>2</sup>

**t<sub>g</sub>:** Vida útil de proyecto, en años. **t<sub>g</sub>** : 50 años

**d<sub>a</sub>:** Tamaño máximo del árido. **d<sub>a</sub>** : 20.0 mm

Cara	r <sub>min,1</sub> (mm)	r <sub>min,2</sub> (mm)	r <sub>min,3</sub> (mm)	r <sub>min,4</sub> (mm)	r <sub>min</sub> (mm)	Δr (mm)	r <sub>nom</sub> (mm)	c (mm)	Cumple
Superior	15.0	16.0	16.0	-	16.0	10.0	26.0	80.0	✓
Inferior	15.0	20.0	16.0	-	20.0	10.0	30.0	100.0	✓
<b>Lateral</b>	<b>15.0</b>	<b>16.0</b>	<b>16.0</b>	<b>70.0</b>	<b>70.0</b>	<b>10.0</b>	<b>80.0</b>	<b>80.0</b>	✓

## 11.- CAPACIDAD MECÁNICA DE LA PARRILLA INFERIOR

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Se dispondrá una armadura secundaria en retícula cuya capacidad mecánica en cada sentido no será inferior a 1/4 la capacidad mecánica de la armadura principal inferior (EHE-08, 58.4.1.2.2.1).

$$803.28 \text{ kN} \geq 736.32 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$A_{s,1,inf}$ : Área de la sección de la armadura principal, situada en la cara inferior.

$$A_{s,1,inf} : \underline{7363.2} \text{ mm}^2$$

$A_{s,2,inf}$ : Área de la sección de la armadura secundaria, situada en la cara inferior.

$$A_{s,2,inf} : \underline{2008.2} \text{ mm}^2$$

Se considerará como resistencia de cálculo del acero  $f_{yd}$  el valor (EHE-08, 38.3):

$$f_{yd} : \underline{400.00} \text{ N/mm}^2$$

$f_{yk}$ : Límite elástico característico

$$f_{yk} : \underline{500.00} \text{ N/mm}^2$$

$\gamma_s$ : Coeficiente parcial de seguridad definido en el Artículo 15°

$$\gamma_s : \underline{1.15}$$

Sección	$A_{s,1,inf}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s,2,inf}$ (mm <sup>2</sup> )	Cumple
<b>Sección Y-Y</b>	<b>7363.2</b>	<b>2008.2</b>	<b>✓</b>
Sección X-X	8502.3	2513.3	✓

## 12.- LONGITUD DE ANCLAJE

Para barras con patilla se debe cumplir (EHE-08, 69.5):

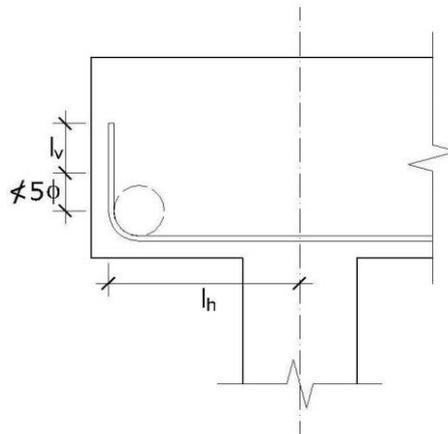
$$815.8 \text{ mm} \geq 516.4 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

$l_{disp}$ : Longitud de anclaje disponible.

$$l_{disp} : \underline{815.8} \text{ mm}$$

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



$l_{b,net}$ : Longitud neta de anclaje.

$l_{b,net}$  : 516.4 mm

Siendo:

$l_{bI}$ : Longitud básica de anclaje (Para barras en posición I)

$l_{bI}$  : 812.5 mm

Donde:

$\varnothing$ : Diámetro de la barra.

$\varnothing$  : 25.0 mm

$m$ : Coeficiente numérico, con los valores indicados en la tabla 69.5.1.2.a en función del tipo de acero, obtenido a partir de los resultados experimentales realizados con motivo del ensayo de adherencia de las barras.

$m$  : 1.3

$f_{yk}$ : Límite elástico garantizado del acero.

$f_{yk}$  : 500.00 N/mm<sup>2</sup>

$\beta$ : Factor de reducción definido en la tabla 69.5.1.2.b.

$\beta$  : 0.7

$\sigma_{sd}$ : Tensión de trabajo de la armadura que se desea anclar, en la hipótesis de carga más desfavorable, en la sección desde la que se determinará la longitud de anclaje.

$\sigma_{sd}$  : 363.21 N/mm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 400.00 N/mm<sup>2</sup>

La longitud neta de anclaje definida en 69.5.1.2 y 69.5.1.4 no podrá adoptar valores inferiores al mayor de los tres siguientes:

- 10  $\varnothing$ ;
- 150 mm;
- La tercera parte de la longitud básica de anclaje para barras traccionadas y los dos tercios de dicha longitud para barras comprimidas.;

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Elemento	m	Ø (mm)	f <sub>yk</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	l <sub>b</sub> (mm)	β	σ <sub>sd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>yd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	l <sub>b,neto</sub> (mm)	l <sub>disp</sub> (mm)	η	Cumple
1 - 2	1.3	25.0	500.00	812.5	0.7	363.21	400.00	516.4	815.8	0.63	✓
2 - 3	1.3	25.0	500.00	812.5	0.7	363.21	400.00	516.4	815.8	0.63	✓
3 - 1	1.3	25.0	500.00	812.5	0.7	363.21	400.00	516.4	815.8	0.63	✓

### 13.- AGOTAMIENTO DEL TIRANTE

Modelo de bielas y tirantes asociado a la combinación: "1.6·PP+1.6·CM+1.6·Qa"

Elemento: 1 - 2	
Nudo inicial	Nudo final
1	2
Reacciones (kN)	Solicitaciones (kN)
R1 = 3090.67 R2 = 3090.67 R3 = 3090.67	P1 = 9272.00

La tensión calculada en el tirante no ha de superar su capacidad resistente de cálculo (EHE-08, 40.2).

$$363.21 \text{ N/mm}^2 \leq 400.00 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ<sub>sd</sub>: Tensión calculada en el tirante

$$\sigma_{sd} : \underline{363.21} \text{ N/mm}^2$$

Siendo:

F<sub>s</sub>: Fuerza calculada en el elemento

$$F_s : \underline{1782.94} \text{ kN}$$

A<sub>s</sub>: Área asignada al elemento

$$A_s : \underline{4908.80} \text{ mm}^2$$

Se considerará como resistencia de cálculo del acero f<sub>yd</sub> el valor (EHE-08, 38.3):

$$f_{yd} : \underline{400.00} \text{ N/mm}^2$$

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



$f_{yk}$ : Límite elástico característico

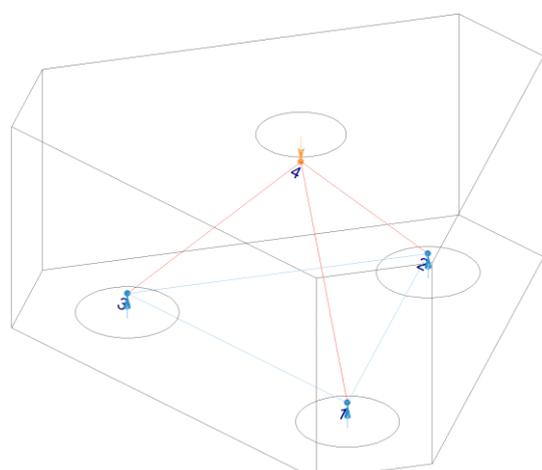
$f_{yk}$  : 500.00 N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_s$ : Coeficiente parcial de seguridad definido en el Artículo 15°

$\gamma_s$  : 1.15

Elemento	$f_{yd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	A. real (mm <sup>2</sup> )	A. nec. (mm <sup>2</sup> )	$F_s$ (kN)	$\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\eta_s$	Cumple
1 - 2	400.00	4908.80	4457.35	1782.94	363.21	0.908	✓
2 - 3	400.00	4908.80	4457.35	1782.94	363.21	0.908	✓
3 - 1	400.00	4908.80	4457.35	1782.94	363.21	0.908	✓

#### 14.- AGOTAMIENTO DE LA BIELA

Modelo de bielas y tirantes asociado a la combinación: "1.6·PP+1.6·CM+1.6·Qa"					
	<b>Elemento: 4 - 1</b>				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nudo inicial</th> <th>Nudo final</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Nudo inicial	Nudo final	4	1
	Nudo inicial	Nudo final			
	4	1			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Reacciones (kN)</th> <th>Solicitaciones (kN)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R1 = 3090.67 R2 = 3090.67 R3 = 3090.67</td> <td>P1 = 9272.00</td> </tr> </tbody> </table>	Reacciones (kN)	Solicitaciones (kN)	R1 = 3090.67 R2 = 3090.67 R3 = 3090.67	P1 = 9272.00
Reacciones (kN)	Solicitaciones (kN)				
R1 = 3090.67 R2 = 3090.67 R3 = 3090.67	P1 = 9272.00				

La compresión en la biela no ha de superar su capacidad (EHE-08, 40.3).

$$12.35 \text{ N/mm}^2 \leq 14.00 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{cd}$ : Tensión calculada en la biela

$\sigma_{cd}$  : 12.35 N/mm<sup>2</sup>

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Siendo:

$F_c$ : Fuerza calculada en el elemento

$F_c$  : 4369.08 kN

$A_c$ : Área asignada al elemento

$A_c$  : 353773.56 mm<sup>2</sup>

$f_{1cd}$ : Capacidad resistente de la biela (EHE-08, 40.3)

$f_{1cd}$  : 14.00 N/mm<sup>2</sup>

$\beta$ : Coeficiente de capacidad resistente

$\beta$  : 0.60

Se considerará como resistencia de cálculo del hormigón en compresión el valor (EHE-08, 39.4):

$f_{cd}$  : 23.33 N/mm<sup>2</sup>

$\alpha_{cc}$ : Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón cuando está sometido a altos niveles de tensión de compresión debido a cargas de larga duración. En esta Instrucción se adopta, con carácter general, el valor  $\alpha_{cc} = 1$ .

$\alpha_{cc}$  : 1.00

$f_{ck}$ : Resistencia característica de proyecto

$f_{ck}$  : 35.00 N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_c$ : Coeficiente parcial de seguridad que adopta los valores indicados en el Artículo 15º

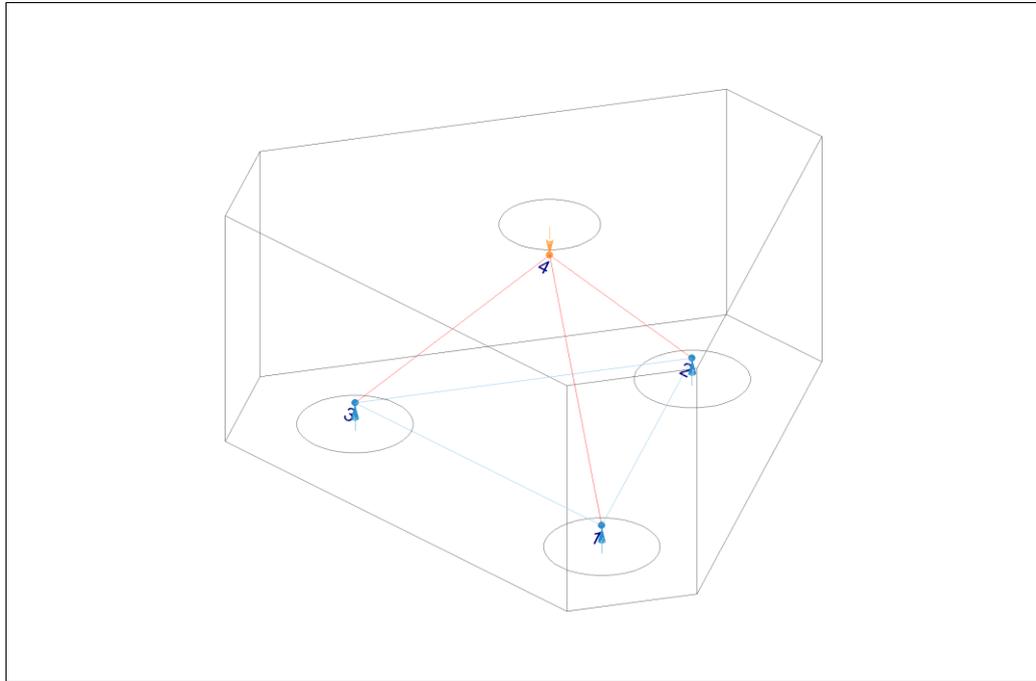
$\gamma_c$  : 1.50

Elemento	A. real (mm <sup>2</sup> )	A. nec. (mm <sup>2</sup> )	$F_c$ (kN)	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\eta_c$	Cumple
<b>4 - 1</b>	<b>353773.56</b>	<b>312077.14</b>	<b>4369.08</b>	<b>12.35</b>	<b>0.882</b>	✓
4 - 2	353773.62	312076.43	4369.07	12.35	0.882	✓
4 - 3	353773.56	312077.14	4369.08	12.35	0.882	✓

## 15.- NUDOS

Modelo de bielas y tirantes

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Los nudos deben estar concebidos, dimensionados y armados de tal forma que todos los esfuerzos actuantes estén equilibrados y los tirantes convenientemente anclados (EHE-08, 40.4.1).

El dimensionamiento y la disposición de nudos concentrados son críticos para determinar su capacidad resistente (UNE-EN 1992-1-1:2010, 6.5.4(3)).

$$12.35 \text{ N/mm}^2 \leq 23.33 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{cd}$ : Tensión de compresión en el hormigón.

$$\sigma_{cd} : \underline{12.35} \text{ N/mm}^2$$

$F_{cd}$ : Fuerza que actúa en el nudo (UNE-EN 1992-1-1:2010, 6.5.4).

$$F_{cd} : \underline{4369.08} \text{ kN}$$

$A_c$ : Área de la sección transversal del hormigón (UNE-EN 1992-1-1:2010, 6.5.4).

$$A_c : \underline{353773.6} \text{ mm}^2$$

Nudos multicomprimidos (EHE-08, 40.4.2).

En nudos que conectan sólo bielas comprimidas:

$$f_{zcd} : \underline{23.33} \text{ N/mm}^2$$

Se considerará como resistencia de cálculo del hormigón en compresión el valor (EHE-08, 39.4):

$$f_{cd} : \underline{23.33} \text{ N/mm}^2$$

Proyecto Constructivo de la Nueva Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



$\alpha_{cc}$ : Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón cuando está sometido a altos niveles de tensión de compresión debido a cargas de larga duración. En esta Instrucción se adopta, con carácter general, el valor  $\alpha_{cc} = 1$ .

$\alpha_{cc}$  : 1.00

$f_{ck}$ : Resistencia característica de proyecto

$f_{ck}$  : 35.00 N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_c$ : Coeficiente parcial de seguridad que adopta los valores indicados en el Artículo 15°

$\gamma_c$  : 1.50

### Nudos multicomprimidos (EHE-08, 40.4.2).

En nudos que conectan sólo bielas comprimidas:

Elemento	$F_{cd}$ (kN)	$A_c$ (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{2cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Combinación de acciones	Cumple
<b>4 - 1</b>	<b>4369.08</b>	<b>353773.6</b>	<b>12.35</b>	<b>23.33</b>	<b>1.6·PP+1.6·CM+1.6·Qa</b>	✓
4 - 2	4369.07	353773.6	12.35	23.33	1.6·PP+1.6·CM+1.6·Qa	✓
4 - 3	4369.08	353773.6	12.35	23.33	1.6·PP+1.6·CM+1.6·Qa	✓

### 16.- CONSIDERACIONES DEL EFECTO GRUPO

De forma general, para el cálculo de los pilotes, no se considerará el efecto grupo para una separación entre ejes de pilotes igual o mayor a 3 diámetros (CTE DB-SE-C, 5.3.4.1.4).

**2400.0 mm ≥ 2400.0 mm ✓**

Separación entre ejes de pilotes

: 2400.0 mm

Diámetro del pilote

: 800.0 mm

### 17.- CAPACIDAD PORTANTE DEL PILOTE

Se debe satisfacer:

Donde:

$N_{Ed,s}$ : Esfuerzo normal máximo en servicio.

$N_{Rd,s}$ : Axil máximo resistido.

Proyecto Constructivo de la Nueva  
Estación de Zarautz  
MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURA



Situación	Combinación de acciones	$N_{Ed,s}$ (kN)	$N_{Rd,s}$ (kN)	Cumple
Persistentes o transitorias	PP+CM+Qa	2085.75	5000.00	✓