

ANEJO N°9

# **Obras Singulares**



# ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. SALIDA DE EMERGENCIA DE PUENTELATORRE</b>                   | <b>2</b>  |
| 2.1 OBRAS A REALIZAR  | 2         |
| 2.2 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA                           | 4         |
| 2.2.1 Salida de Emergencia  | 5         |
| 2.2.2 Ventilación de Emergencia                                   | 5         |
| 2.2.3 Afección al dominio público hidráulico                      | 5         |
| 2.3 ESTRUCTURA EDIFICIO EXTERIOR                                  | 10        |
| <b>3. CALCULOS ESTRUCTURALES</b>                                  | <b>11</b> |
| 3.1 OBJETO  | 11        |
| 3.2 BASES DE DISEÑO   | 11        |
| 3.2.1 NORMATIVA   | 11        |
| 3.2.1.1 Normas de acciones  | 11        |
| 3.2.1.2 Normas de construcción                                    | 11        |
| 3.2.2 BASES DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS                             | 12        |
| 3.2.2.1 Criterios de seguridad                                    | 12        |
| 3.2.2.2 Estados límite de servicio (E.L.S.)                       | 12        |
| 3.2.2.3 Estados límite últimos (E.L.U.)                           | 12        |
| 3.2.2.4 Niveles de control  | 13        |
| 3.2.2.5 Coeficientes parciales de seguridad para la resistencia   | 14        |
| 3.2.2.6 Comprobaciones relativas a los estados límite de servicio | 14        |
| 3.2.3 ACCIONES A CONSIDERAR                                       | 15        |
| 3.2.4 VALORES REPRESENTATIVOS DE LAS ACCIONES                     | 15        |
| 3.2.5 VALORES DE CÁLCULO DE LAS ACCIONES                          | 17        |
| 3.2.6 COMBINACIÓN DE ACCIONES                                     | 18        |
| 3.2.7 PROGRAMAS INFORMATICOS UTILIZADOS                           | 20        |
| 3.3 FALSO TÚNEL SALIDA DE EMERGENCIA PUENTELATORRE                | 21        |
| 3.3.1 DESCRIPCION   | 21        |
| 3.3.2 MATERIALES  | 21        |
| 3.3.3 MODELOS E HIPOTESIS DE CÁLCULO                              | 22        |
| 3.4 EDIFICIO DE SALIDA DE PUENTELATORRE                           | 23        |
| 3.4.1 DESCRIPCION   | 23        |
| 3.4.2 MATERIALES  | 23        |
| 3.4.3 CARGAS  | 23        |

Anejo nº9: Obras  
Singulares

Página i

L5-GH-AN09\_ObrSingul

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL



## ÍNDICE *(continuación)*

3.4.4 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

24

APÉNDICE Nº 9.1. CÁLCULOS SALIDA DE EMERGENCIA PUENTELATORRE

Anejo nº9: Obras  
Singulares

Página ii

L5-GH-AN09\_ObrSingul

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL



## **1. INTRODUCCIÓN**

De acuerdo con la NFPA 130, los tramos de túnel de gran longitud deben contar con salidas de emergencia, espaciadas de tal forma que desde cualquier punto del mismo se asegure una distancia máxima de 381 metros a alguna salida, lo que implica una separación entre salidas de emergencia de 762 metros.

Esta distancia se considera como referencia, y se aplica con cierta holgura, de forma que en estudios similares se consideran admisibles distancias entre salidas de emergencia en túneles de hasta 1.000 metros.

Si se analiza la longitud del trazado subterráneo entre la estación de Galdakao y la estación de Hospital, esta longitud resulta ser de 2.200 metros aproximadamente, superándose las longitudes mencionadas con anterioridad.

Es por ello que el tramo en túnel existente entre las citadas estaciones pertenecientes a línea 5 exige la implantación de dos infraestructuras de emergencia, que se ubican en el PK 4+325 (Salida de emergencia de Abusu, incluida en el proyecto del tramo Aperribai-Galdakao) y en el PK 5+320 (Salida de emergencia de Puentelatorre).

En el presente Anejo: Obras Singulares, se describe la salida de emergencia de Puentelatorre situada en el término municipal de Galdakao. La salida de emergencia de Abusu se describe en el tramo Aperribai-Galdakao.

## **2. SALIDA DE EMERGENCIA DE PUENTELATORRE**

La salida se sitúa en el Pk 5+320 del túnel de línea. Esta ubicación da lugar a unas distancias de 995 metros hasta la Salida de Emergencia de Abusu y de 675 metros hasta la Estación de Hospital.

Además, se plantea en la misma ubicación una ventilación de emergencia por la misma galería. Así la sección de la galería estará compartida por la ventilación y la salida de emergencia que se hace necesaria para el túnel en mina entre la Salida de Emergencia de Abusu y la estación de Hospital.

Ésta se colocará en el Pk 5+295, empleándose la galería como ataque para la excavación del túnel en mina.

La salida de emergencia de Puentelatorre emerge a la superficie en el barrio Puentelatorre de Galdakao, en una superficie plana contigua al camino de acceso a dicho barrio, donde se implantará el edificio de hormigón que albergará los conductos de ventilación y las puertas de emergencia de acceso al exterior.

### **2.1 OBRAS A REALIZAR**

Se enumeran a continuación el conjunto de obras a realizar para la implantación de una salida de emergencia y de una ventilación de emergencia en los Pks 5+320 y 5+295 respectivamente.

- **Vial de Acceso**

El acceso al área desde donde se ataca la galería de emergencia se realiza desde vial existente.

- **Emboquille**

Se realiza una excavación en roca en el talud existente a 78° para lograr una cobertera sobre la clave de la galería de un diámetro de roca sana. Dando lugar a tres taludes denominados: talud frontal (donde se realiza el emboquille), talud izquierdo y talud derecho.

El talud frontal requiere un sostenimiento de 8,3 t/m<sup>2</sup>, que puede conseguirse con bulones de Gewi Ø32 cada 2x2 m de 15 m y con 15° de inclinación, el talud izquierdo requiere un sostenimiento de 13,75 t/m<sup>2</sup>, que puede conseguirse con bulones de Gewi Ø32 cada 1,5x1,5 m de 15 m y con 15° de inclinación y el talud derecho precisa de un gunitado superficial (e = 5 cm) para estabilizar el vuelco de J2. Este gunitado superficial se dispondrá también en los otros dos desmontes para prevenir caída de pequeños fragmentos, dado que va a ser una zona de trabajo y de ataque durante las obras.

- **Excavación del Túnel**

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, una vez construido el área de ataque comenzará la excavación del túnel, que albergará las instalaciones de emergencia para posteriormente acometer la excavación del túnel de línea.

Durante las obras de excavación del túnel de línea se extraerán por la rampa de ataque los materiales arrancados del interior, éstos serán a continuación tratados mediante un decantador de fangos en combinación con una prensa de lodos construidos a la salida de la rampa de ataque donde los materiales secarán antes de ser transportados.

Cuando finalice la parte de excavación del túnel de línea a realizar desde esta rampa de ataque se procederá a construir en su interior los elementos necesarios para convertirla en salida de emergencia y ventilación de emergencia.

- **Salida de Emergencia**

Además de lo mencionado con anterioridad será necesario llevar a cabo la construcción de una galería que constituirá el primer tramo de la salida de emergencia. Esta galería conectará a una distancia de 54,40 metros con la galería excavada previamente de igual sección que el túnel y que comunicará con el edificio que permite la evacuación al exterior.

Esta galería constituye el primer tramo de la salida de peatones, ya que en la zona más próxima a las vías la sección completa de la rampa de ataque se convierte en cámara de ventiladores.

Una vez superados estos primeros metros en que la ventilación y la salida de peatones discurren por separado, ambos conductos continuarán en paralelo el resto del recorrido hasta el exterior, compartiendo para ello el túnel que ha servido de rampa de ataque.

Además, en los primeros metros de la galería de evacuación de emergencia se ubicarán los cuartos técnicos que alojan al centro de transformación y al cuarto de baja tensión.

- **Ventilación de Emergencia**

Se hace necesario construir una galería, para la ventilación de emergencia que conecte el túnel de línea, en el PK 5+295, con el edificio que va a contener las rejillas que permiten la salida/entrada del aire al/del exterior.

En esta galería se ubicará la cámara de ventiladores que dará cabida a dos ventiladores de 130 Kw de potencia cada uno. Dada la distancia existente desde la cámara a las estaciones y la potencia de los ventiladores, se hace necesario establecer un centro de transformación. Como

ya se ha comentado, éste tendrá su lugar en la salida de emergencia, anexo al túnel de línea, y servirá para alimentar los ventiladores.

- **Estructura común a Salida y Ventilación de Emergencia**

Posteriormente se construye la estructura común que da cabida a ambas salidas desde sus respectivas galerías hasta el exterior. Así, la sección de la galería interior se dividirá en dos partes diferenciadas mediante un tabique que impide que el aire procedente de la ventilación de emergencia acceda a la salida de emergencia.

La galería común se diseña con una pendiente del 6,66% hasta alcanzar la estructura que comunica con el exterior. En el interior de la estructura la parte correspondiente a la salida de emergencia dispondrá de 26 tramos de escaleras para la evacuación de los peatones.

La galería de emergencia termina en la estructura diseñada que se integra en el barrio de Puentelatorre, dotada de puertas de fácil apertura con área accesible para los vehículos de emergencia en caso de necesidad.

Todo el conducto dispondrá de la adecuada iluminación y de indicadores visibles en la oscuridad que orienten en el sentido correcto a los peatones.

- **Relleno**

Una vez se hayan construido todos los elementos necesarios en esta zona (galerías y edificio de las instalaciones de emergencia) se llevará a cabo el relleno de la excavación.

- **Impacto Visual**

El edificio exterior se ubica en una parcela llana contigua al camino de acceso al Barrio de Puentelatorre y cercana al río Ibaizabal.

Los acabados previstos son de hormigón para el edificio exterior y hormigón impreso para el área adyacente. Así mismo se incluye en el presente proyecto la revegetación de las zonas de obras anexas.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA**

Se describe a continuación las características de la salida de emergencia de Puentelatorre, analizando primero los aspectos relativos a la salida de emergencia y por último los relacionados con la ventilación de emergencia:

### 2.2.1 SALIDA DE EMERGENCIA

El conducto de salida de emergencia presenta una sección igual a la del túnel de línea. En la zona inicial se dispone una serie de cuartos técnicos que albergan al cuarto de Baja Tensión y al Centro de Transformación. Quedando en esta zona un pasillo destinado a la salida de peatones de 3,90 metros de anchura aproximadamente. Este tramo presenta una pendiente del 1,00% a lo largo de 27 metros aproximadamente hasta que comienzan los tramos de escaleras. Hay dos tramos de escaleras hasta que se alcanza la zona común.

El segundo tramo discurre en rampa con una pendiente del 6,66% y comparte el interior de la estructura con el sistema de ventilación que se describe en el apartado posterior. Así, la anchura total de la sección excavada es de 8,80 metros, reservándose 3,50 metros de pasillo para el tránsito peatonal y 5,06 metros para el conducto de ventilación.

El acceso al exterior se realiza tras superar 26 tramos de escaleras, salvando un desnivel de 18,05 m.

### 2.2.2 VENTILACIÓN DE EMERGENCIA

La cámara de ventilación se crea en el conducto de ventilación, en la zona de conexión de éste con el túnel de línea. Este tramo tiene una pendiente del 0,00% y sobre él se sitúan los ventiladores.

Se trata de dos ventiladores axiales reversibles de 130 Kw de potencia, capaces de extraer o inyectar aire en el túnel de línea en función de la localización y gravedad de la emergencia.

El conducto de ventilación tiene sus primeros 16,00 metros, incluida la cámara de ventiladores, una sección algo inferior a la del túnel de línea, con 8,80 metros de anchura y 5,10 metros de altura libre. Posteriormente, a lo largo de 25,80 metros se produce una transición en la que la sección se reduce hasta que entronca con la estructura, en la que el conducto comparte sección con la salida de emergencia.

El conducto asciende hacia la superficie con una pendiente de 6,66% y tiene una longitud total de 301,70 metros.

La rejilla de salida de aire del conducto se ubica, en la cubierta de la estructura existente en el edificio de salida. Se trata de una rejilla de un tipo habitual en las ventilaciones del ferrocarril metropolitano y tiene una superficie aproximada de 37 m<sup>2</sup>.

### 2.2.3 AFECCIÓN AL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

De acuerdo con la información disponible en el visor de Goeuskadi relativa a cotas de Inundabilidad del río Ibaizabal en el entorno de la salida de la galería de emergencia/ventilación de Puentelatorre, la

Anejo n°9: Obras  
Singulares

Página 5

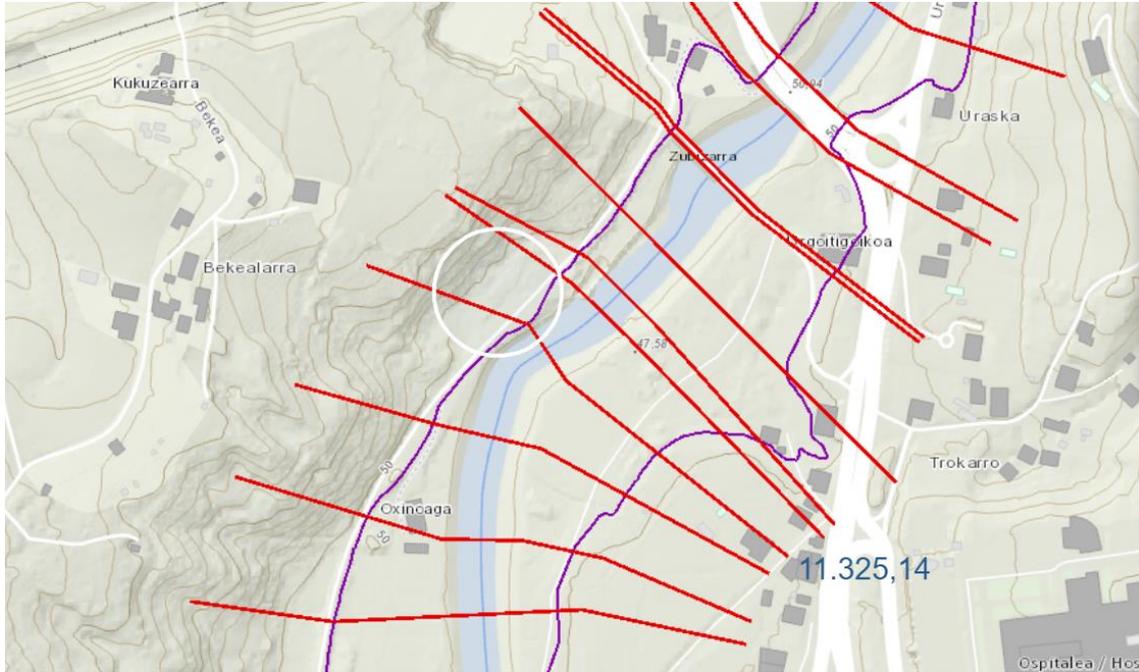
L5-GH-AN09\_ObrSingul

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL



obra proyectada se sitúa en el entorno inmediato del perfil 11.325,14 del estudio hidráulico de dicho cauce.

El estudio procede de la Ampliación de la Cartografía de Peligrosidad de la CAPV 2018-2020, según figura en la información del visor, y fue realizado a partir de cartografía LIDAR del año 2012.



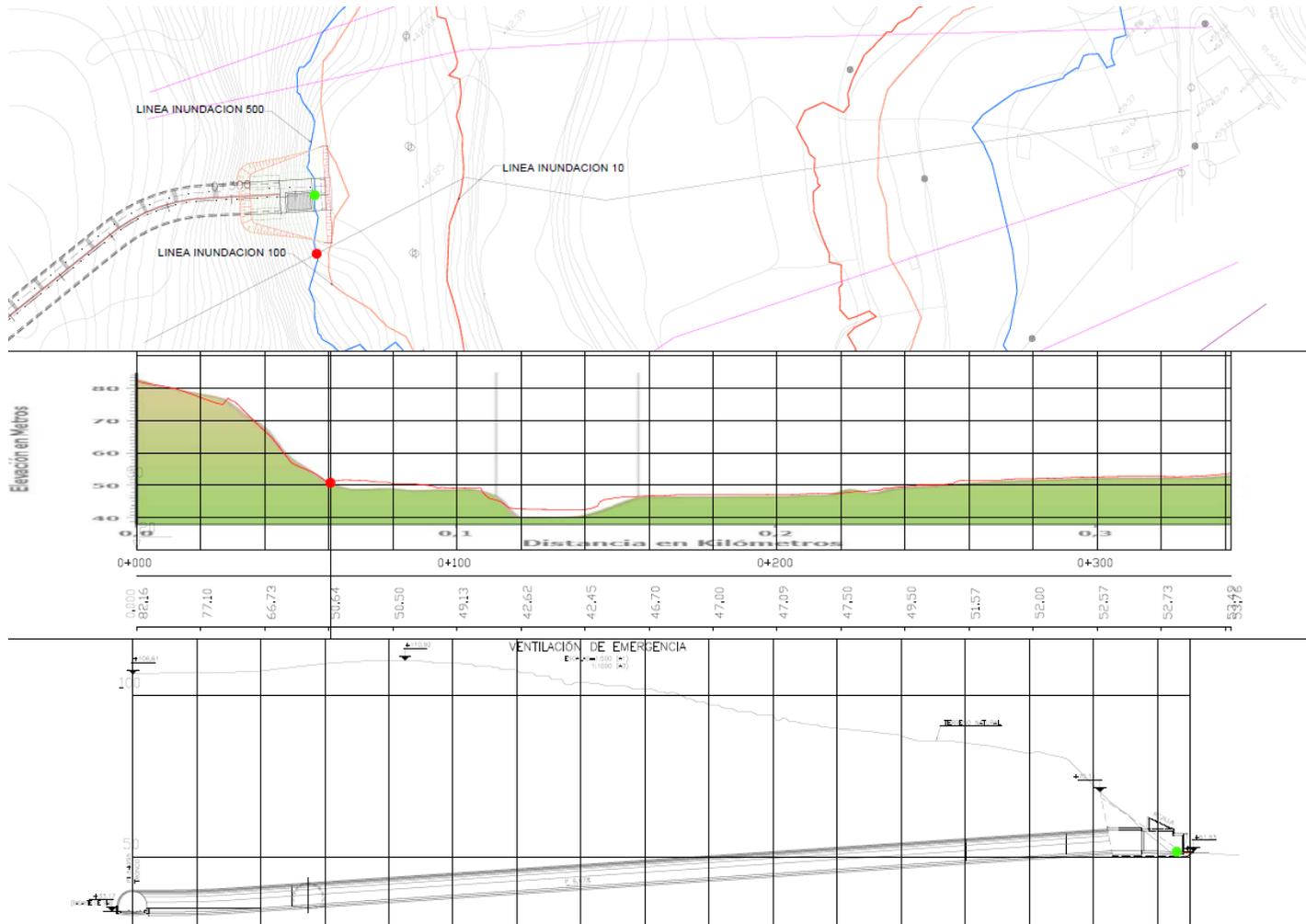
Según dicho estudio, las cotas de Inundabilidad del tramo del cauce son las que se adjuntan en la siguiente tabla, confirmándose que la cota escogida en el terreno actual para la salida de la galería (solera en la salida: 51,63) queda ligeramente por encima de la cota de la avenida de 500 años en dicho perfil (51,52).

| XS_ID            | Q 10          | H 10         | Q 100         | H 100        | Q 500           | H 500        |
|------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|--------------|
| 12.021,54        | 503,00        | 48,40        | 712,00        | 49,60        | 1.082,00        | 51,75        |
| 11.964,63        | 503,00        | 48,37        | 712,00        | 49,59        | 1.082,00        | 51,75        |
| 11.850,21        | 503,00        | 48,26        | 712,00        | 49,55        | 1.082,00        | 51,73        |
| 11.729,73        | 503,00        | 48,13        | 712,00        | 49,47        | 1.082,00        | 51,70        |
| 11.655,64        | 503,00        | 48,06        | 712,00        | 49,42        | 1.082,00        | 51,67        |
| 11.593,61        | 503,00        | 48,02        | 712,00        | 49,39        | 1.082,00        | 51,65        |
| 11.514,34        | 503,00        | 47,97        | 712,00        | 49,35        | 1.082,00        | 51,63        |
| 11.465,09        | 503,00        | 47,89        | 712,00        | 49,25        | 1.082,00        | 51,55        |
| 11.396,78        | 503,00        | 47,83        | 712,00        | 49,23        | 1.082,00        | 51,54        |
| <b>11.325,14</b> | <b>503,00</b> | <b>47,75</b> | <b>712,00</b> | <b>49,18</b> | <b>1.082,00</b> | <b>51,52</b> |
| 11.280,91        | 503,00        | 47,55        | 712,00        | 48,97        | 1.082,00        | 51,41        |
| 11.262,02        | 503,00        | 47,61        | 712,00        | 49,06        | 1.082,00        | 51,46        |

Si se solapa su posición en planta con las manchas de Inundabilidad de 10, 100 y 500 años se observa que existen no existen discrepancias significativas en la posición relativa de las curvas de nivel en el entorno de la obra de salida proyectada entre la cartografía de apoyo del estudio hidráulico vigente (LIDAR 2012) y la de proyecto.

Como confirmación, se ha analizado el perfil 11.325,14 del modelo hidráulico y se ha comparado con el perfil obtenido en el mismo punto sobre la cartografía de proyecto, apreciándose que las diferencias son mínimas en las cotas de la zona de la línea de avenida de 500 años.

Es decir, el estudio hidráulico establece unas cotas de avenida que, representadas en una cartografía más detallada, y en concreto en la de proyecto, dejarían la obra de salida fuera de la mancha inundable, algo que se corresponde con la cota real del terreno en el punto de salida (51,63), que queda ligeramente por encima la cota de avenida de 500 años de periodo de retorno en ese punto (51,52).



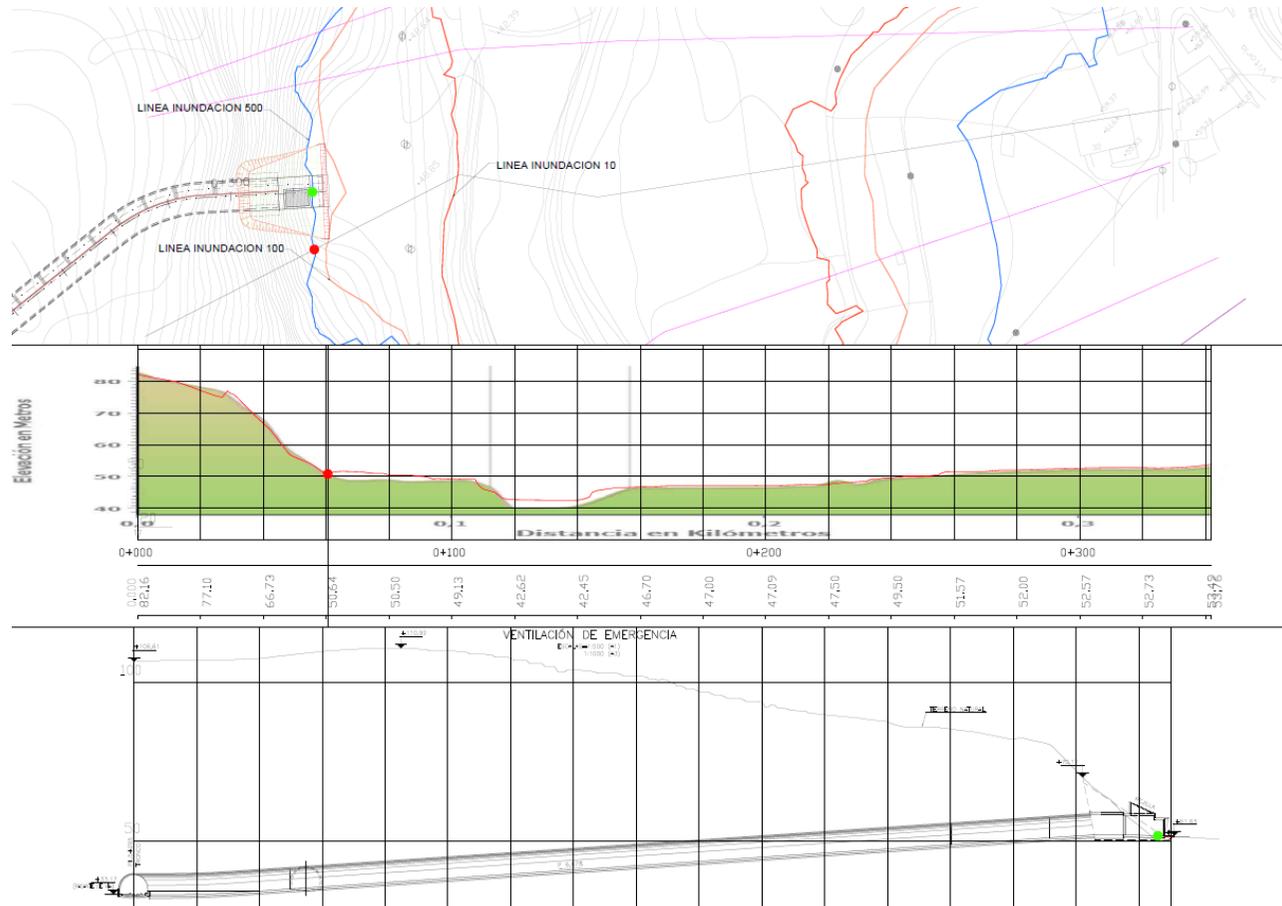
Anejo nº9: Obras Singulares

Página 8

L5-GH-AN09\_ObrSingular

**PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL**





Cotas lámina agua Inundabilidad Ibaizabal-Galdakao

## 2.3 ESTRUCTURA EDIFICIO EXTERIOR

La estructura diseñada tiene unas dimensiones aproximadas desde el final del falso túnel proyectado de 13 m de largo y 10 m de ancho, con muros de hormigón de 0,60 que dan lugar a un ancho interior de 8,80 al igual que el túnel de mina. Esta estructura alberga en un solo edificio la salida peatonal de emergencia al exterior y la chimenea de salida del conducto de ventilación.

La estructura tiene una zona soterrada que se inicia en la sección del falso túnel y que permite rellenar el desmonte ejecutado en la ladera minimizando así el impacto sobre ésta. La parte vista de la estructura aporta los accesos a la salida de emergencia peatonal y al conducto de ventilación.

La salida al exterior del conducto de ventilación se produce a través de la cubierta de la estructura que dispone a tal efecto de una zona inclinada y cerrada por una rejilla. En la parte frontal de la estructura se dispone una puerta de doble hoja de 1 m de ancho de salida/entrada a la instalación, que sólo se abrirá en caso de emergencia o para labores de mantenimiento. Esta puerta da acceso a un vestíbulo interior en el que desemboca la salida de emergencia para peatones y desde el que además se puede acceder, a través de una segunda puerta de una sola hoja de 1m de ancho, al conducto de ventilación de emergencia.

Esta estructura dispone de la red de drenaje necesaria para canalizar al exterior el agua que pueda entrar por la rejilla de ventilación para ello se proyecta la solera del edificio con una pendiente del 2% hacia el exterior y se disponen canaletas en los extremos evacuando el agua captada por estas mediante tubo de PVC de Ø 200mm.

### **3. CALCULOS ESTRUCTURALES**

#### **3.1 OBJETO**

En el presente apartado se detalla y desarrolla la solución adoptada para cada una de las estructuras definidas en la zona de la “Salida de emergencia de Puentelatorre”. Dichas estructuras son las siguientes:

- Falso túnel salida de emergencia de Puentelatorre.
- Edificio de salida de Puentelatorre.

Se describen dichas estructuras y se dan los criterios y condicionantes de diseño. Se acompaña de igual modo el anexo de cálculos justificativos, desarrollados de acuerdo a la normativa vigente aplicable.

#### **3.2 BASES DE DISEÑO**

En el presente apartado se describen y justifican los criterios de diseño de las estructuras que comprende la Obra de salida de Puentelatorre. Se hace un estudio detallado de las acciones a considerar en el diseño de las diferentes estructuras que componen la obra. De igual forma se describe la Normativa aplicable al respecto.

##### **3.2.1 NORMATIVA**

Para la elaboración del proyecto se emplearán las normas y recomendaciones enumeradas a continuación. Se distingue entre documentos relativos a las acciones a considerar y documentos referentes a la resistencia de la estructura.

###### **3.2.1.1 NORMAS DE ACCIONES**

- Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11). (Orden FOM/2842/2011, de 29 de septiembre). Año 2011.
- Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación. NCSE-02. Ministerio de Fomento. (Real Decreto 997/2002, de 22 de septiembre). Año 2002.

###### **3.2.1.2 NORMAS DE CONSTRUCCIÓN**

- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). Ministerio de la Presidencia. (Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio). Año 2008.

- Código Técnico de la Edificación. Seguridad estructural. (Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo). Año 2006.
- Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera. Ministerio de Fomento. Año 2005.
- Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras. Ministerio de fomento. Año 2001.

### 3.2.2 BASES DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

#### 3.2.2.1 CRITERIOS DE SEGURIDAD

Para justificar la seguridad de las estructuras objeto de este Proyecto y su aptitud de servicio, se utilizará el método de los estados límites.

Los estados límite se clasifican en:

- Estados límite de servicio
- Estados límite últimos

#### 3.2.2.2 ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO (E.L.S.)

Se incluyen bajo la denominación de estados límite de servicio todas aquellas situaciones de la estructura para las que no se cumplen los requisitos predefinidos de funcionalidad, confort, durabilidad o aspecto de la estructura.

Se consideran los siguientes:

- E.L.S. de deformaciones que afecten a la apariencia o funcionalidad de la obra, o que causen daño a elementos no estructurales.
- E.L.S. de fisuración. La fisuración del hormigón por tracción puede afectar a la durabilidad, la impermeabilidad o el aspecto de la estructura. La microfisuración del hormigón por compresión excesiva puede afectar, también, a la durabilidad.

#### 3.2.2.3 ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS (E.L.U.)

La denominación de estados límite últimos engloba todos aquellos correspondientes a una puesta fuera de servicio de la estructura, por colapso o rotura de la misma o de una parte de ella, poniendo en peligro la seguridad de las personas.

Los estados límite últimos que se deben considerar son los siguientes:

Anejo nº9: Obras Singulares

Página 12

L5-GH-AN09\_ObrSingul

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL



- E.L.U. de pérdida de equilibrio, por falta de estabilidad de una parte o de la totalidad de la estructura.
- E.L.U. de agotamiento frente a sollicitaciones normales, frente a cortante y torsión. Se estudian a nivel de sección de elemento estructural.
- E.L.U. de agotamiento por fatiga en el acero o el hormigón.

#### 3.2.2.4 NIVELES DE CONTROL

El control de calidad de los elementos de hormigón armado abarca el control de materiales y el control de la ejecución.

##### Control de materiales

El control de la calidad del hormigón y de sus materiales componentes, así como el control del acero se efectuará según lo establecido en la “Instrucción de Hormigón Estructural, EHE”.

El fin del control es verificar que la obra terminada tiene las características de calidad especificadas en el proyecto, que son las generales de la Instrucción EHE. La realización del control se adecuará al nivel adoptado en el proyecto.

##### Control de la ejecución

El control de la calidad de la ejecución de los elementos de hormigón se efectuará según lo establecido en la “Instrucción de Hormigón Estructural, EHE”

Existen diferentes niveles de control. La realización del control se adecuará al nivel adoptando para la elaboración del proyecto.

##### Valores adoptados

En el Proyecto se adoptan los siguientes niveles de control según la definición de la Instrucción EHE:

- Acero: Para todos los casos: Normal
- Hormigón: Para todos los casos: Estadístico
- Ejecución: Para todos los casos: Intenso

### 3.2.2.5 COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD PARA LA RESISTENCIA

Los controles anteriormente definidos están en acuerdo recíproco con los coeficientes parciales de seguridad para la resistencia, adoptados en los cálculos justificativos de la seguridad estructural.

Los coeficientes parciales de seguridad para la resistencia adoptados son, en situación persistente o transitoria:

- Hormigón  $\gamma_c = 1,50$
- Acero pasivo y activo  $\gamma_s = 1,15$
- Acero laminado  $\gamma_s = 1,00$

En situación accidental, incluyendo sismo:

- Hormigón  $\gamma_c = 1,30$
- Aceros  $\gamma_s = 1,00$

### 3.2.2.6 COMPROBACIONES RELATIVAS A LOS ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

#### Estado límite de deformaciones de la estructura

Se considera que las deformaciones para la combinación poco probable no deben de afectar a la apariencia o funcionalidad de la obra.

#### Estado límite de plastificaciones locales

Se comprobará que en servicio bajo combinación característica no se supera el 90% del límite elástico, ni que en combinación frecuente se supere el 75%.

#### Estado límite de fisuración del hormigón

Bajo la combinación más desfavorable de acciones correspondiente a la fase en estudio, las tensiones de compresión en el hormigón deben cumplir.

$$\sigma_c \leq 0,60 f_{ck,j}$$

donde:

$\sigma_c$  Tensión de compresión del hormigón en la situación de comprobación.

$f_{ck,j}$  Valor supuesto en el proyecto para la resistencia característica a  $j$  días (edad del hormigón en la fase considerada).

La comprobación general del Estado Límite de Fisuración por tracción consiste en satisfacer la siguiente inequación:

$$W_k \leq W_{m\acute{a}x}$$

donde:

$W_k$  Abertura característica de fisura.

$W_{m\acute{a}x}$  Abertura máxima de fisura.

En elementos de hormigón armado, en ausencia de requerimientos específicos (estanqueidad, etc.), y bajo la combinación de acciones casi-permanentes, las máximas aberturas de fisura para los distintos ambientes, se muestran en la tabla 49.2.4. de la Instrucción EHE08.

TABLA 5.1.1.2 EHE

| Clase de exposición   | $W_{m\acute{a}x}$ (mm) |                     |
|-----------------------|------------------------|---------------------|
|                       | Hormigón armado        | Hormigón pretensado |
| I                     | 0,4                    | 0,2                 |
| IIa, IIb, H           | 0,3                    | 0,2                 |
| IIIa, IIIb, IV, F, Qa | 0,2                    | Descompresión       |
| IIIc, Qb, Qc          | 0,1                    |                     |

### 3.2.3 ACCIONES A CONSIDERAR

Las cargas a considerar sobre los distintos elementos se recogen en los apartados correspondientes de las estructuras analizadas.

### 3.2.4 VALORES REPRESENTATIVOS DE LAS ACCIONES

Con carácter general se han seguido los criterios especificados en la Instrucción IAP sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera.

Las acciones se definen, en su magnitud, por sus valores representativos.

Una misma acción puede tener un único o varios valores representativos, según se indica a continuación, en función del tipo de acción.

### Acciones permanentes (G)

Para las acciones permanentes se considerará un único valor representativo, coincidente con el valor característico  $G_k$ , excepto en el caso de la acción correspondiente al peso del pavimento, para la que se consideran dos valores representativos con  $G_{k,sup}$  y  $G_{k,inf}$ , definidos en el apartado 4.3.1.

### Acciones permanentes de valor no constante (G\*)

- Reológicas: Se considerará, para las acciones de origen reológico, un único valor representativo, coincidente con el valor característico  $R_{k,t}$ , correspondiente al instante "t" en el que se realiza la comprobación.
- Acciones del terreno: Para el peso del terreno que gravita sobre elementos de la estructura, se considerará un único valor representativo, coincidente con el valor característico. Para el empuje del terreno, se considerará el valor representativo de acuerdo con lo expuesto en el apartado 4.3.2.

### Acciones variables (Q)

Cada una de las acciones variables puede considerarse con los siguientes valores representativos:

- Valor característico  $Q_k$ : valor de la acción cuando actúa aisladamente.
- Valor de combinación  $\Psi_0 Q_k$ : valor de la acción cuando actúa en compañía de alguna otra acción variable.
- Valor frecuente  $\Psi_1 Q_k$ : valor de la acción que es sobrepasado durante un período de corta duración respecto a la vida útil del puente.
- Valor casi permanente  $\Psi_2 Q_k$ : valor de la acción que es sobrepasado durante una gran parte de la vida útil del puente.
- Los valores de los coeficientes  $\Psi$  considerados son los siguientes:
  - Para las acciones viarias se consideran los coeficientes según la tabla 6.1-a de la IAP-11.
  - Para las acciones ferroviarias se consideran los coeficientes según en cuadro 3.1. de la IAPF-07.
  - Para el resto de las acciones se consideran los coeficientes según la tabla 4.2 del CTE.

## Acciones accidentales (A)

Para las acciones accidentales se considera un único valor representativo coincidente con el valor característico  $A_k$ .

### 3.2.5 VALORES DE CÁLCULO DE LAS ACCIONES

Con carácter general se siguen los criterios especificados en la Instrucción IAP sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera.

Los valores de cálculo de las diferentes acciones son los obtenidos aplicando el correspondiente coeficiente parcial de seguridad  $\gamma$  a los valores representativos de las acciones, definidos en el apartado anterior.

#### Estados límites últimos (E.L.U.)

Para los coeficientes parciales de seguridad  $\gamma$  se tomarán los siguientes valores básicos:

| Concepto                      |                      | Situaciones persistentes y transitorias |                       | Situaciones accidentales |                      |
|-------------------------------|----------------------|---|-----------------------|--------------------------|----------------------|
|                               |                      | Efecto favorable                        | Efecto desfavorable   | Efecto favorable         | Efecto desfavorable  |
| Acciones permanentes (1), (2) |                      | $\gamma_G = 1,0$                        | $\gamma_G = 1,35$     | $\gamma_G = 1,0$         | $\gamma_G = 1,0$     |
| Acciones permanentes          | Reológicas           | $\gamma_{G^*} = 1,0$                    | $\gamma_{G^*} = 1,35$ | $\gamma_{G^*} = 1,0$     | $\gamma_{G^*} = 1,0$ |
| de valor no constante         | Acciones del terreno | $\gamma_{G^*} = 1,0$                    | $\gamma_{G^*} = 1,50$ | $\gamma_{G^*} = 1,0$     | $\gamma_{G^*} = 1,0$ |
| Acciones variables            |                      | $\gamma_Q = 0$                          | $\gamma_Q = 1,5$      | $\gamma_Q = 0,0$         | $\gamma_Q = 1,0$     |
| Acciones accidentales         |                      |   |                       | $\gamma_A = 1,0$         | $\gamma_A = 1,0$     |

#### NOTAS.

(1) Los coeficientes  $\gamma_G = 1,0$  y  $\gamma_G = 1,35$ , se aplicarán a la totalidad de la acción, según su efecto sea favorable o desfavorable.

(2) En el caso de la carga de pavimento, se considerará para la totalidad de la acción:

- El valor representativo inferior  $G_{k,inf}$  ponderado por  $\gamma_G = 1,0$ , cuando su efecto sea favorable.
- El valor representativo superior  $G_{k,sup}$  ponderado por  $\gamma_G = 1,35$ , cuando su efecto sea desfavorable.

Se ha considerado una única hipótesis de carga tomando el valor representativo superior  $G_{k,sup}$  ponderado por  $\gamma_G = 1,35$ .

### Estados límites de servicio (E.L.S.)

Para los coeficientes parciales de seguridad  $\gamma$  se tomarán los siguientes valores, según se establece en la actual norma de acciones:

| Concepto                                      |                      | Situaciones persistentes y transitorias |                      |
|---|----------------------|---|----------------------|
|   |                      | Efecto favorable                        | Efecto desfavorable  |
| Acciones permanentes                          |                      | $\gamma_G = 1,0$                        | $\gamma_G = 1,0$     |
| Acciones permanentes<br>de valor no constante | Reológicas           | $\gamma_{G^*} = 1,0$                    | $\gamma_{G^*} = 1,0$ |
|   | Acciones del terreno | $\gamma_{G^*} = 1,0$                    | $\gamma_{G^*} = 1,0$ |
| Acciones variables                            |                      | $\gamma_Q = 0$                          | $\gamma_Q = 1,0$     |
|   |                      |   |                      |

### 3.2.6 COMBINACIÓN DE ACCIONES

Con carácter general se siguen los criterios especificados en la Instrucción IAP sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera.

Las hipótesis de carga a considerar se formarán combinando los valores de cálculo de las acciones cuya actuación pueda ser simultánea, según los criterios generales que se indican a continuación.

### Estados límites últimos

#### SITUACIONES PERSISTENTES Y TRANSITORIAS

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones se realizarán de acuerdo con el siguiente criterio:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{G^*,i} G^*_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{K,1} + \sum_{I > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

donde:

$G_{k,j}$  = valor representativo de cada acción permanente.

$G^*_{k,i}$  = valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.

$Q_{k,1}$  = valor representativo (valor característico) de la acción variable dominante.

$\psi_{0,i} Q_{k,i}$  = valores representativos (valores de combinación) de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante.

## SITUACIONES ACCIDENTALES

Por tratarse de una situación accidental en la que no se considera el sismo la combinación de las distintas acciones se realizarán de acuerdo con el siguiente criterio:

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

donde:

$G_{k,j}$ ,  $G^*_{k,i}$  = valores representativos de las acciones permanentes.

$\psi_{1,1} Q_{k,i}$  = valor frecuente de la acción variable dominante.

$\psi_{2,i} Q_{k,i}$  = valores casi-permanentes de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante y la acción accidental.

$A_k$  = valor característico de la acción accidental.

## Estados Límites de Servicio

Para estos estados se considerarán únicamente las situaciones persistentes y transitorias, excluyéndose las accidentales.

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones se realizarán de acuerdo con el siguiente criterio:

- Combinación característica (poco probable o rara):

$$\sum_{i \leq 1} \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} \cdot G^*_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

- Combinación frecuente:

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

- Combinación casi-permanente:

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

### 3.2.7 PROGRAMAS INFORMATICOS UTILIZADOS

Para la realización de esta memoria de cálculos se han empleado los siguientes programas informáticos:

- **Sap2000 v.14:** Programa de cálculo de estructuras por métodos matriciales y/o elementos finitos de amplia difusión mundial y ha sido utilizado para la modelización de los edificios de salida de emergencia de Puentelatorre.

Permite una entrada interactiva de datos y una gran flexibilidad en la asignación de nombres a las variables de entrada y de resultados, los cuales se pueden obtener tanto de forma numérica como gráfica, por lo que se dispone de una gran facilidad en la interpretación de los valores correspondientes.

Este programa informático puede realizar multitud de cálculos estructurales: lineales, no lineales en geometría y material, análisis sísmico, dinámico... pudiendo además realizar, en los casos más típicos, dimensionados y comprobaciones de elementos metálicos o de hormigón bajo las normativas de algunos países.

- **Plaxis:** Programa de elementos finitos enfocado hacia obras geotécnicas. Se ha utilizado para la obtención de los esfuerzos sobre el falso túnel de Puentelatorre. Este programa cuenta con un procesador que permite realizar cálculos por fases de los rellenos sobre el túnel para lo cual se ha modelizado la situación pésima que corresponde con una altura máxima de rellenos de 13 m. El falso túnel se modeliza mediante barras de características mecánicas equivalentes a las secciones de hormigón dispuestas.
- **Hojas de cálculo elaboradas por EPTISA,** en el que se desarrollan algunos de los cálculos de E.L.U. y E.L.S.

### 3.3 FALSO TÚNEL SALIDA DE EMERGENCIA PUENTELATORRE

#### 3.3.1 DESCRIPCION

Se trata de falso túnel situado entre la salida del túnel en mina y el edificio de salida de emergencia de Puentelatorre, el cual presenta una sección semicircular con una superficie libre de 48,75 m<sup>2</sup> y radio interior de 4,40 m. igual que el túnel en mina. El falso túnel tendrá una longitud aproximada de 9,25 m.

Se ha modelizado con una carga de tierras que se corresponde con un relleno máximo de 11,00 m. de tierras sobre la clave y una pendiente transversal de 0°.

El falso túnel estará formado por una bóveda de 60 cm. espesor el cual irá incrementándose hasta los 75 cm. en el arranque con las zapatas.

Las zapatas tendrán un vuelo interior de 100 cm. y un vuelo exterior de 175 cm. para un ancho total de 350 cm. El canto será de 1,25 m. y se empotrarán un mínimo de 0,50m. en el sustrato rocoso sano.

Se utilizan los siguientes elementos para la impermeabilización y el drenaje:

- Lámina de impermeabilización de PVC
- Lámina drenante de nódulos de polietileno de alta densidad.
- Geotextil 500 g/m<sup>2</sup>
- Tubo de PVC ranurado  $\phi$ 160 de doble pared.

#### 3.3.2 MATERIALES

- Hormigón
  - Hormigón estructural en bóvedas: HA-30/P/20/IIa  $f_{ck}=30$  N/mm<sup>2</sup>
  - Hormigón estructural en cimentaciones: HA-30/B/20/IIa  $f_{ck}=30$  N/mm<sup>2</sup>
  - Hormigón de limpieza:  $f_{ck}=15$  N/mm<sup>2</sup>

Los recubrimientos se han definido según el criterio de durabilidad definido en el artículo 37.2.4 de la instrucción EHE -08 para el ambiente definido en el proyecto.

En el caso de elementos hormigonados contra el terreno se preverá la sobreexcavación de manera que se garantice un recubrimiento mínimo de 70mm.

- Acero
  - Corrugado B-500 S:  $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$
- Terreno de relleno: Como material de relleno del falso túnel se utilizará el material rocoso procedente de la excavación, el cual se puede clasificar como un todo-uno con los siguientes parámetros.
  - Densidad seca:  $20,0 \text{ kN/m}^3$
  - Angulo rozamiento interno:  $33,00^\circ$
  - Cohesión:  $20,00 \text{ kN/m}^2$
  - Modulo elástico:  $30 \text{ MPa}$
  - Módulo de Poisson  $\nu$ :  $0,30$
- Terreno de cimentación: El falso túnel se apoyará en el sustrato rocoso caracterizado como material elástico con los siguientes valores.
  - Densidad seca:  $26,0 \text{ kN/m}^3$
  - Modulo elástico:  $600 \text{ MPa}$
  - Módulo de Poisson  $\nu$ :  $0,25$
  - Tensión admisible:  $10 \text{ kp/cm}^2$ .

Las presiones del terreno se obtienen en estado límite de servicio, es decir, con acciones sin mayorar.

Se admite que la tensión de pico supere en un 25% la admisible del terreno, siempre que la tensión media sea, además, no superior a dicha tensión admisible

$$\sigma_{adm} \geq \sigma_{pico} / 1,25$$

$$\sigma_{adm} \geq \sigma_{media}$$

### 3.3.3 MODELOS E HIPOTESIS DE CÁLCULO

Se ha realizado un modelo de elementos finitos en deformación plana que simula la situación pésima del falso túnel, correspondiente con la altura máxima de los rellenos. El perímetro

exterior del modelo queda limitado por el fondo de excavación, los taludes y la cota superior del relleno.

### 3.4 EDIFICIO DE SALIDA DE PUENTELATORRE

#### 3.4.1 DESCRIPCION

La estructura diseñada tiene unas dimensiones aproximadas de 13 m de largo y 10 m de ancho, con muros de hormigón de 0,60 que dan lugar a un ancho interior de 8,80 al igual que el túnel de mina. Esta estructura alberga en un sólo edificio la salida peatonal de emergencia al exterior y la chimenea de salida del conducto de ventilación de emergencia, la cual se produce a través de la cubierta de la estructura que dispone a tal efecto de una zona inclinada y cerrada por una rejilla.

#### 3.4.2 MATERIALES

Los materiales considerados son los siguientes:

- Hormigón: HA-30/B/20/IIa
- Acero: en todos los elementos B-500S

#### 3.4.3 CARGAS

Las cargas a considerar sobre el edificio de salida son las siguientes:

- Acciones permanentes:
  - o Peso propio
    - Hormigón: 25 kN/m<sup>3</sup>.
    - Acero: 78,5 kN/m<sup>3</sup>.
- Sobrecargas de uso:
  - o Acciones debidas al Terreno
    - Peso relleno sobre las estructuras ( $\gamma_p = 2,00 \text{ t/m}^3$ )  
 $p = \text{variable según zona.}$
    - Empuje sobre los paramentos verticales: se ha considerado un relleno de material granular con las siguientes características:
      - Peso específico: 2,00 t/m<sup>3</sup>

- Angulo de rozamiento interno: 33°
- Cohesión: 0 t/m<sup>2</sup>
- $k_{ah}$ : 0,50

- o Sobrecarga repartida

No se han considerado.

- Acciones Climáticas

- o Viento

Se ha considerado un esfuerzo de viento obtenido según el CTE DB-SE-AE para la zona eólica C y grado de exposición IV.

- Presión estática: 0,135 t/m<sup>2</sup>

- o Nieve

Se ha considerado una sobrecarga de 0,04 t/m<sup>2</sup>. sobre el forjado del edificio de salida.

- Acciones térmicas

No se consideran acciones térmicas sobre la estructura.

- Acciones sísmicas

Para el emplazamiento de la obra se ha considerado una aceleración sísmica básica inferior a 0,04 g, por lo que no es necesario tener en cuenta las acciones sísmicas para el cálculo de la estructura.

### 3.4.4 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Para el análisis y dimensionamiento del edificio de salida de Puentelatorre se ha procedido al modelizado completo de la estructura mediante elementos Shell (áreas) que definen los diferentes paramentos de hormigón armado del edificio, así como mediante elemento Frame (vigas) para la correcta definición de los zunchos de borde del hueco de la chimenea de emergencia.

Sobre estos elementos se definen las diferentes cargas que actúan, ya sean, el empuje del relleno, la presión del viento sobre los paramentos verticales o la carga de nieve sobre la cubierta.

Una vez se obtienen los esfuerzos sobre el edificio se procede al dimensionamiento de los diferentes elementos que la conforman mediante el empleo de hojas de cálculo de elaboración propia.



APÉNDICE N°: 9.1:

# **Cálculos salida de emergencia Puente torre**



# ÍNDICE

## 1. FALSO TÚNEL

- 1.1 CÁLCULOS ESFUERZOS
- 1.2 DIMENSIONAMIENTO SECCIONES
  - 1.2.1 BÓVEDA
  - 1.2.2 HASTIAL
  - 1.2.3 ZAPATA
  - 1.2.4 EMPUE AL VACÍO
- 1.3 TENSIONES SOBRE EL TERRENO

## 2. EDIFICIO SALIDA EMERGENCIA

- 2.1 ESFUERZOS
  - 2.1.1 SALIDA NUMÉRICA
  - 2.1.2 SALIDA GRÁFICA
  - 2.1.3 RESUMEN
- 2.2 DIMENSIONAMIENTO SECCIONES
  - 2.2.1 PLACAS
  - 2.2.2 VIGAS

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL





## 1. FALSO TÚNEL

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL





## 1.1 CÁLCULOS ESFUERZOS

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL





# REPORT

mayo 19, 2021

**User:** EPTISA CINSA

**Title:** FALSO TUNEL PUENTELATORRE

## Table of Contents

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 1. General Information.....  | 3  |
| 2. Geometry.....             | 4  |
| 3. Structures .....          | 5  |
| 4. Mesh data.....            | 6  |
| 5. Material data .....       | 7  |
| 6. Calculation phases.....   | 9  |
| 7. Results for phase 7 ..... | 10 |

## 1. General Information

Table [1] Units

| Type   | Unit |
|--------|------|
| Length | m    |
| Force  | kN   |
| Time   | day  |

Table [2] Model dimensions

|   | min.    | max.   |
|---|---------|--------|
| X | -20,000 | 20,000 |
| Y | -15,000 | 13,000 |

Table [3] Model

|         |              |
|---------|--------------|
| Model   | Plane strain |
| Element | 15-Noded     |

## 2. Geometry

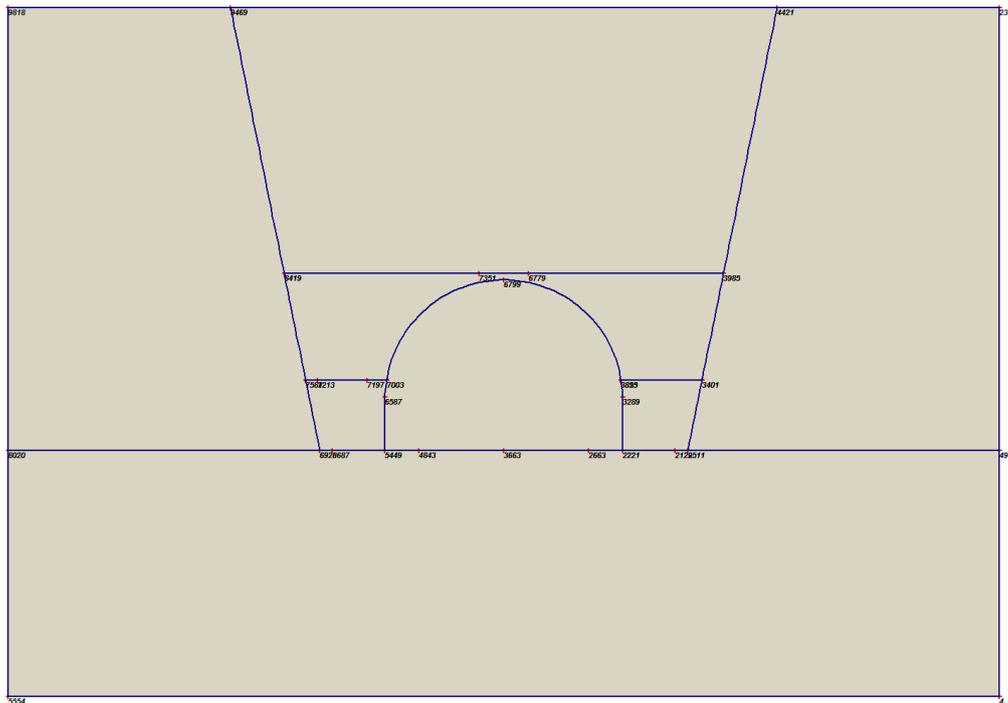


Fig. 1 Plot of geometry model with significant nodes

Table [4] Table of significant nodes

| Node no. | x-coord. | y-coord. | Node no. | x-coord. | y-coord. |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3663     | 0,000    | -5,000   | 6687     | -6,925   | -5,000   |
| 2221     | 4,800    | -5,000   | 2129     | 6,925    | -5,000   |
| 3289     | 4,800    | -2,830   | 7351     | -1,000   | 2,200    |
| 3353     | 4,728    | -2,149   | 6779     | 1,000    | 2,200    |
| 6799     | 0,000    | 1,940    | 7197     | -5,500   | -2,149   |
| 7003     | -4,728   | -2,149   | 7213     | -7,500   | -2,149   |
| 6587     | -4,800   | -2,830   | 4843     | -3,425   | -5,000   |
| 5449     | -4,800   | -5,000   | 2663     | 3,425    | -5,000   |
| 9818     | -20,000  | 13,000   | 7581     | -7,995   | -2,149   |
| 9469     | -11,025  | 13,000   | 3985     | 8,865    | 2,200    |
| 6923     | -7,425   | -5,000   | 8419     | -8,865   | 2,200    |
| 2511     | 7,425    | -5,000   | 3825     | 4,727    | -2,145   |
| 4421     | 11,025   | 13,000   | 3401     | 7,995    | -2,148   |
| 2314     | 20,000   | 13,000   | 8020     | -20,000  | -5,000   |
| 5554     | -20,000  | -15,000  | 497      | 20,000   | -5,000   |
| 4        | 20,000   | -15,000  |          |          |          |

### 3. Structures

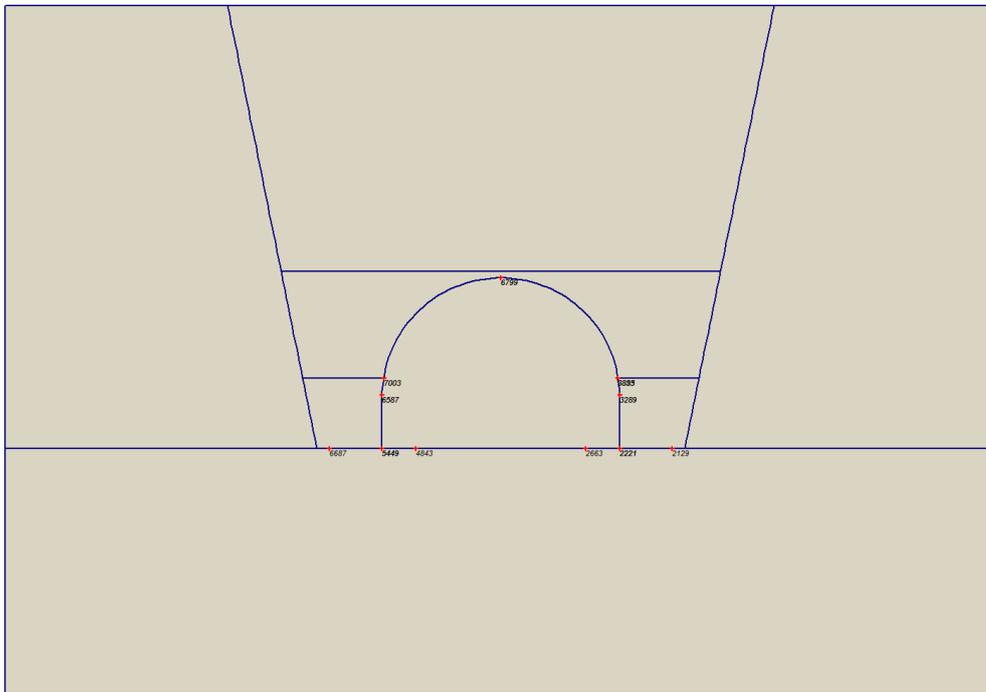


Fig. 2 Plot of geometry model with structures

Table [5] Beams

| Plate no. | Data set           | Length [m] | Nodes             |
|-----------|--------------------|------------|-------------------|
| 1         | Hastial_0,68 medio | 2,170      | 2221, 3289.       |
| 2         | Boveda_60          | 0,685      | 3289, 3353.       |
| 3         | Boveda_60          | 6,813      | 3353, 3825, 6799. |
| 4         | Boveda_60          | 6,813      | 6799, 7003.       |
| 5         | Boveda_60          | 0,685      | 7003, 6587.       |
| 6         | Hastial_0,68 medio | 2,170      | 6587, 5449.       |
| 7         | Zapata_125         | 3,500      | 5449, 6687, 5449. |
| 8         | Zapata_125         | 3,500      | 2663, 2221, 2129. |

## 4. Mesh data

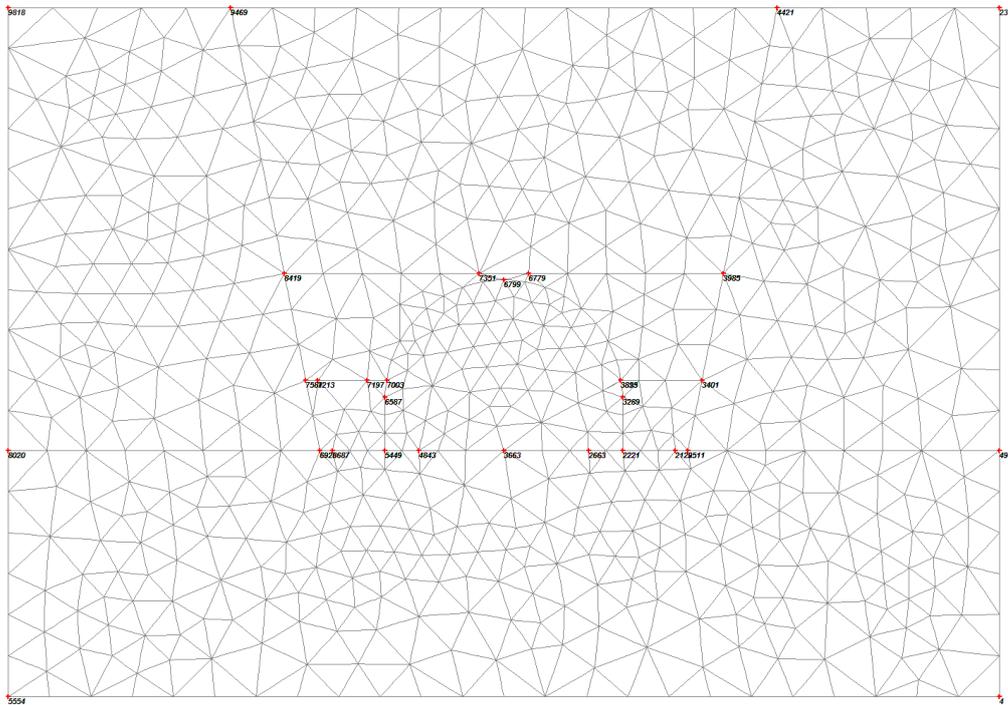


Fig. 3 Plot of the mesh with significant nodes

Table [6] Numbers, type of elements, integrations

| Type  | Type of element | Type of integration | Total no. |
|-------|-----------------|---------------------|-----------|
| Soil  | 15-noded        | 12-point Gauss      | 1207      |
| Plate | 5-node line     | 4-point Gauss       | 35        |

## 5. Material data

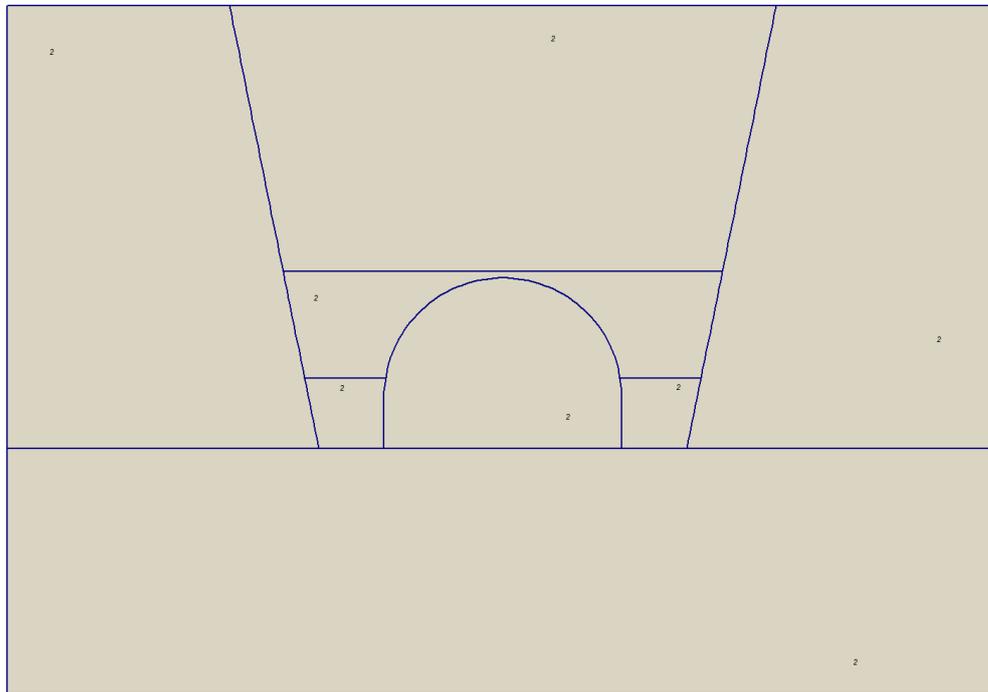


Fig. 4 Plot of geometry with material data sets

Table [7] Soil data sets parameters

| <i>Linear Elastic</i> |                        | <b>2</b>           |
|-----------------------|------------------------|--------------------|
|                       |                        | <b>Roca G:II-I</b> |
| <b>Type</b>           |                        | Drained            |
| $\gamma_{unsat}$      | [kN/m <sup>3</sup> ]   | 26,00              |
| $\gamma_{sat}$        | [kN/m <sup>3</sup> ]   | 26,00              |
| $k_x$                 | [m/day]                | 0,000              |
| $k_y$                 | [m/day]                | 0,000              |
| $e_{init}$            | [-]                    | 0,500              |
| $c_k$                 | [-]                    | 1E15               |
| $E_{ref}$             | [kN/m <sup>2</sup> ]   | 600000,00          |
| $\nu$                 | [-]                    | 0,250              |
| $G_{ref}$             | [kN/m <sup>2</sup> ]   | 240000,000         |
| $E_{oed}$             | [kN/m <sup>2</sup> ]   | 720000,000         |
| $E_{incr}$            | [kN/m <sup>2</sup> /m] | 0,00               |
| $y_{ref}$             | [m]                    | 0,000              |
| $R_{inter}$           | [-]                    | 1,000              |

|                               |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| <b>Linear Elastic</b>         | <b>2</b><br><b>Roca G:II-I</b> |
| <b>Interface permeability</b> | Neutral                        |

|                               |                        |                            |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------|
| <b>Mohr-Coulomb</b>           |                        | <b>1</b><br><b>Relleno</b> |
| <b>Type</b>                   |                        | Drained                    |
| $\gamma_{unsat}$              | [kN/m <sup>3</sup> ]   | 20,00                      |
| $\gamma_{sat}$                | [kN/m <sup>3</sup> ]   | 20,00                      |
| $k_x$                         | [m/day]                | 0,000                      |
| $k_y$                         | [m/day]                | 0,000                      |
| $e_{init}$                    | [-]                    | 0,500                      |
| $c_k$                         | [-]                    | 1E15                       |
| $E_{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ]   | 30000,000                  |
| $\nu$                         | [-]                    | 0,300                      |
| $G_{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ]   | 11538,462                  |
| $E_{oed}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ]   | 40384,615                  |
| $c_{ref}$                     | [kN/m <sup>2</sup> ]   | 20,00                      |
| $\phi$                        | [°]                    | 33,00                      |
| $\psi$                        | [°]                    | 0,00                       |
| $E_{inc}$                     | [kN/m <sup>2</sup> /m] | 0,00                       |
| $y_{ref}$                     | [m]                    | 0,000                      |
| $C_{increment}$               | [kN/m <sup>2</sup> /m] | 0,00                       |
| $T_{str.}$                    | [kN/m <sup>2</sup> ]   | 0,00                       |
| $R_{inter.}$                  | [-]                    | 1,00                       |
| <b>Interface permeability</b> |                        | Neutral                    |

Table [8] Beam data sets parameters

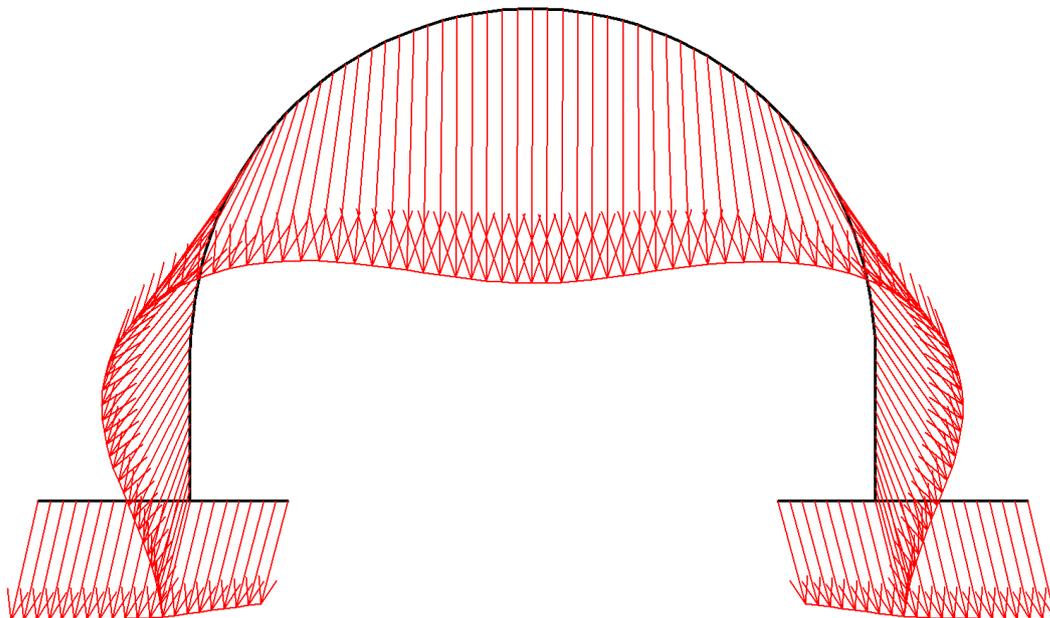
| No. | Identification     | EA<br>[kN/m] | EI<br>[kNm <sup>2</sup> /m] | w<br>[kN/m/m] | v<br>[-] | Mp<br>[kNm/m] | Np<br>[kN/m] |
|-----|--------------------|--------------|-----------------------------|---------------|----------|---------------|--------------|
| 1   | Boveda_60          | 1,62E7       | 4,86E5                      | 15,00         | 0,20     | 1E15          | 1E15         |
| 2   | Hastial_0,68 medio | 1,836E7      | 7,074E5                     | 17,00         | 0,20     | 1E15          | 1E15         |
| 3   | Zapata_100         | 2,7E7        | 2,25E6                      | 25,00         | 0,20     | 1E15          | 1E15         |
| 4   | Zapata_125         | 3,375E7      | 4,395E6                     | 31,25         | 0,20     | 1E15          | 1E15         |
| 5   | Zapata_135         | 3,645E7      | 5,536E6                     | 33,75         | 0,20     | 1E15          | 1E15         |

## 6. Calculation phases

Table [9] List of phases

| Phase         | Ph-No. | Start phase | Calculation type | Load input          | First step | Last step |
|---------------|--------|-------------|------------------|---------------------|------------|-----------|
| Initial phase | 0      | 0           |                  | -                   | 0          | 0         |
| <Phase 1>     | 1      | 0           | Plastic          | Staged construction | 1          | 1         |
| <Phase 2>     | 2      | 1           | Plastic          | Staged construction | 2          | 2         |
| <Phase 3>     | 3      | 2           | Plastic          | Staged construction | 3          | 8         |
| <Phase 4>     | 4      | 3           | Plastic          | Staged construction | 9          | 13        |
| <Phase 5>     | 5      | 4           | Plastic          | Staged construction | 14         | 17        |
| <Phase 6>     | 6      | 5           | Plastic          | Staged construction | 18         | 19        |
| <Phase 7>     | 7      | 6           | Plastic          | Staged construction | 20         | 33        |

## 7. Results for phase 7



**Fig. 5 Total displacements in beam**

Extreme value  $8,91 \cdot 10^{-3}$  m (phase: 7)

**Table [10] Table of beam displacements phase no: 7**

| Node no. | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]     | Uy [m]      | dUx [m]    | dUy [m]     |
|----------|--------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 2221     | 4,800        | -5,000       | 9,0583E-04 | -3,7555E-03 | 4,6498E-05 | -1,5902E-04 |
| 2227     | 4,800        | -4,819       | 9,6398E-04 | -3,7700E-03 | 4,9590E-05 | -1,5970E-04 |
| 2226     | 4,800        | -4,638       | 1,0425E-03 | -3,7844E-03 | 5,3785E-05 | -1,6038E-04 |
| 2225     | 4,800        | -4,457       | 1,1394E-03 | -3,7987E-03 | 5,8963E-05 | -1,6107E-04 |
| 2783     | 4,800        | -4,277       | 1,2524E-03 | -3,8130E-03 | 6,5005E-05 | -1,6175E-04 |
| 2783     | 4,800        | -4,277       | 1,2524E-03 | -3,8130E-03 | 6,5005E-05 | -1,6175E-04 |
| 2784     | 4,800        | -4,096       | 1,3794E-03 | -3,8272E-03 | 7,1785E-05 | -1,6243E-04 |
| 2785     | 4,800        | -3,915       | 1,5181E-03 | -3,8413E-03 | 7,9181E-05 | -1,6311E-04 |
| 2786     | 4,800        | -3,734       | 1,6662E-03 | -3,8554E-03 | 8,7064E-05 | -1,6379E-04 |
| 2799     | 4,800        | -3,553       | 1,8213E-03 | -3,8693E-03 | 9,5306E-05 | -1,6446E-04 |
| 2799     | 4,800        | -3,553       | 1,8213E-03 | -3,8693E-03 | 9,5306E-05 | -1,6446E-04 |

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]     | Uy [m]      | dUx [m]    | dUy [m]     |
|-------------|--------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 2805        | 4,800        | -3,373       | 1,9810E-03 | -3,8832E-03 | 1,0377E-04 | -1,6514E-04 |
| 2804        | 4,800        | -3,192       | 2,1427E-03 | -3,8970E-03 | 1,1233E-04 | -1,6582E-04 |
| 2803        | 4,800        | -3,011       | 2,3039E-03 | -3,9106E-03 | 1,2084E-04 | -1,6649E-04 |
| 3289        | 4,800        | -2,830       | 2,4619E-03 | -3,9242E-03 | 1,2916E-04 | -1,6716E-04 |
| <b>Max:</b> |              |              | 2,4619E-03 | -1,0000E-20 | 1,2916E-04 | -1,0000E-20 |
| <b>Min:</b> |              |              | 9,0583E-04 | -3,9242E-03 | 4,6498E-05 | -1,6716E-04 |

Table [10] Table of beam displacements phase no: 7

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]     | Uy [m]      | dUx [m]    | dUy [m]     |
|-------------|--------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 3289        | 4,800        | -2,830       | 2,4619E-03 | -3,9242E-03 | 1,2916E-04 | -1,6716E-04 |
| 3293        | 4,787        | -2,659       | 2,6034E-03 | -3,9279E-03 | 1,3659E-04 | -1,6731E-04 |
| 3294        | 4,770        | -2,489       | 2,7341E-03 | -3,9297E-03 | 1,4343E-04 | -1,6737E-04 |
| 3295        | 4,751        | -2,319       | 2,8516E-03 | -3,9305E-03 | 1,4954E-04 | -1,6737E-04 |
| 3353        | 4,728        | -2,149       | 2,9538E-03 | -3,9309E-03 | 1,5482E-04 | -1,6737E-04 |
| <b>Max:</b> |              |              | 2,9538E-03 | -1,0000E-20 | 1,5482E-04 | -1,0000E-20 |
| <b>Min:</b> |              |              | 2,4619E-03 | -3,9309E-03 | 1,2916E-04 | -1,6737E-04 |

Table [10] Table of beam displacements phase no: 7

| Node no. | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]     | Uy [m]      | dUx [m]    | dUy [m]     |
|----------|--------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 3353     | 4,728        | -2,149       | 2,9538E-03 | -3,9309E-03 | 1,5482E-04 | -1,6737E-04 |
| 3359     | 4,728        | -2,148       | 2,9544E-03 | -3,9309E-03 | 1,5485E-04 | -1,6737E-04 |
| 3358     | 4,727        | -2,147       | 2,9549E-03 | -3,9309E-03 | 1,5487E-04 | -1,6737E-04 |
| 3357     | 4,727        | -2,146       | 2,9555E-03 | -3,9309E-03 | 1,5490E-04 | -1,6737E-04 |
| 3825     | 4,727        | -2,145       | 2,9560E-03 | -3,9309E-03 | 1,5493E-04 | -1,6737E-04 |
| 3825     | 4,727        | -2,145       | 2,9560E-03 | -3,9309E-03 | 1,5493E-04 | -1,6737E-04 |
| 3831     | 4,692        | -1,936       | 3,0580E-03 | -3,9310E-03 | 1,6011E-04 | -1,6736E-04 |
| 3830     | 4,647        | -1,728       | 3,1296E-03 | -3,9328E-03 | 1,6365E-04 | -1,6748E-04 |
| 3829     | 4,593        | -1,522       | 3,1689E-03 | -3,9398E-03 | 1,6543E-04 | -1,6788E-04 |
| 4155     | 4,530        | -1,318       | 3,1750E-03 | -3,9551E-03 | 1,6541E-04 | -1,6877E-04 |
| 4155     | 4,530        | -1,318       | 3,1750E-03 | -3,9551E-03 | 1,6541E-04 | -1,6877E-04 |
| 4161     | 4,458        | -1,118       | 3,1479E-03 | -3,9821E-03 | 1,6359E-04 | -1,7031E-04 |
| 4160     | 4,377        | -0,922       | 3,0886E-03 | -4,0238E-03 | 1,6003E-04 | -1,7267E-04 |
| 4159     | 4,287        | -0,729       | 2,9987E-03 | -4,0829E-03 | 1,5482E-04 | -1,7599E-04 |
| 4607     | 4,189        | -0,540       | 2,8807E-03 | -4,1617E-03 | 1,4809E-04 | -1,8039E-04 |
| 4607     | 4,189        | -0,540       | 2,8807E-03 | -4,1617E-03 | 1,4809E-04 | -1,8039E-04 |
| 4611     | 4,082        | -0,355       | 2,7375E-03 | -4,2620E-03 | 1,4003E-04 | -1,8597E-04 |

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]      | Uy [m]      | dUx [m]     | dUy [m]     |
|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 4612        | 3,968        | -0,176       | 2,5727E-03  | -4,3849E-03 | 1,3083E-04  | -1,9278E-04 |
| 4613        | 3,845        | -0,002       | 2,3901E-03  | -4,5313E-03 | 1,2070E-04  | -2,0085E-04 |
| 5037        | 3,715        | 0,166        | 2,1937E-03  | -4,7010E-03 | 1,0987E-04  | -2,1017E-04 |
| 5037        | 3,715        | 0,166        | 2,1937E-03  | -4,7010E-03 | 1,0987E-04  | -2,1017E-04 |
| 5043        | 3,578        | 0,329        | 1,9877E-03  | -4,8937E-03 | 9,8572E-05  | -2,2071E-04 |
| 5042        | 3,433        | 0,485        | 1,7764E-03  | -5,1080E-03 | 8,7054E-05  | -2,3237E-04 |
| 5041        | 3,282        | 0,635        | 1,5639E-03  | -5,3421E-03 | 7,5543E-05  | -2,4505E-04 |
| 5577        | 3,124        | 0,777        | 1,3542E-03  | -5,5937E-03 | 6,4258E-05  | -2,5858E-04 |
| 5577        | 3,124        | 0,777        | 1,3542E-03  | -5,5937E-03 | 6,4258E-05  | -2,5858E-04 |
| 5578        | 2,960        | 0,913        | 1,1510E-03  | -5,8599E-03 | 5,3397E-05  | -2,7283E-04 |
| 5579        | 2,790        | 1,041        | 9,5753E-04  | -6,1374E-03 | 4,3144E-05  | -2,8757E-04 |
| 5580        | 2,615        | 1,161        | 7,7685E-04  | -6,4226E-03 | 3,3652E-05  | -3,0260E-04 |
| 5639        | 2,434        | 1,274        | 6,1141E-04  | -6,7111E-03 | 2,5049E-05  | -3,1766E-04 |
| 5639        | 2,434        | 1,274        | 6,1141E-04  | -6,7111E-03 | 2,5049E-05  | -3,1766E-04 |
| 5645        | 2,248        | 1,378        | 4,6318E-04  | -6,9988E-03 | 1,7431E-05  | -3,3253E-04 |
| 5644        | 2,058        | 1,474        | 3,3354E-04  | -7,2810E-03 | 1,0857E-05  | -3,4695E-04 |
| 5643        | 1,864        | 1,561        | 2,2326E-04  | -7,5533E-03 | 5,3513E-06  | -3,6069E-04 |
| 6383        | 1,667        | 1,640        | 1,3251E-04  | -7,8113E-03 | 8,9912E-07  | -3,7353E-04 |
| 6383        | 1,667        | 1,640        | 1,3251E-04  | -7,8113E-03 | 8,9912E-07  | -3,7353E-04 |
| 6384        | 1,466        | 1,710        | 6,0896E-05  | -8,0506E-03 | -2,5436E-06 | -3,8528E-04 |
| 6385        | 1,262        | 1,770        | 7,4576E-06  | -8,2673E-03 | -5,0479E-06 | -3,9574E-04 |
| 6386        | 1,055        | 1,822        | -2,9297E-05 | -8,4574E-03 | -6,7096E-06 | -4,0479E-04 |
| 6393        | 0,847        | 1,864        | -5,1333E-05 | -8,6177E-03 | -7,6452E-06 | -4,1229E-04 |
| 6393        | 0,847        | 1,864        | -5,1333E-05 | -8,6177E-03 | -7,6452E-06 | -4,1229E-04 |
| 6397        | 0,637        | 1,898        | -6,1042E-05 | -8,7451E-03 | -7,9876E-06 | -4,1816E-04 |
| 6398        | 0,425        | 1,921        | -6,1190E-05 | -8,8372E-03 | -7,8805E-06 | -4,2233E-04 |
| 6399        | 0,213        | 1,935        | -5,4827E-05 | -8,8925E-03 | -7,4737E-06 | -4,2477E-04 |
| 6799        | 0,000        | 1,940        | -4,5193E-05 | -8,9100E-03 | -6,9209E-06 | -4,2544E-04 |
| <b>Max:</b> |              |              | 3,1750E-03  | -1,0000E-20 | 1,6543E-04  | -1,0000E-20 |
| <b>Min:</b> |              |              | -6,1190E-05 | -8,9100E-03 | -7,9876E-06 | -4,2544E-04 |

Table [10] Table of beam displacements phase no: 7

| Node no. | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]      | Uy [m]      | dUx [m]     | dUy [m]     |
|----------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 6799     | 0,000        | 1,940        | -4,5193E-05 | -8,9100E-03 | -6,9209E-06 | -4,2544E-04 |
| 6800     | -0,213       | 1,935        | -3,5622E-05 | -8,8894E-03 | -6,3776E-06 | -4,2433E-04 |
| 6801     | -0,425       | 1,921        | -2,9464E-05 | -8,8310E-03 | -5,9996E-06 | -4,2146E-04 |
| 6802     | -0,637       | 1,897        | -2,9958E-05 | -8,7357E-03 | -5,9399E-06 | -4,1686E-04 |
| 6809     | -0,847       | 1,864        | -4,0145E-05 | -8,6053E-03 | -6,3467E-06 | -4,1058E-04 |

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]      | Uy [m]      | dUx [m]     | dUy [m]     |
|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 6809        | -0,847       | 1,864        | -4,0145E-05 | -8,6053E-03 | -6,3467E-06 | -4,1058E-04 |
| 6810        | -1,056       | 1,822        | -6,2777E-05 | -8,4422E-03 | -7,3615E-06 | -4,0269E-04 |
| 6811        | -1,262       | 1,770        | -1,0022E-04 | -8,2494E-03 | -9,1142E-06 | -3,9328E-04 |
| 6812        | -1,467       | 1,709        | -1,5443E-04 | -8,0303E-03 | -1,1718E-05 | -3,8248E-04 |
| 7029        | -1,668       | 1,640        | -2,2684E-04 | -7,7888E-03 | -1,5264E-05 | -3,7045E-04 |
| 7029        | -1,668       | 1,640        | -2,2684E-04 | -7,7888E-03 | -1,5264E-05 | -3,7045E-04 |
| 7023        | -1,865       | 1,561        | -3,1840E-04 | -7,5290E-03 | -1,9818E-05 | -3,5735E-04 |
| 7024        | -2,060       | 1,473        | -4,2945E-04 | -7,2551E-03 | -2,5421E-05 | -3,4341E-04 |
| 7025        | -2,250       | 1,377        | -5,5978E-04 | -6,9717E-03 | -3,2082E-05 | -3,2882E-04 |
| 7055        | -2,435       | 1,273        | -7,0858E-04 | -6,6832E-03 | -3,9773E-05 | -3,1383E-04 |
| 7055        | -2,435       | 1,273        | -7,0858E-04 | -6,6832E-03 | -3,9773E-05 | -3,1383E-04 |
| 7039        | -2,616       | 1,160        | -8,7441E-04 | -6,3942E-03 | -4,8430E-05 | -2,9869E-04 |
| 7040        | -2,791       | 1,040        | -1,0553E-03 | -6,1091E-03 | -5,7954E-05 | -2,8362E-04 |
| 7041        | -2,961       | 0,912        | -1,2486E-03 | -5,8318E-03 | -6,8217E-05 | -2,6888E-04 |
| 7045        | -3,125       | 0,776        | -1,4515E-03 | -5,5663E-03 | -7,9058E-05 | -2,5467E-04 |
| 7045        | -3,125       | 0,776        | -1,4515E-03 | -5,5663E-03 | -7,9058E-05 | -2,5467E-04 |
| 6891        | -3,283       | 0,633        | -1,6604E-03 | -5,3157E-03 | -9,0292E-05 | -2,4119E-04 |
| 6892        | -3,435       | 0,483        | -1,8716E-03 | -5,0831E-03 | -1,0171E-04 | -2,2862E-04 |
| 6893        | -3,579       | 0,327        | -2,0812E-03 | -4,8706E-03 | -1,1309E-04 | -2,1709E-04 |
| 6897        | -3,717       | 0,164        | -2,2849E-03 | -4,6801E-03 | -1,2420E-04 | -2,0672E-04 |
| 6897        | -3,717       | 0,164        | -2,2849E-03 | -4,6801E-03 | -1,2420E-04 | -2,0672E-04 |
| 6898        | -3,847       | -0,004       | -2,4784E-03 | -4,5128E-03 | -1,3479E-04 | -1,9759E-04 |
| 6899        | -3,969       | -0,178       | -2,6575E-03 | -4,3691E-03 | -1,4463E-04 | -1,8973E-04 |
| 6900        | -4,084       | -0,358       | -2,8182E-03 | -4,2490E-03 | -1,5350E-04 | -1,8314E-04 |
| 7261        | -4,190       | -0,542       | -2,9565E-03 | -4,1517E-03 | -1,6116E-04 | -1,7780E-04 |
| 7261        | -4,190       | -0,542       | -2,9565E-03 | -4,1517E-03 | -1,6116E-04 | -1,7780E-04 |
| 7014        | -4,288       | -0,731       | -3,0692E-03 | -4,0758E-03 | -1,6744E-04 | -1,7364E-04 |
| 7015        | -4,378       | -0,924       | -3,1532E-03 | -4,0196E-03 | -1,7215E-04 | -1,7055E-04 |
| 7016        | -4,459       | -1,121       | -3,2062E-03 | -3,9806E-03 | -1,7517E-04 | -1,6842E-04 |
| 7013        | -4,531       | -1,322       | -3,2266E-03 | -3,9561E-03 | -1,7640E-04 | -1,6709E-04 |
| 7013        | -4,531       | -1,322       | -3,2266E-03 | -3,9561E-03 | -1,7640E-04 | -1,6709E-04 |
| 6997        | -4,594       | -1,525       | -3,2136E-03 | -3,9430E-03 | -1,7580E-04 | -1,6640E-04 |
| 6998        | -4,648       | -1,731       | -3,1672E-03 | -3,9380E-03 | -1,7337E-04 | -1,6616E-04 |
| 6999        | -4,692       | -1,939       | -3,0885E-03 | -3,9377E-03 | -1,6917E-04 | -1,6618E-04 |
| 7003        | -4,728       | -2,149       | -2,9796E-03 | -3,9388E-03 | -1,6330E-04 | -1,6630E-04 |
| <b>Max:</b> |              |              | -1,0000E-20 | -1,0000E-20 | -1,0000E-20 | -1,0000E-20 |
| <b>Min:</b> |              |              | -3,2266E-03 | -8,9100E-03 | -1,7640E-04 | -4,2544E-04 |

Table [10] Table of beam displacements phase no: 7

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]      | Uy [m]      | dUx [m]     | dUy [m]     |
|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 7003        | -4,728       | -2,149       | -2,9796E-03 | -3,9388E-03 | -1,6330E-04 | -1,6630E-04 |
| 6588        | -4,751       | -2,319       | -2,8723E-03 | -3,9393E-03 | -1,5750E-04 | -1,6637E-04 |
| 6589        | -4,770       | -2,489       | -2,7498E-03 | -3,9393E-03 | -1,5086E-04 | -1,6642E-04 |
| 6590        | -4,787       | -2,659       | -2,6144E-03 | -3,9381E-03 | -1,4350E-04 | -1,6641E-04 |
| 6587        | -4,800       | -2,830       | -2,4683E-03 | -3,9350E-03 | -1,3556E-04 | -1,6629E-04 |
| <b>Max:</b> |              |              | -1,0000E-20 | -1,0000E-20 | -1,0000E-20 | -1,0000E-20 |
| <b>Min:</b> |              |              | -2,9796E-03 | -3,9393E-03 | -1,6330E-04 | -1,6642E-04 |

Table [10] Table of beam displacements phase no: 7

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]      | Uy [m]      | dUx [m]     | dUy [m]     |
|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 6587        | -4,800       | -2,830       | -2,4683E-03 | -3,9350E-03 | -1,3556E-04 | -1,6629E-04 |
| 6033        | -4,800       | -3,011       | -2,3059E-03 | -3,9217E-03 | -1,2672E-04 | -1,6562E-04 |
| 6034        | -4,800       | -3,192       | -2,1405E-03 | -3,9082E-03 | -1,1769E-04 | -1,6495E-04 |
| 6035        | -4,800       | -3,373       | -1,9750E-03 | -3,8947E-03 | -1,0864E-04 | -1,6427E-04 |
| 6029        | -4,800       | -3,553       | -1,8120E-03 | -3,8810E-03 | -9,9692E-05 | -1,6360E-04 |
| 6029        | -4,800       | -3,553       | -1,8120E-03 | -3,8810E-03 | -9,9692E-05 | -1,6360E-04 |
| 6015        | -4,800       | -3,734       | -1,6539E-03 | -3,8672E-03 | -9,0995E-05 | -1,6292E-04 |
| 6014        | -4,800       | -3,915       | -1,5033E-03 | -3,8534E-03 | -8,2683E-05 | -1,6224E-04 |
| 6013        | -4,800       | -4,096       | -1,3624E-03 | -3,8394E-03 | -7,4890E-05 | -1,6156E-04 |
| 6019        | -4,800       | -4,277       | -1,2336E-03 | -3,8254E-03 | -6,7747E-05 | -1,6088E-04 |
| 6019        | -4,800       | -4,277       | -1,2336E-03 | -3,8254E-03 | -6,7747E-05 | -1,6088E-04 |
| 5450        | -4,800       | -4,457       | -1,1190E-03 | -3,8113E-03 | -6,1384E-05 | -1,6020E-04 |
| 5451        | -4,800       | -4,638       | -1,0208E-03 | -3,7971E-03 | -5,5928E-05 | -1,5952E-04 |
| 5452        | -4,800       | -4,819       | -9,4102E-04 | -3,7828E-03 | -5,1505E-05 | -1,5884E-04 |
| 5449        | -4,800       | -5,000       | -8,8168E-04 | -3,7686E-03 | -4,8240E-05 | -1,5815E-04 |
| <b>Max:</b> |              |              | -1,0000E-20 | -1,0000E-20 | -1,0000E-20 | -1,0000E-20 |
| <b>Min:</b> |              |              | -2,4683E-03 | -3,9350E-03 | -1,3556E-04 | -1,6629E-04 |

Table [10] Table of beam displacements phase no: 7

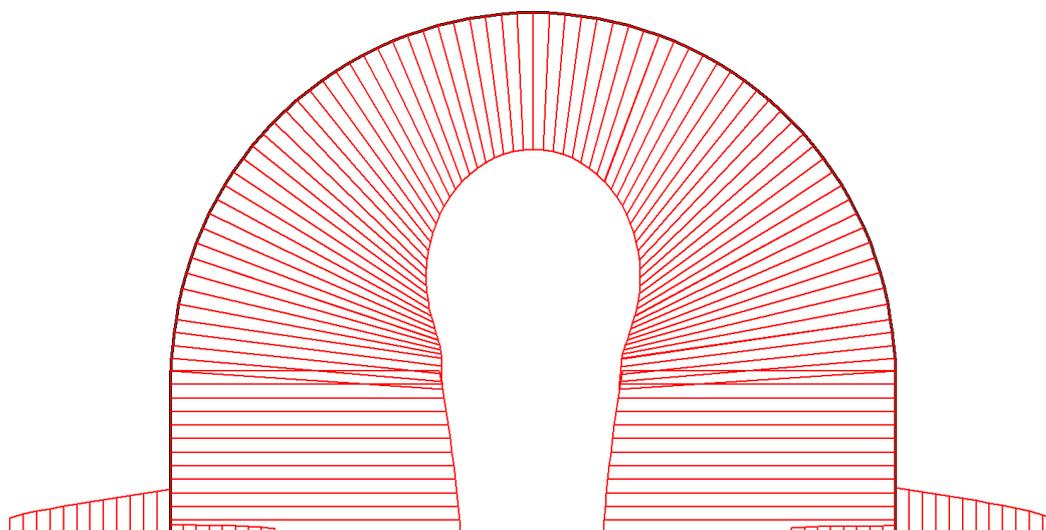
| Node no. | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]      | Uy [m]      | dUx [m]     | dUy [m]     |
|----------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 5105     | -4,113       | -5,000       | -8,8172E-04 | -3,5557E-03 | -4,8202E-05 | -1,4741E-04 |
| 4846     | -3,941       | -5,000       | -8,8179E-04 | -3,5002E-03 | -4,8197E-05 | -1,4464E-04 |
| 4845     | -3,769       | -5,000       | -8,8190E-04 | -3,4449E-03 | -4,8196E-05 | -1,4187E-04 |
| 4844     | -3,597       | -5,000       | -8,8206E-04 | -3,3902E-03 | -4,8196E-05 | -1,3913E-04 |
| 4843     | -3,425       | -5,000       | -8,8221E-04 | -3,3367E-03 | -4,8199E-05 | -1,3644E-04 |
| 5449     | -4,800       | -5,000       | -8,8168E-04 | -3,7686E-03 | -4,8240E-05 | -1,5815E-04 |

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]      | Uy [m]      | dUx [m]     | dUy [m]     |
|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 5108        | -4,628       | -5,000       | -8,8165E-04 | -3,7178E-03 | -4,8228E-05 | -1,5557E-04 |
| 5107        | -4,456       | -5,000       | -8,8165E-04 | -3,6650E-03 | -4,8217E-05 | -1,5290E-04 |
| 5106        | -4,284       | -5,000       | -8,8167E-04 | -3,6108E-03 | -4,8209E-05 | -1,5017E-04 |
| 5105        | -4,113       | -5,000       | -8,8172E-04 | -3,5557E-03 | -4,8202E-05 | -1,4741E-04 |
| 6687        | -6,925       | -5,000       | -8,7157E-04 | -3,8688E-03 | -4,7682E-05 | -1,6492E-04 |
| 6458        | -6,748       | -5,000       | -8,7205E-04 | -3,8651E-03 | -4,7707E-05 | -1,6456E-04 |
| 6457        | -6,571       | -5,000       | -8,7262E-04 | -3,8627E-03 | -4,7737E-05 | -1,6427E-04 |
| 6456        | -6,394       | -5,000       | -8,7326E-04 | -3,8608E-03 | -4,7772E-05 | -1,6400E-04 |
| 6455        | -6,217       | -5,000       | -8,7396E-04 | -3,8589E-03 | -4,7811E-05 | -1,6373E-04 |
| 6455        | -6,217       | -5,000       | -8,7396E-04 | -3,8589E-03 | -4,7811E-05 | -1,6373E-04 |
| 5879        | -6,040       | -5,000       | -8,7472E-04 | -3,8563E-03 | -4,7854E-05 | -1,6345E-04 |
| 5878        | -5,863       | -5,000       | -8,7555E-04 | -3,8526E-03 | -4,7900E-05 | -1,6311E-04 |
| 5877        | -5,685       | -5,000       | -8,7643E-04 | -3,8472E-03 | -4,7950E-05 | -1,6270E-04 |
| 5873        | -5,508       | -5,000       | -8,7737E-04 | -3,8393E-03 | -4,8002E-05 | -1,6217E-04 |
| 5873        | -5,508       | -5,000       | -8,7737E-04 | -3,8393E-03 | -4,8002E-05 | -1,6217E-04 |
| 5455        | -5,331       | -5,000       | -8,7836E-04 | -3,8282E-03 | -4,8057E-05 | -1,6149E-04 |
| 5454        | -5,154       | -5,000       | -8,7942E-04 | -3,8133E-03 | -4,8115E-05 | -1,6062E-04 |
| 5453        | -4,977       | -5,000       | -8,8052E-04 | -3,7937E-03 | -4,8176E-05 | -1,5952E-04 |
| 5449        | -4,800       | -5,000       | -8,8168E-04 | -3,7686E-03 | -4,8240E-05 | -1,5815E-04 |
| <b>Max:</b> |              |              | -1,0000E-20 | -1,0000E-20 | -1,0000E-20 | -1,0000E-20 |
| <b>Min:</b> |              |              | -8,8221E-04 | -3,8688E-03 | -4,8240E-05 | -1,6492E-04 |

Table [10] Table of beam displacements phase no: 7

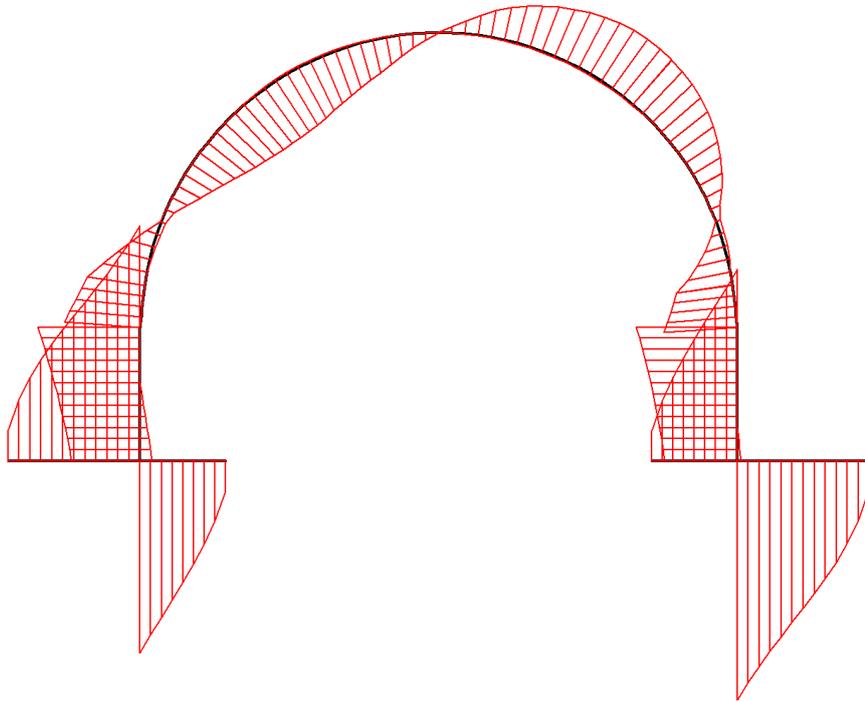
| Node no. | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]     | Uy [m]      | dUx [m]    | dUy [m]     |
|----------|--------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 2575     | 4,113        | -5,000       | 9,0579E-04 | -3,5483E-03 | 4,6466E-05 | -1,4870E-04 |
| 2217     | 4,284        | -5,000       | 9,0575E-04 | -3,6020E-03 | 4,6471E-05 | -1,5136E-04 |
| 2216     | 4,456        | -5,000       | 9,0575E-04 | -3,6549E-03 | 4,6479E-05 | -1,5399E-04 |
| 2215     | 4,628        | -5,000       | 9,0578E-04 | -3,7062E-03 | 4,6487E-05 | -1,5655E-04 |
| 2221     | 4,800        | -5,000       | 9,0583E-04 | -3,7555E-03 | 4,6498E-05 | -1,5902E-04 |
| 2663     | 3,425        | -5,000       | 9,0626E-04 | -3,3348E-03 | 4,6467E-05 | -1,3815E-04 |
| 2578     | 3,597        | -5,000       | 9,0609E-04 | -3,3869E-03 | 4,6463E-05 | -1,4073E-04 |
| 2577     | 3,769        | -5,000       | 9,0595E-04 | -3,4403E-03 | 4,6461E-05 | -1,4337E-04 |
| 2576     | 3,941        | -5,000       | 9,0585E-04 | -3,4942E-03 | 4,6462E-05 | -1,4603E-04 |
| 2575     | 4,113        | -5,000       | 9,0579E-04 | -3,5483E-03 | 4,6466E-05 | -1,4870E-04 |
| 2221     | 4,800        | -5,000       | 9,0583E-04 | -3,7555E-03 | 4,6498E-05 | -1,5902E-04 |
| 2224     | 4,977        | -5,000       | 9,0464E-04 | -3,7789E-03 | 4,6437E-05 | -1,6027E-04 |
| 2223     | 5,154        | -5,000       | 9,0350E-04 | -3,7968E-03 | 4,6378E-05 | -1,6126E-04 |
| 2222     | 5,331        | -5,000       | 9,0241E-04 | -3,8100E-03 | 4,6321E-05 | -1,6203E-04 |

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | Ux [m]     | Uy [m]      | dUx [m]    | dUy [m]     |
|-------------|--------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 2231        | 5,508        | -5,000       | 9,0139E-04 | -3,8193E-03 | 4,6268E-05 | -1,6260E-04 |
| 2231        | 5,508        | -5,000       | 9,0139E-04 | -3,8193E-03 | 4,6268E-05 | -1,6260E-04 |
| 2099        | 5,685        | -5,000       | 9,0042E-04 | -3,8255E-03 | 4,6218E-05 | -1,6304E-04 |
| 2098        | 5,863        | -5,000       | 8,9951E-04 | -3,8294E-03 | 4,6170E-05 | -1,6336E-04 |
| 2097        | 6,040        | -5,000       | 8,9866E-04 | -3,8315E-03 | 4,6126E-05 | -1,6360E-04 |
| 2103        | 6,217        | -5,000       | 8,9787E-04 | -3,8324E-03 | 4,6085E-05 | -1,6380E-04 |
| 2103        | 6,217        | -5,000       | 8,9787E-04 | -3,8324E-03 | 4,6085E-05 | -1,6380E-04 |
| 2093        | 6,394        | -5,000       | 8,9716E-04 | -3,8329E-03 | 4,6048E-05 | -1,6398E-04 |
| 2092        | 6,571        | -5,000       | 8,9651E-04 | -3,8334E-03 | 4,6015E-05 | -1,6416E-04 |
| 2091        | 6,748        | -5,000       | 8,9596E-04 | -3,8345E-03 | 4,5987E-05 | -1,6437E-04 |
| 2129        | 6,925        | -5,000       | 8,9552E-04 | -3,8369E-03 | 4,5965E-05 | -1,6464E-04 |
| <b>Max:</b> |              |              | 9,0626E-04 | -1,0000E-20 | 4,6498E-05 | -1,0000E-20 |
| <b>Min:</b> |              |              | 8,9552E-04 | -3,8369E-03 | 4,5965E-05 | -1,6464E-04 |



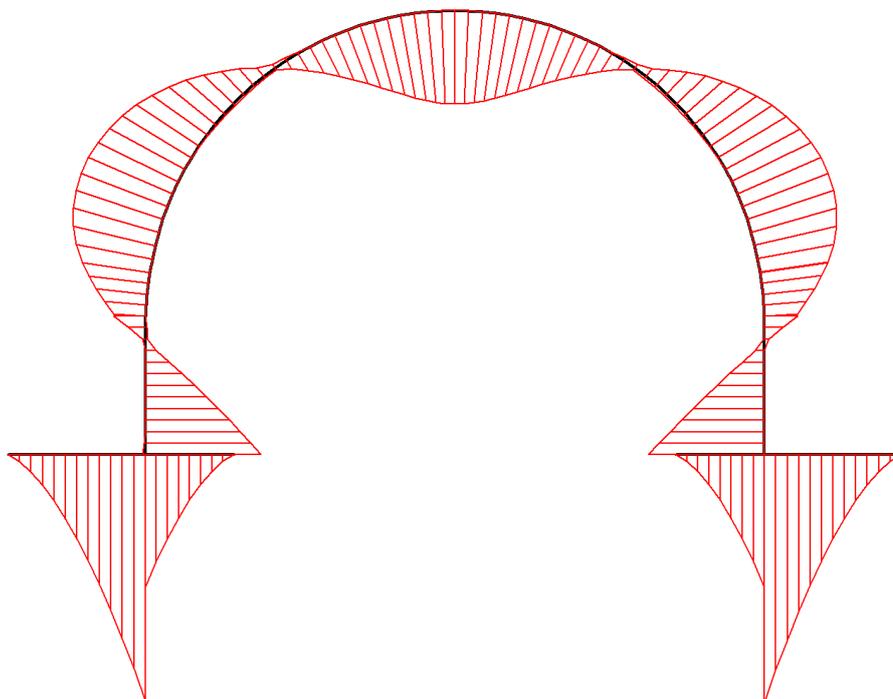
**Fig. 6 Axial forces envelop in beam**

Extreme value  $-1,53 \cdot 10^3$  kN/m (phase: 7)



**Fig. 7 Shear forces envelop in beam**

Extreme value 845,40 kN/m (phase: 7)



**Fig. 8 Bending moment envelop in beam**

Extreme value  $1,08 \cdot 10^3$  kN/m/m (phase: 7)

**Table [11] Table of beam force envelops phase no: 7**

| Node no. | x-coord. [m] | y-coord. [m] | N <sub>min</sub> [kN/m] | N <sub>max</sub> [kN/m] | Q <sub>min</sub> [kN/m] | Q <sub>max</sub> [kN/m] | M <sub>min</sub> [kNm/m] | M <sub>max</sub> [kNm/m] |
|----------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2221     | 4,800        | -5,000       | -1529,384               | 0,000                   | -255,101                | 12,132                  | 0,000                    | 502,764                  |
| 2227     | 4,800        | -4,819       | -1524,305               | 0,000                   | -259,710                | 8,818                   | 0,000                    | 456,253                  |
| 2226     | 4,800        | -4,638       | -1518,986               | 0,000                   | -265,552                | 4,848                   | 0,000                    | 408,756                  |
| 2225     | 4,800        | -4,457       | -1513,003               | 0,000                   | -272,180                | 0,601                   | 0,000                    | 360,142                  |
| 2783     | 4,800        | -4,277       | -1505,932               | 0,000                   | -279,150                | 0,000                   | 0,000                    | 310,302                  |
| 2783     | 4,800        | -4,277       | -1505,603               | 0,000                   | -278,932                | 0,000                   | 0,000                    | 310,302                  |
| 2784     | 4,800        | -4,096       | -1498,223               | 0,000                   | -286,487                | 0,000                   | 0,000                    | 259,191                  |
| 2785     | 4,800        | -3,915       | -1490,009               | 0,000                   | -294,306                | 0,000                   | 0,000                    | 206,675                  |
| 2786     | 4,800        | -3,734       | -1481,157               | 0,000                   | -302,598                | 0,000                   | 0,000                    | 152,698                  |
| 2799     | 4,800        | -3,553       | -1471,864               | 0,000                   | -311,569                | 0,000                   | 0,000                    | 97,193                   |
| 2799     | 4,800        | -3,553       | -1471,859               | 0,000                   | -311,582                | 0,000                   | 0,000                    | 97,193                   |
| 2805     | 4,800        | -3,373       | -1462,050               | 0,000                   | -321,155                | 0,000                   | 0,000                    | 40,007                   |

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | N <sub>min</sub> [kN/m] | N <sub>max</sub> [kN/m] | Q <sub>min</sub> [kN/m] | Q <sub>max</sub> [kN/m] | M <sub>min</sub> [kNm/m] | M <sub>max</sub> [kNm/m] |
|-------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2804        | 4,800        | -3,192       | -1451,636               | 0,000                   | -331,417                | 0,000                   | -19,000                  | 3,043                    |
| 2803        | 4,800        | -3,011       | -1440,560               | 0,000                   | -342,357                | 0,000                   | -79,924                  | 0,000                    |
| 3289        | 4,800        | -2,830       | -1428,764               | 0,000                   | -353,961                | 0,000                   | -142,859                 | 0,000                    |
| <b>Max:</b> |              |              | -1428,764               | 0,000                   | -255,101                | 12,132                  | 0,000                    | 502,764                  |
| <b>Min:</b> |              |              | -1529,384               | 0,000                   | -353,961                | 0,000                   | -142,859                 | 0,000                    |

Table [11] Table of beam force envelops phase no: 7

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | N <sub>min</sub> [kN/m] | N <sub>max</sub> [kN/m] | Q <sub>min</sub> [kN/m] | Q <sub>max</sub> [kN/m] | M <sub>min</sub> [kNm/m] | M <sub>max</sub> [kNm/m] |
|-------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 3289        | 4,800        | -2,830       | -1449,012               | 0,000                   | -257,661                | 0,000                   | -142,859                 | 0,000                    |
| 3293        | 4,787        | -2,659       | -1442,384               | 0,000                   | -242,348                | 0,000                   | -185,648                 | 0,000                    |
| 3294        | 4,770        | -2,489       | -1435,433               | 0,000                   | -227,299                | 0,000                   | -225,842                 | 0,000                    |
| 3295        | 4,751        | -2,319       | -1427,872               | 0,000                   | -212,644                | 0,000                   | -263,496                 | 0,000                    |
| 3353        | 4,728        | -2,149       | -1419,413               | 0,000                   | -198,515                | 0,000                   | -298,674                 | 0,000                    |
| <b>Max:</b> |              |              | -1419,413               | 0,000                   | -198,515                | 0,000                   | -142,859                 | 0,000                    |
| <b>Min:</b> |              |              | -1449,012               | 0,000                   | -257,661                | 0,000                   | -298,674                 | 0,000                    |

Table [11] Table of beam force envelops phase no: 7

| Node no. | x-coord. [m] | y-coord. [m] | N <sub>min</sub> [kN/m] | N <sub>max</sub> [kN/m] | Q <sub>min</sub> [kN/m] | Q <sub>max</sub> [kN/m] | M <sub>min</sub> [kNm/m] | M <sub>max</sub> [kNm/m] |
|----------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 3353     | 4,728        | -2,149       | -1419,423               | 0,000                   | -198,576                | 0,000                   | -298,674                 | 0,000                    |
| 3359     | 4,728        | -2,148       | -1419,428               | 0,000                   | -198,363                | 0,000                   | -298,870                 | 0,000                    |
| 3358     | 4,727        | -2,147       | -1419,408               | 0,000                   | -198,150                | 0,000                   | -299,066                 | 0,000                    |
| 3357     | 4,727        | -2,146       | -1419,361               | 0,000                   | -197,939                | 0,000                   | -299,261                 | 0,000                    |
| 3825     | 4,727        | -2,145       | -1419,284               | 0,000                   | -197,729                | 0,000                   | -299,456                 | 0,000                    |
| 3825     | 4,727        | -2,145       | -1419,040               | 0,000                   | -198,247                | 0,000                   | -299,456                 | 0,000                    |
| 3831     | 4,692        | -1,936       | -1410,338               | 0,000                   | -153,085                | 0,713                   | -336,793                 | 0,000                    |
| 3830     | 4,647        | -1,728       | -1398,973               | 0,000                   | -110,794                | 6,580                   | -364,819                 | 0,000                    |
| 3829     | 4,593        | -1,522       | -1384,896               | 0,000                   | -70,992                 | 11,232                  | -384,103                 | 0,000                    |
| 4155     | 4,530        | -1,318       | -1368,055               | 0,000                   | -33,294                 | 14,650                  | -395,183                 | 0,000                    |
| 4155     | 4,530        | -1,318       | -1368,915               | 0,000                   | -33,053                 | 14,661                  | -395,183                 | 0,000                    |
| 4161     | 4,458        | -1,118       | -1350,193               | 0,000                   | -1,118                  | 17,005                  | -398,475                 | 0,000                    |
| 4160     | 4,377        | -0,922       | -1329,547               | 0,000                   | 0,000                   | 34,341                  | -394,609                 | 0,000                    |
| 4159     | 4,287        | -0,729       | -1307,294               | 0,000                   | 0,000                   | 65,011                  | -384,005                 | 0,000                    |
| 4607     | 4,189        | -0,540       | -1283,752               | 0,000                   | 0,000                   | 93,831                  | -367,071                 | 0,000                    |
| 4607     | 4,189        | -0,540       | -1280,711               | 0,000                   | 0,000                   | 90,766                  | -367,071                 | 0,000                    |
| 4611     | 4,082        | -0,355       | -1254,450               | 0,000                   | 0,000                   | 115,353                 | -345,053                 | 2,233                    |
| 4612     | 3,968        | -0,176       | -1227,149               | 0,000                   | 0,000                   | 136,631                 | -318,214                 | 5,444                    |

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | N <sub>min</sub> [kN/m] | N <sub>max</sub> [kN/m] | Q <sub>min</sub> [kN/m] | Q <sub>max</sub> [kN/m] | M <sub>min</sub> [kNm/m] | M <sub>max</sub> [kNm/m] |
|-------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 4613        | 3,845        | -0,002       | -1198,923               | 0,000                   | 0,000                   | 155,259                 | -287,115                 | 8,119                    |
| 5037        | 3,715        | 0,166        | -1169,887               | 0,000                   | 0,000                   | 171,892                 | -252,267                 | 10,152                   |
| 5037        | 3,715        | 0,166        | -1169,989               | 0,000                   | 0,000                   | 171,762                 | -252,267                 | 10,152                   |
| 5043        | 3,578        | 0,329        | -1139,835               | 0,000                   | 0,000                   | 184,671                 | -214,281                 | 11,505                   |
| 5042        | 3,433        | 0,485        | -1109,193               | 0,000                   | 0,000                   | 195,113                 | -173,835                 | 12,164                   |
| 5041        | 3,282        | 0,635        | -1078,040               | 0,000                   | -1,333                  | 202,758                 | -131,474                 | 12,184                   |
| 5577        | 3,124        | 0,777        | -1046,353               | 0,000                   | -3,632                  | 207,274                 | -87,763                  | 11,641                   |
| 5577        | 3,124        | 0,777        | -1047,988               | 0,000                   | -3,558                  | 208,111                 | -87,763                  | 11,641                   |
| 5578        | 2,960        | 0,913        | -1018,044               | 0,000                   | -5,062                  | 212,106                 | -42,997                  | 10,700                   |
| 5579        | 2,790        | 1,041        | -987,897                | 0,000                   | -5,646                  | 213,823                 | -18,089                  | 9,556                    |
| 5580        | 2,615        | 1,161        | -957,856                | 0,000                   | -5,679                  | 212,649                 | -11,753                  | 47,763                   |
| 5639        | 2,434        | 1,274        | -928,231                | 0,000                   | -5,528                  | 207,968                 | -4,531                   | 92,615                   |
| 5639        | 2,434        | 1,274        | -928,300                | 0,000                   | -5,504                  | 208,253                 | -4,531                   | 92,615                   |
| 5645        | 2,248        | 1,378        | -899,435                | 0,000                   | -5,237                  | 200,361                 | 0,000                    | 136,159                  |
| 5644        | 2,058        | 1,474        | -871,540                | 0,000                   | -4,968                  | 190,365                 | 0,000                    | 177,740                  |
| 5643        | 1,864        | 1,561        | -845,053                | 0,000                   | -4,721                  | 178,661                 | 0,000                    | 217,023                  |
| 6383        | 1,667        | 1,640        | -820,416                | 0,000                   | -4,518                  | 165,646                 | 0,000                    | 253,696                  |
| 6383        | 1,667        | 1,640        | -820,537                | 0,000                   | -4,503                  | 165,767                 | 0,000                    | 253,696                  |
| 6384        | 1,466        | 1,710        | -798,316                | 0,000                   | -4,271                  | 150,592                 | 0,000                    | 287,367                  |
| 6385        | 1,262        | 1,770        | -778,656                | 0,000                   | -3,958                  | 134,592                 | 0,000                    | 317,746                  |
| 6386        | 1,055        | 1,822        | -761,192                | 0,000                   | -3,530                  | 116,669                 | 0,000                    | 344,489                  |
| 6393        | 0,847        | 1,864        | -745,555                | 0,000                   | -2,955                  | 95,724                  | -0,398                   | 367,177                  |
| 6393        | 0,847        | 1,864        | -745,798                | 0,000                   | -2,967                  | 95,860                  | -0,398                   | 367,177                  |
| 6397        | 0,637        | 1,898        | -733,779                | 0,000                   | -2,338                  | 71,435                  | -0,964                   | 385,013                  |
| 6398        | 0,425        | 1,921        | -725,778                | 0,000                   | -1,653                  | 46,456                  | -1,389                   | 397,527                  |
| 6399        | 0,213        | 1,935        | -721,401                | 0,000                   | -0,928                  | 22,057                  | -1,664                   | 404,818                  |
| 6799        | 0,000        | 1,940        | -720,253                | 0,000                   | -0,628                  | 1,024                   | -1,782                   | 407,053                  |
| <b>Max:</b> |              |              | -720,253                | 0,000                   | 0,000                   | 213,823                 | 0,000                    | 407,053                  |
| <b>Min:</b> |              |              | -1419,428               | 0,000                   | -198,576                | 0,000                   | -398,475                 | 0,000                    |

Table [11] Table of beam force envelopes phase no: 7

| Node no. | x-coord. [m] | y-coord. [m] | N <sub>min</sub> [kN/m] | N <sub>max</sub> [kN/m] | Q <sub>min</sub> [kN/m] | Q <sub>max</sub> [kN/m] | M <sub>min</sub> [kNm/m] | M <sub>max</sub> [kNm/m] |
|----------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 6799     | 0,000        | 1,940        | -720,229                | 0,000                   | -1,152                  | 1,023                   | -1,782                   | 407,053                  |
| 6800     | -0,213       | 1,935        | -721,548                | 0,000                   | -23,982                 | 0,578                   | -1,739                   | 404,423                  |
| 6801     | -0,425       | 1,921        | -726,001                | 0,000                   | -48,525                 | 1,305                   | -1,537                   | 396,701                  |
| 6802     | -0,637       | 1,897        | -734,021                | 0,000                   | -73,549                 | 1,992                   | -1,186                   | 383,734                  |
| 6809     | -0,847       | 1,864        | -746,043                | 0,000                   | -97,827                 | 2,624                   | -0,693                   | 365,448                  |
| 6809     | -0,847       | 1,864        | -745,815                | 0,000                   | -97,693                 | 2,614                   | -0,693                   | 365,448                  |

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | N <sub>min</sub> [kN/m] | N <sub>max</sub> [kN/m] | Q <sub>min</sub> [kN/m] | Q <sub>max</sub> [kN/m] | M <sub>min</sub> [kNm/m] | M <sub>max</sub> [kNm/m] |
|-------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 6810        | -1,056       | 1,822        | -761,391                | 0,000                   | -118,617                | 3,188                   | -0,072                   | 342,329                  |
| 6811        | -1,262       | 1,770        | -778,882                | 0,000                   | -136,500                | 3,623                   | 0,000                    | 315,159                  |
| 6812        | -1,467       | 1,709        | -798,586                | 0,000                   | -152,407                | 3,954                   | 0,000                    | 284,366                  |
| 7029        | -1,668       | 1,640        | -820,801                | 0,000                   | -167,406                | 4,215                   | 0,000                    | 250,306                  |
| 7029        | -1,668       | 1,640        | -820,694                | 0,000                   | -167,287                | 4,224                   | 0,000                    | 250,306                  |
| 7023        | -1,865       | 1,561        | -845,354                | 0,000                   | -180,218                | 4,449                   | 0,000                    | 213,267                  |
| 7024        | -2,060       | 1,473        | -871,898                | 0,000                   | -191,727                | 4,699                   | 0,000                    | 173,651                  |
| 7025        | -2,250       | 1,377        | -899,828                | 0,000                   | -201,512                | 4,943                   | 0,000                    | 131,777                  |
| 7055        | -2,435       | 1,273        | -928,646                | 0,000                   | -209,277                | 5,151                   | -5,470                   | 87,980                   |
| 7055        | -2,435       | 1,273        | -928,772                | 0,000                   | -209,194                | 5,146                   | -5,470                   | 87,980                   |
| 7039        | -2,616       | 1,160        | -958,158                | 0,000                   | -213,523                | 5,230                   | -12,771                  | 42,894                   |
| 7040        | -2,791       | 1,040        | -988,160                | 0,000                   | -214,910                | 4,986                   | -19,206                  | 8,541                    |
| 7041        | -2,961       | 0,912        | -1018,416               | 0,000                   | -213,634                | 4,097                   | -48,397                  | 9,515                    |
| 7045        | -3,125       | 0,776        | -1048,563               | 0,000                   | -209,973                | 2,246                   | -93,558                  | 10,214                   |
| 7045        | -3,125       | 0,776        | -1048,108               | 0,000                   | -209,528                | 2,303                   | -93,558                  | 10,214                   |
| 6891        | -3,283       | 0,633        | -1079,082               | 0,000                   | -204,223                | 0,000                   | -137,692                 | 10,459                   |
| 6892        | -3,435       | 0,483        | -1109,465               | 0,000                   | -195,863                | 0,000                   | -180,309                 | 10,147                   |
| 6893        | -3,579       | 0,327        | -1139,556               | 0,000                   | -184,873                | 0,000                   | -220,878                 | 9,241                    |
| 6897        | -3,717       | 0,164        | -1169,648               | 0,000                   | -171,672                | 0,000                   | -258,891                 | 7,716                    |
| 6897        | -3,717       | 0,164        | -1169,171               | 0,000                   | -171,202                | 0,000                   | -258,891                 | 7,716                    |
| 6898        | -3,847       | -0,004       | -1197,838               | 0,000                   | -154,171                | 0,000                   | -293,600                 | 5,612                    |
| 6899        | -3,969       | -0,178       | -1225,420               | 0,000                   | -134,463                | 0,000                   | -324,353                 | 3,001                    |
| 6900        | -4,084       | -0,358       | -1252,017               | 0,000                   | -112,426                | 0,000                   | -350,671                 | 0,000                    |
| 7261        | -4,190       | -0,542       | -1277,729               | 0,000                   | -88,405                 | 0,000                   | -372,098                 | 0,000                    |
| 7261        | -4,190       | -0,542       | -1280,219               | 0,000                   | -89,699                 | 0,000                   | -372,098                 | 0,000                    |
| 7014        | -4,288       | -0,731       | -1303,331               | 0,000                   | -60,662                 | 0,000                   | -388,148                 | 0,000                    |
| 7015        | -4,378       | -0,924       | -1324,890               | 0,000                   | -29,569                 | 0,000                   | -397,781                 | 0,000                    |
| 7016        | -4,459       | -1,121       | -1344,536               | 0,000                   | -14,379                 | 3,387                   | -400,602                 | 0,000                    |
| 7013        | -4,531       | -1,322       | -1361,909               | 0,000                   | -12,119                 | 38,015                  | -396,225                 | 0,000                    |
| 7013        | -4,531       | -1,322       | -1361,515               | 0,000                   | -12,109                 | 38,217                  | -396,225                 | 0,000                    |
| 6997        | -4,594       | -1,525       | -1376,780               | 0,000                   | -8,932                  | 75,837                  | -384,099                 | 0,000                    |
| 6998        | -4,648       | -1,731       | -1389,051               | 0,000                   | -4,775                  | 115,510                 | -363,783                 | 0,000                    |
| 6999        | -4,692       | -1,939       | -1398,457               | 0,000                   | 0,000                   | 157,511                 | -334,766                 | 0,000                    |
| 7003        | -4,728       | -2,149       | -1405,129               | 0,000                   | 0,000                   | 202,119                 | -296,517                 | 0,000                    |
| <b>Max:</b> |              |              | -720,229                | 0,000                   | 0,000                   | 202,119                 | 0,000                    | 407,053                  |
| <b>Min:</b> |              |              | -1405,129               | 0,000                   | -214,910                | 0,000                   | -400,602                 | 0,000                    |

Table [11] Table of beam force envelops phase no: 7

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | N <sub>min</sub> [kN/m] | N <sub>max</sub> [kN/m] | Q <sub>min</sub> [kN/m] | Q <sub>max</sub> [kN/m] | M <sub>min</sub> [kNm/m] | M <sub>max</sub> [kNm/m] |
|-------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 7003        | -4,728       | -2,149       | -1404,957               | 0,000                   | 0,000                   | 202,015                 | -296,517                 | 0,000                    |
| 6588        | -4,751       | -2,319       | -1410,975               | 0,000                   | 0,000                   | 216,279                 | -260,777                 | 0,000                    |
| 6589        | -4,770       | -2,489       | -1415,099               | 0,000                   | 0,000                   | 232,738                 | -222,328                 | 0,000                    |
| 6590        | -4,787       | -2,659       | -1419,212               | 0,000                   | 0,000                   | 249,526                 | -181,071                 | 0,000                    |
| 6587        | -4,800       | -2,830       | -1425,196               | 0,000                   | 0,000                   | 264,780                 | -137,007                 | 1,349                    |
| <b>Max:</b> |              |              | -1404,957               | 0,000                   | 0,000                   | 264,780                 | -137,007                 | 1,349                    |
| <b>Min:</b> |              |              | -1425,196               | 0,000                   | 0,000                   | 0,000                   | -296,517                 | 0,000                    |

Table [11] Table of beam force envelops phase no: 7

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | N <sub>min</sub> [kN/m] | N <sub>max</sub> [kN/m] | Q <sub>min</sub> [kN/m] | Q <sub>max</sub> [kN/m] | M <sub>min</sub> [kNm/m] | M <sub>max</sub> [kNm/m] |
|-------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 6587        | -4,800       | -2,830       | -1404,150               | 0,000                   | 0,000                   | 359,514                 | -137,007                 | 1,349                    |
| 6033        | -4,800       | -3,011       | -1416,396               | 0,000                   | 0,000                   | 346,958                 | -73,149                  | 6,457                    |
| 6034        | -4,800       | -3,192       | -1428,263               | 0,000                   | 0,000                   | 334,728                 | -11,506                  | 10,528                   |
| 6035        | -4,800       | -3,373       | -1439,741               | 0,000                   | 0,000                   | 322,885                 | 0,000                    | 47,962                   |
| 6029        | -4,800       | -3,553       | -1450,819               | 0,000                   | 0,000                   | 311,487                 | 0,000                    | 105,299                  |
| 6029        | -4,800       | -3,553       | -1450,820               | 0,000                   | 0,000                   | 311,427                 | 0,000                    | 105,299                  |
| 6015        | -4,800       | -3,734       | -1461,460               | 0,000                   | 0,000                   | 300,611                 | 0,000                    | 160,617                  |
| 6014        | -4,800       | -3,915       | -1471,302               | 0,000                   | -6,265                  | 290,331                 | 0,000                    | 214,051                  |
| 6013        | -4,800       | -4,096       | -1480,390               | 0,000                   | -12,572                 | 280,620                 | 0,000                    | 265,679                  |
| 6019        | -4,800       | -4,277       | -1488,764               | 0,000                   | -18,785                 | 271,509                 | 0,000                    | 315,579                  |
| 6019        | -4,800       | -4,277       | -1488,952               | 0,000                   | -18,682                 | 271,584                 | 0,000                    | 315,579                  |
| 5450        | -4,800       | -4,457       | -1496,742               | 0,000                   | -24,743                 | 263,059                 | 0,000                    | 363,910                  |
| 5451        | -4,800       | -4,638       | -1503,281               | 0,000                   | -30,732                 | 255,006                 | 0,000                    | 410,741                  |
| 5452        | -4,800       | -4,819       | -1509,049               | 0,000                   | -36,134                 | 247,985                 | -4,202                   | 456,221                  |
| 5449        | -4,800       | -5,000       | -1514,527               | 0,000                   | -40,432                 | 242,556                 | -11,148                  | 500,531                  |
| <b>Max:</b> |              |              | -1404,150               | 0,000                   | 0,000                   | 359,514                 | 0,000                    | 500,531                  |
| <b>Min:</b> |              |              | -1514,527               | 0,000                   | -40,432                 | 0,000                   | -137,007                 | 0,000                    |

Table [11] Table of beam force envelops phase no: 7

| Node no. | x-coord. [m] | y-coord. [m] | N <sub>min</sub> [kN/m] | N <sub>max</sub> [kN/m] | Q <sub>min</sub> [kN/m] | Q <sub>max</sub> [kN/m] | M <sub>min</sub> [kNm/m] | M <sub>max</sub> [kNm/m] |
|----------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 5105     | -4,113       | -5,000       | -42,962                 | 0,000                   | 0,000                   | 426,905                 | -195,621                 | 0,000                    |
| 4846     | -3,941       | -5,000       | -40,903                 | 0,000                   | 0,000                   | 362,457                 | -127,881                 | 0,000                    |
| 4845     | -3,769       | -5,000       | -39,431                 | 0,000                   | 0,000                   | 293,768                 | -71,180                  | 0,000                    |
| 4844     | -3,597       | -5,000       | -35,715                 | 0,000                   | 0,000                   | 211,236                 | -27,667                  | 0,000                    |
| 4843     | -3,425       | -5,000       | -28,864                 | 0,000                   | 0,000                   | 105,257                 | 0,000                    | 0,000                    |

| Node no.    | x-coord. [m] | y-coord. [m] | N <sub>min</sub> [kN/m] | N <sub>max</sub> [kN/m] | Q <sub>min</sub> [kN/m] | Q <sub>max</sub> [kN/m] | M <sub>min</sub> [kNm/m] | M <sub>max</sub> [kNm/m] |
|-------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 5449        | -4,800       | -5,000       | -47,132                 | 8,717                   | 0,000                   | 677,341                 | -574,295                 | 0,000                    |
| 5108        | -4,628       | -5,000       | -46,388                 | 3,170                   | 0,000                   | 612,513                 | -463,527                 | 0,000                    |
| 5107        | -4,456       | -5,000       | -45,352                 | 0,000                   | 0,000                   | 550,095                 | -363,596                 | 0,000                    |
| 5106        | -4,284       | -5,000       | -44,098                 | 0,000                   | 0,000                   | 488,732                 | -274,328                 | 0,000                    |
| 5105        | -4,113       | -5,000       | -42,701                 | 0,000                   | 0,000                   | 427,067                 | -195,621                 | 0,000                    |
| 6687        | -6,925       | -5,000       | -84,181                 | 0,000                   | -108,796                | 0,000                   | 0,000                    | 0,000                    |
| 6458        | -6,748       | -5,000       | -104,911                | 0,000                   | -216,796                | 0,000                   | -29,402                  | 0,000                    |
| 6457        | -6,571       | -5,000       | -120,124                | 0,000                   | -296,624                | 0,000                   | -75,013                  | 0,000                    |
| 6456        | -6,394       | -5,000       | -132,800                | 1,040                   | -359,291                | 0,000                   | -133,468                 | 0,000                    |
| 6455        | -6,217       | -5,000       | -145,917                | 1,949                   | -415,807                | 0,000                   | -202,006                 | 0,000                    |
| 6455        | -6,217       | -5,000       | -145,676                | 2,118                   | -415,237                | 0,000                   | -202,006                 | 0,000                    |
| 5879        | -6,040       | -5,000       | -157,477                | 2,617                   | -466,042                | 0,000                   | -280,062                 | 0,000                    |
| 5878        | -5,863       | -5,000       | -169,115                | 2,567                   | -514,989                | 0,000                   | -366,944                 | 0,000                    |
| 5877        | -5,685       | -5,000       | -180,638                | 2,072                   | -563,278                | 0,000                   | -462,457                 | 0,000                    |
| 5873        | -5,508       | -5,000       | -192,091                | 1,231                   | -612,109                | 0,000                   | -566,479                 | 0,000                    |
| 5873        | -5,508       | -5,000       | -192,118                | 1,237                   | -612,071                | 0,000                   | -566,479                 | 0,000                    |
| 5455        | -5,331       | -5,000       | -203,425                | 0,150                   | -662,471                | 0,000                   | -679,289                 | 0,000                    |
| 5454        | -5,154       | -5,000       | -214,498                | 0,000                   | -715,177                | 0,000                   | -801,229                 | 0,000                    |
| 5453        | -4,977       | -5,000       | -225,088                | 0,000                   | -771,619                | 0,000                   | -932,860                 | 0,000                    |
| 5449        | -4,800       | -5,000       | -234,944                | 0,000                   | -833,225                | 0,000                   | -1074,826                | 0,000                    |
| <b>Max:</b> |              |              | -28,864                 | 8,717                   | 0,000                   | 677,341                 | 0,000                    | 0,000                    |
| <b>Min:</b> |              |              | -234,944                | 0,000                   | -833,225                | 0,000                   | -1074,826                | 0,000                    |

Table [11] Table of beam force envelops phase no: 7

| Node no. | x-coord. [m] | y-coord. [m] | N <sub>min</sub> [kN/m] | N <sub>max</sub> [kN/m] | Q <sub>min</sub> [kN/m] | Q <sub>max</sub> [kN/m] | M <sub>min</sub> [kNm/m] | M <sub>max</sub> [kNm/m] |
|----------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2575     | 4,113        | -5,000       | -39,323                 | 0,000                   | -429,914                | 0,000                   | -197,340                 | 0,000                    |
| 2217     | 4,284        | -5,000       | -40,109                 | 0,000                   | -491,623                | 0,000                   | -276,539                 | 0,000                    |
| 2216     | 4,456        | -5,000       | -40,777                 | 2,277                   | -553,013                | 0,000                   | -366,308                 | 0,000                    |
| 2215     | 4,628        | -5,000       | -41,215                 | 7,940                   | -615,392                | 0,000                   | -466,738                 | 0,000                    |
| 2221     | 4,800        | -5,000       | -41,310                 | 14,325                  | -680,064                | 0,000                   | -577,990                 | 0,000                    |
| 2663     | 3,425        | -5,000       | -32,118                 | 0,000                   | -106,613                | 0,000                   | 0,000                    | 0,000                    |
| 2578     | 3,597        | -5,000       | -34,525                 | 0,000                   | -213,582                | 0,000                   | -28,002                  | 0,000                    |
| 2577     | 3,769        | -5,000       | -37,194                 | 0,000                   | -296,423                | 0,000                   | -71,943                  | 0,000                    |
| 2576     | 3,941        | -5,000       | -38,039                 | 0,000                   | -365,189                | 0,000                   | -129,115                 | 0,000                    |
| 2575     | 4,113        | -5,000       | -39,540                 | 0,000                   | -429,930                | 0,000                   | -197,340                 | 0,000                    |
| 2221     | 4,800        | -5,000       | -242,104                | 0,000                   | 0,000                   | 845,396                 | -1080,753                | 0,000                    |
| 2224     | 4,977        | -5,000       | -231,824                | 0,000                   | 0,000                   | 783,099                 | -936,687                 | 0,000                    |
| 2223     | 5,154        | -5,000       | -220,938                | 0,000                   | 0,000                   | 725,606                 | -803,112                 | 0,000                    |

| <b>Node no.</b> | <b>x-coord. [m]</b> | <b>y-coord. [m]</b> | <b>N<sub>min</sub> [kN/m]</b> | <b>N<sub>max</sub> [kN/m]</b> | <b>Q<sub>min</sub> [kN/m]</b> | <b>Q<sub>max</sub> [kN/m]</b> | <b>M<sub>min</sub> [kNm/m]</b> | <b>M<sub>max</sub> [kNm/m]</b> |
|-----------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 2222            | 5,331               | -5,000              | -209,643                      | 0,000                         | 0,000                         | 671,558                       | -679,439                       | 0,000                          |
| 2231            | 5,508               | -5,000              | -198,137                      | 0,000                         | 0,000                         | 619,594                       | -565,156                       | 0,000                          |
| 2231            | 5,508               | -5,000              | -198,074                      | 0,000                         | 0,000                         | 619,685                       | -565,156                       | 0,000                          |
| 2099            | 5,685               | -5,000              | -186,340                      | 0,000                         | 0,000                         | 569,018                       | -459,954                       | 0,000                          |
| 2098            | 5,863               | -5,000              | -174,469                      | 0,000                         | 0,000                         | 518,795                       | -363,594                       | 0,000                          |
| 2097            | 6,040               | -5,000              | -162,315                      | 0,000                         | 0,000                         | 467,830                       | -276,216                       | 0,000                          |
| 2103            | 6,217               | -5,000              | -149,730                      | 0,000                         | 0,000                         | 414,937                       | -198,027                       | 0,000                          |
| 2103            | 6,217               | -5,000              | -149,500                      | 0,000                         | 0,000                         | 415,430                       | -198,027                       | 0,000                          |
| 2093            | 6,394               | -5,000              | -135,467                      | 0,000                         | 0,000                         | 356,898                       | -129,691                       | 0,000                          |
| 2092            | 6,571               | -5,000              | -119,069                      | 0,000                         | 0,000                         | 290,873                       | -71,976                        | 0,000                          |
| 2091            | 6,748               | -5,000              | -99,481                       | 0,000                         | 0,000                         | 207,887                       | -27,651                        | 0,000                          |
| 2129            | 6,925               | -5,000              | -75,876                       | 0,000                         | 0,000                         | 98,472                        | 0,000                          | 0,000                          |
| <b>Max:</b>     |                     |                     | -32,118                       | 14,325                        | 0,000                         | 845,396                       | 0,000                          | 0,000                          |
| <b>Min:</b>     |                     |                     | -242,104                      | 0,000                         | -680,064                      | 0,000                         | -1080,753                      | 0,000                          |

**NOMBRE ARCHIVO:** FT Puente.plx

**ESFUERZOS:**

|                | Canto<br>(cm) | ESFUERZOS PLAXIS  |                    |                   |           | ESFUERZOS DISEÑO  |                    |                   |           |
|----------------|---------------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------|
|                |               | Momento flector   |                    | Esfuerzo cortante |           | Momento flector   |                    | Esfuerzo cortante |           |
|                |               | Mk (KN m/m)       | Nk (KN/m)          | Vk (KN/m)         | Nk (KN/m) | Md (KN m/m)       | Nd (KN/m)          | Vd (KN/m)         | Nd (KN/m) |
| <b>BOVEDA</b>  | 60            | 407,05<br>-400,60 | 720,25<br>1344,54  | 264,78            | 1425,20   | 610,58<br>-600,90 | 720,25<br>1344,54  | 397,17            | 1425,20   |
| <b>HASTIAL</b> | 60-75         | 502,76<br>-142,86 | 1529,38<br>1428,76 | 359,51            | 1404,15   | 754,15<br>-214,29 | 1529,38<br>1428,76 | 539,27            | 1404,15   |
| <b>ZAPATA</b>  | 125           | -1080,75          | -                  | 359,51            | -         | -1621,13          | -                  | 539,27            | -         |



## 1.2 DIMENSIONAMIENTO SECCIONES

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL





## 1.2.1 BÓVEDA

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL

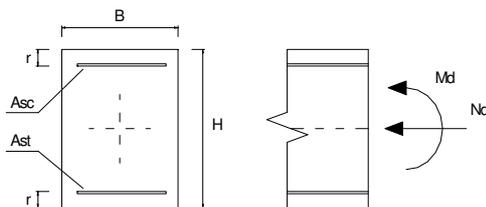




# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50$ Mpa

## MATERIALES

|                               |                 |      |     |
|-------------------------------|-----------------|------|-----|
| Resistencia Hormigon          | $f_{ck} =$      | 30   | Mpa |
| Coef. de minoracion del Hgon. | $\gamma_c =$    | 1,5  |     |
| Resistencia Acero             | $f_{ys} =$      | 500  | Mpa |
| Coef. de minoracion del Acero | $\gamma_s =$    | 1,15 |     |
| Coef. de cansancio            | $\alpha_{cc} =$ | 1    |     |



## SECCION

|               |     |      |   |
|---------------|-----|------|---|
| Ancho seccion | B = | 1    | m |
| Canto seccion | H = | 0,6  | m |
| Recubrimiento | r = | 0,04 | m |

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

## ESFUERZOS DE DISEÑO

|                   |      |        |      |
|-------------------|------|--------|------|
| Momento de diseño | Md = | 610,58 | m KN |
| Axil de diseño    | Nd = | 720,25 | KN   |

|                 |         |                   |               |           |                |
|-----------------|---------|-------------------|---------------|-----------|----------------|
| $f_{cd} =$      | 20000   | KN/m <sup>2</sup> | $d' =$        | 0,035     | m              |
| $U_{0d} =$      | 11300   | KN/m <sup>2</sup> | $d =$         | 0,565     | m              |
| $U_{vd} =$      | 1400,0  | KN/m <sup>2</sup> | $X_{lim} =$   | 0,353125  | m              |
| $U_{ad} =$      | 12000,0 | KN/m <sup>2</sup> | $M_{lim} =$   | 2394,1875 | m KN           |
| $F_{ct,m} =$    | 2,9     | Mpa               | $I_{bruta} =$ | 0,0180    | m <sup>4</sup> |
| $F_{ct,m,fl} =$ | 4,63    | Mpa               | $W_{bruta} =$ | 0,06      | m <sup>3</sup> |

## ESTADO LÍMITE DE FLEXIÓN SIMPLE: CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SECCIONES RECTANGULARES SEGÚN LA EHE-08 ( ANEJO N° 7 )

|                               |              |                 |            |             |    |
|-------------------------------|--------------|-----------------|------------|-------------|----|
| Armadura de compresión (Asc): | No necesaria | cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 0           | KN |
| Armadura de tracción (Ast):   | 26,17337079  | cm <sup>2</sup> | $U_{st} =$ | 1137,972643 | KN |

## ESTADO LÍMITE DE FLEX. COMPUESTA ( $U_{s1} = U_{s2}$ ): CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SEC. RECTANGULARES SEGÚN LA EHE ( ANEJO N° 7 )

|                               |             |                 |            |        |    |
|-------------------------------|-------------|-----------------|------------|--------|----|
| Armadura de compresión (Asc): | 17,68283403 | cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 768,82 | KN |
| Armadura de tracción (Ast):   | 17,68283403 | cm <sup>2</sup> | $U_{st} =$ | 768,82 | KN |

|                  |                      |                              |          |    |        |                 |
|------------------|----------------------|------------------------------|----------|----|--------|-----------------|
| Cuantías mínimas | Flexión compuesta    | $U_{st} >$                   | 655,94   | KN | 15,09  | cm <sup>2</sup> |
|                  |                      | $U_{sc} >$                   | 36,01    | KN | 0,83   | cm <sup>2</sup> |
|                  | Compresión compuesta | $U_{st} \text{ y } U_{sc} >$ | 36,01    | KN | 0,83   | cm <sup>2</sup> |
|                  |                      | $U_{st} \text{ y } U_{sc} <$ | 6.000,00 | KN | 138,00 | cm <sup>2</sup> |

Tabla 42.3.5. Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón<sup>(6)</sup>

| Tipo de elemento estructural | Tipo de acero  |                                     |     |
|------------------------------|--|-------------------------------------|-----|
|                              | Aceros con $f_y = 400\text{N/mm}^2$                            | Aceros con $f_y = 500\text{N/mm}^2$ |     |
| Pilares                      | 4,0  | 4,0                                 |     |
| Losas <sup>(1)</sup>         | 2,0  | 1,8                                 |     |
| Forjados unidireccionales    | Nervios <sup>(2)</sup>   | 4,0                                 | 3,0 |
|                              | Armadura de reparto perpendicular a los nervios <sup>(3)</sup> | 1,4                                 | 1,1 |
|                              | Armadura de reparto paralela a los nervios <sup>(3)</sup>      | 0,7                                 | 0,6 |
| Vigas <sup>(4)</sup>         | 3,3  | 2,8                                 |     |
| Muros <sup>(5)</sup>         | Armadura horizontal  | 4,0                                 | 3,2 |
|                              | Armadura vertical  | 1,2                                 | 0,9 |

- (1) Cuantía mínima de cada una de las armaduras, longitudinal y transversal repartida en las dos caras. Para losas de cimentación y zapatas armadas, se adoptará la mitad de estos valores en cada dirección dispuestos en la cara inferior.
- (2) Cuantía mínima referida a una sección rectangular de ancho  $b_w$  y canto  $d$  del forjado de acuerdo con la Figura 42.3.5. Esta cuantía se aplica estrictamente en los nervios y no en las zonas macizadas. Todas las viguetas deben tener en la cabeza inferior, al menos, dos armaduras activas o pasivas longitudinales simétricas respecto al plano medio vertical.
- (3) Cuantía mínima referida al espesor de la capa de compresión horiongada in situ.
- (4) Cuantías mínimas correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.
- (5) La cuantía mínima vertical es la correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada. A partir de los 2,5 m de altura del fuste del muro y siempre que esta distancia no sea menor que la mitad de la altura del muro podrá reducirse la cuantía horizontal a un 2%. En el caso en que se dispongan juntas verticales de contracción a distancias no superiores a 7,5 m, con la armadura horizontal interrumpida, las cuantías geométricas horizontales mínimas pueden reducirse al 2%. La armadura mínima horizontal deberá repartirse en ambas caras. Para muros vistos por ambas caras debe disponerse el 50% en cada cara. En el caso de muros con espesores superiores a 50 cm, se considerará un área efectiva de espesor máximo 50 cm distribuidos en 25 cm a cada cara, ignorando la zona central que queda entre estas capas superficiales.
- (6) En el caso de elementos pretensados, la armadura activa podrá tenerse en cuenta en relación con el cumplimiento de las cuantías geométricas mínimas sólo en el caso de las armaduras pretesas que actúen antes de que se desarrolle cualquier tipo de deformación térmica o retráctil.

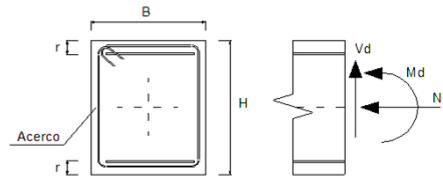


# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50 \text{ Mpa}$

## MATERIALES

Resistencia Hormigon  
 Coef. de minoracion del Hgon.  
 Resistencia Acero  
 Coef. de minoracion del Acero  
 Coef. de cansancio

$f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$   
 $\gamma_c = 1,5$   
 $f_{ys} = 500 \text{ Mpa}$   
 $\gamma_s = 1,15$   
 $\alpha_{cc} = 1$



## SECCION

Ancho seccion  $B = 1 \text{ m}$   
 Canto seccion  $H = 0,6 \text{ m}$   
 Recubrimiento  $r = 0,04 \text{ m}$

## ESFUERZOS DE DISEÑO

Momento de diseño  $M_d = 0,00 \text{ m KN}$   
 Axil de diseño  $N_d = 1425,20 \text{ KN}$

$f_{cd} = 20000 \text{ KN/m}^2$   
 $U_o = 11300 \text{ KN/m}^2$   
 $U_v = 1400,0 \text{ KN/m}^2$   
 $U_a = 12000,0 \text{ KN/m}^2$   
 $F_{ct,m} = 2,9 \text{ Mpa}$   
 $F_{ct,m,fl} = 4,63 \text{ Mpa}$

$d' = 0,035 \text{ m}$   
 $d = 0,565 \text{ m}$   
 $X_{lim} = 0,353125 \text{ m}$   
 $M_{lim} = 2394,1875 \text{ m KN}$   
 $I_{bruta} = 0,0180 \text{ m}^4$   
 $W_{bruta} = 0,06 \text{ m}^3$

## ESTADO LIMITE DE AGOTAMIENTO FRENTE A CORTANTE

### ESFUERZOS DE DISEÑO

Cortante de diseño  $V_d = 397,17 \text{ KN}$   
 Componente de Fuerza Pret.  $V_{pd} = 0 \text{ KN}$   
 Componente Canto Variable  $V_{cd} = 0 \text{ KN}$   
**Esfuerzo cortante efectivo  $V_{rd} = V_d + V_{pd} + V_{cd} = 397,17 \text{ KN}$**

$V_{rd} < V_{u1}$   
 $V_{rd} < V_{u2}$

### Vu1: AGOTAMIENTO POR COMPRESION DEL ALMA

$\theta$ : Angulo entre las bielas de hgon y eje pieza  $\theta = 36,55^\circ$   $COT \theta = 1,349103115$   
 $\theta_e$ : Angulo de referencia  $\theta_e = 36,55$   $COT \theta_e = 1,35$   
 $\alpha$ : Angulo de las armaduras con el eje de la pieza  $\alpha = 90,00^\circ$   $COT \alpha = 0,00$   
 $N_d$ : Esfuerzo Axil de cálculo (traccion +)  $N_d = 1.425,20 \text{ KN}$   $\sigma'_{cd} = 2.375,33 \text{ KN/m}^2$

$K = 1,119$   
 $F_{1cd} = 12000,00 \text{ KN/m}^2$

$V_{u1} = 3628,72 \text{ KN}$   
**CORRECTO**

### Vu2: AGOTAMIENTO POR TRACCION EN EL ALMA

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES NO FISURADAS

$F_{ct,m} = 2,90 \text{ Mpa}$   
 $F_{ct,k} = 2,03 \text{ Mpa}$   
 $F_{ct,d} = 1,35 \text{ Mpa}$

$V_{u2} = 897,80 \text{ ton}$   
**CORRECTO**

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES FISURADAS

Ast: Armadura Longitudinal Traccionada Adherente

Acs: Armadura Longitudinal Comprimida Adherente

$A_{st} = 24,54 \text{ cm}^2$   
 $A_{sc} = 24,54 \text{ cm}^2$   
 $\rho = 0,00434$   
 $F_{cv} = 30 \text{ Mpa}$   
 $\epsilon_{silon} = 1,594964117$

$V_{u2} > 512,99 \text{ KN}$   
 $V_{u2} = 484,01 \text{ KN}$   
**CORRECTO**

#### PIEZAS CON ARMADURA A CORTANTE

$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$  Supuesto  $\beta = 1$  (H.A.):

$V_{cu} = 413,36 \text{ KN}$   
 $V_{su} = V_{u2} - V_{cu} = V_{rd} - V_{cu}$   
 $V_{su} = -16,19 \text{ KN}$   
 $A_{s \text{ min}} = 0,00 \text{ cm}^2/\text{ml}$

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

#### Limitaciones a los valores de s:

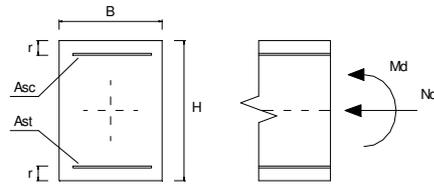
$V_{rd}/V_{u1} = 0,11$   
 $S_l = 0,42375 \text{ m}$  Separación longitudinal entre cercos  
 $S_t = 0,5 \text{ m}$  Separación transversal entre ramas



## COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES A FISURACION SEGÚN EHE-08 PARA Fck < 50 Mpa

### MATERIALES

|                                    |                 |                |
|------------------------------------|-----------------|----------------|
| Resistencia Hormigón               | $f_{ck} =$      | 30,00 Mpa      |
| Coef. de minoración del Hgon.      | $\gamma_c =$    | 1,50           |
| Resistencia Acero                  | $f_{ys} =$      | 500,00 Mpa     |
| Coef. de minoración del Acero      | $\gamma_s =$    | 1,15           |
| Coef. de cansancio                 | $\alpha_{cc} =$ | 1,00           |
| Modulo de elasticidad del hormigón | $E_c =$         | 28.576,79 Mpa  |
| Modulo de elasticidad del acero    | $E_s =$         | 210.000,00 Mpa |



### SECCION

|               |    |        |
|---------------|----|--------|
| Ancho sección | B= | 1,00 m |
| Canto sección | H= | 0,60 m |
| Recubrimiento | r= | 0,04 m |

| $\phi$ | AREA (cm2) |
|--------|------------|
| 6      | 0,283      |
| 8      | 0,503      |
| 10     | 0,785      |
| 12     | 1,131      |
| 16     | 2,011      |
| 20     | 3,142      |
| 25     | 4,909      |
| 32     | 8,042      |

### ESFUERZOS DE SERVICIO

|         |    |             |
|---------|----|-------------|
| Momento | M= | 407,05 m KN |
| Axil    | N= | 720,25 KN   |

### ARMADURA

|                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| Armadura de compresión (Asc): | 24,54 cm <sup>2</sup> |
| Armadura de tracción (Ast):   | 24,54 cm <sup>2</sup> |
| Diametro                      | 25,00 mm              |
| Separación                    | 20,00 cm              |
| d' =                          | 0,05 m                |
| d =                           | 0,55 m                |

### CALCULOS CON LA SECCION INTEGRRA

|  |                             |                           |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| I Homogeneizada=                               | 18000003246 mm <sup>4</sup> |                           |
| W Homogeneizada=                               | 60000010,82 mm <sup>3</sup> |                           |
| Tensión en la fibra comprimida (del hormigón)  | 7,98 N/mm <sup>2</sup>      | (+ compresión - tracción) |
| Tensión en la fibra traccionada (del hormigón) | -5,58 N/mm <sup>2</sup>     | (+ compresión - tracción) |
| Fct,m  | -2,90 N/mm <sup>2</sup>     |                           |
| Fct,m,fl                                       | -2,90 N/mm <sup>2</sup>     |                           |

ES NECESARIA LA COMPROBACIÓN A FISURACION

### CALCULOS SEGÚN EL METODO GENERAL DE LA EHE-08 (ARTICULO 49.2.4)

|                   |                               |  |   |
|-------------------|-------------------------------|--|---|
| K1                | 0,125                         | Influencia del diagrama de tracciones                      |   |
| K2                | 0,5                           | Carga no instantanea                                       |   |
| Beta              | 1,7                           | Relación entre la abertura media y el valor característico |   |
| $\sigma_s =$      | -164.106,55 KN/m <sup>2</sup> | ( -164,1065454 Mpa )                                       | Tensión en la armadura traccionada (en servicio) <span style="float: right;">375276,1214</span> |
| Mf                | 245,81 m KN                   |  | Momento para el que la tensión en la fibra traccionada de hormigón es Fct,m,fl                  |
| $\sigma_{sr} =$   | -33.831,00 KN/m <sup>2</sup>  | ( -33,83099854 Mpa )                                       | Tensión en la armadura traccionada cuando la tensión en la fibra inferior de hormigón           |
| Acef=             | 0,22 m <sup>2</sup>           |  |   |
| S=                | 0,2233 m                      | Separación media entre fisuras                             |   |
| $\epsilon_{sm} =$ | 0,00076                       |  |   |
| Wk=               | 0,290 mm                      |  |   |

Tabla 5.1.1.2

| Clase de exposición,<br>según artículo 8º   | $w_{m\acute{a}x}$ [mm]   |   |
|---|--|---|
|   | Hormigón armado<br>(para la combinación<br>cuasipermanente de<br>acciones) | Hormigón pretensado<br>(para la combinación frecuente de<br>acciones) |
| I   | 0,4  | 0,2   |
| IIa, IIb, H                                 | 0,3  | 0,2 <sup>(1)</sup>  |
| IIIa, IIIb, IV, F, Qa <sup>(2)</sup>        | 0,2  | Descompresión   |
| IIIc, Qb <sup>(2)</sup> , Qc <sup>(2)</sup> | 0,1  |   |

(1) Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección, bajo la combinación cuasipermanente de acciones.

(2) La limitación relativa a la clase Q sólo será de aplicación en el caso de que el ataque químico pueda afectar a la armadura. En otros casos, se aplicará la limitación correspondiente a la clase general correspondiente.



## 1.2.2 HASTIAL

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL

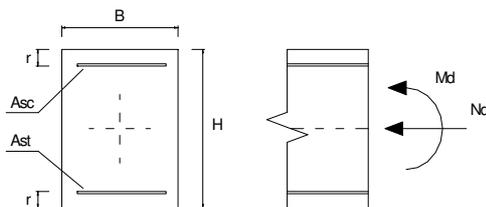




# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50$ Mpa

## MATERIALES

|                               |                 |      |     |
|-------------------------------|-----------------|------|-----|
| Resistencia Hormigon          | $f_{ck} =$      | 30   | Mpa |
| Coef. de minoracion del Hgon. | $\gamma_c =$    | 1,5  |     |
| Resistencia Acero             | $f_{ys} =$      | 500  | Mpa |
| Coef. de minoracion del Acero | $\gamma_s =$    | 1,15 |     |
| Coef. de cansancio            | $\alpha_{cc} =$ | 1    |     |



## SECCION

|               |     |      |   |
|---------------|-----|------|---|
| Ancho seccion | B = | 1    | m |
| Canto seccion | H = | 0,75 | m |
| Recubrimiento | r = | 0,04 | m |

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

## ESFUERZOS DE DISEÑO

|                   |      |         |      |
|-------------------|------|---------|------|
| Momento de diseño | Md = | 754,15  | m KN |
| Axil de diseño    | Nd = | 1529,38 | KN   |

|                 |         |                   |               |           |                |
|-----------------|---------|-------------------|---------------|-----------|----------------|
| $f_{cd} =$      | 20000   | KN/m <sup>2</sup> | $d' =$        | 0,035     | m              |
| $U_{0c} =$      | 14300   | KN/m <sup>2</sup> | $d =$         | 0,715     | m              |
| $U_v =$         | 1400,0  | KN/m <sup>2</sup> | $X_{lim} =$   | 0,446875  | m              |
| $U_a =$         | 15000,0 | KN/m <sup>2</sup> | $M_{lim} =$   | 3834,1875 | m KN           |
| $F_{ct,m} =$    | 2,9     | Mpa               | $I_{bruta} =$ | 0,0352    | m <sup>4</sup> |
| $F_{ct,m,fl} =$ | 4,63    | Mpa               | $W_{bruta} =$ | 0,09375   | m <sup>3</sup> |

## ESTADO LÍMITE DE FLEXIÓN SIMPLE: CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SECCIONES RECTANGULARES SEGÚN LA EHE-08 ( ANEJO N° 7 )

|                               |              |                 |            |             |    |
|-------------------------------|--------------|-----------------|------------|-------------|----|
| Armadura de compresión (Asc): | No necesaria | cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 0           | KN |
| Armadura de tracción (Ast):   | 25,226827    | cm <sup>2</sup> | $U_{st} =$ | 1096,818565 | KN |

## ESTADO LÍMITE DE FLEX. COMPUESTA ( $U_{s1} = U_{s2}$ ): CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SEC. RECTANGULARES SEGÚN LA EHE ( ANEJO N° 7 )

|                               |             |                 |            |        |    |
|-------------------------------|-------------|-----------------|------------|--------|----|
| Armadura de compresión (Asc): | 8,087462252 | cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 351,63 | KN |
| Armadura de tracción (Ast):   | 8,087462252 | cm <sup>2</sup> | $U_{st} =$ | 351,63 | KN |

|                  |                      |                              |          |    |        |                 |
|------------------|----------------------|------------------------------|----------|----|--------|-----------------|
| Cuantías mínimas | Flexión compuesta    | $U_{st} >$                   | 809,82   | KN | 18,63  | cm <sup>2</sup> |
|                  |                      | $U_{sc} >$                   | 76,47    | KN | 1,76   | cm <sup>2</sup> |
|                  | Compresión compuesta | $U_{st} \text{ y } U_{sc} >$ | 76,47    | KN | 1,76   | cm <sup>2</sup> |
|                  |                      | $U_{st} \text{ y } U_{sc} <$ | 7.500,00 | KN | 172,50 | cm <sup>2</sup> |

Tabla 42.3.5. Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón<sup>(6)</sup>

| Tipo de elemento estructural | Tipo de acero  |                                     |     |
|------------------------------|--|-------------------------------------|-----|
|                              | Aceros con $f_y = 400\text{N/mm}^2$                            | Aceros con $f_y = 500\text{N/mm}^2$ |     |
| Pilares                      | 4,0  | 4,0                                 |     |
| Losas <sup>(1)</sup>         | 2,0  | 1,8                                 |     |
| Forjados unidireccionales    | Nervios <sup>(2)</sup>   | 4,0                                 | 3,0 |
|                              | Armadura de reparto perpendicular a los nervios <sup>(3)</sup> | 1,4                                 | 1,1 |
|                              | Armadura de reparto paralela a los nervios <sup>(3)</sup>      | 0,7                                 | 0,6 |
| Vigas <sup>(4)</sup>         | 3,3  | 2,8                                 |     |
| Muros <sup>(5)</sup>         | Armadura horizontal  | 4,0                                 | 3,2 |
|                              | Armadura vertical  | 1,2                                 | 0,9 |

- (1) Cuantía mínima de cada una de las armaduras, longitudinal y transversal repartida en las dos caras. Para losas de cimentación y zapatas armadas, se adoptará la mitad de estos valores en cada dirección dispuestos en la cara inferior.
- (2) Cuantía mínima referida a una sección rectangular de ancho  $b_w$  y canto  $d$  del forjado de acuerdo con la Figura 42.3.5. Esta cuantía se aplica estrictamente en los nervios y no en las zonas macizadas. Todas las viguetas deben tener en la cabeza inferior, al menos, dos armaduras activas o pasivas longitudinales simétricas respecto al plano medio vertical.
- (3) Cuantía mínima referida al espesor de la capa de compresión horiongada in situ.
- (4) Cuantía mínima correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.
- (5) La cuantía mínima vertical es la correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.  
A partir de los 2,5 m de altura del fuste del muro y siempre que esta distancia no sea menor que la mitad de la altura del muro podrá reducirse la cuantía horizontal a un 2%. En el caso en que se dispongan juntas verticales de contracción a distancias no superiores a 7,5 m, con la armadura horizontal interrumpida, las cuantías geométricas horizontales mínimas pueden reducirse al 2%. La armadura mínima horizontal deberá repartirse en ambas caras. Para muros vistos por ambas caras debe disponerse el 50% en cada cara. En el caso de muros con espesores superiores a 50 cm, se considerará un área efectiva de espesor máximo 50 cm distribuidos en 25 cm a cada cara, ignorando la zona central que queda entre estas capas superficiales.
- (6) En el caso de elementos pretensados, la armadura activa podrá tenerse en cuenta en relación con el cumplimiento de las cuantías geométricas mínimas sólo en el caso de las armaduras pretesas que actúen antes de que se desarrolle cualquier tipo de deformación térmica o retracción.

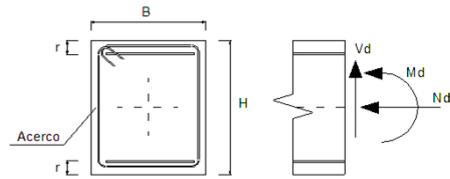


# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50$ Mpa

## MATERIALES

Resistencia Hormigon  
 Coef. de minoracion del Hgon.  
 Resistencia Acero  
 Coef. de minoracion del Acero  
 Coef. de cansancio

$f_{ck} = 30$  Mpa  
 $\gamma_c = 1,5$   
 $f_{ys} = 500$  Mpa  
 $\gamma_s = 1,15$   
 $\alpha_{cc} = 1$



## SECCION

Ancho seccion  
 Canto seccion  
 Recubrimiento

$B = 1$  m  
 $H = 0,6$  m  
 $r = 0,04$  m

## ESFUERZOS DE DISEÑO

Momento de diseño  
 Axil de diseño

$M_d = 0,00$  m KN  
 $N_d = 1404,15$  KN

$f_{cd} = 20000$  KN/m<sup>2</sup>  
 $U_o = 11300$  KN/m<sup>2</sup>  
 $U_v = 1400,0$  KN/m<sup>2</sup>  
 $U_a = 12000,0$  KN/m<sup>2</sup>  
 $F_{ct,m} = 2,9$  Mpa  
 $F_{ct,m,fl} = 4,63$  Mpa

$d' = 0,035$  m  
 $d = 0,565$  m  
 $X_{lim} = 0,353125$  m  
 $M_{lim} = 2394,1875$  m KN  
 $I_{bruta} = 0,0180$  m<sup>4</sup>  
 $W_{bruta} = 0,06$  m<sup>3</sup>

## ESTADO LIMITE DE AGOTAMIENTO FRENTE A CORTANTE

### ESFUERZOS DE DISEÑO

Cortante de diseño  $V_d = 539,27$  KN  
 Componente de Fuerza Pret.  $V_{pd} = 0$  KN  
 Componente Canto Variable  $V_{cd} = 0$  KN  
**Esfuerzo cortante efectivo**  $V_{rd} = V_d + V_{pd} + V_{cd} = 539,27$  KN

**$V_{rd} < V_{u1}$   
 $V_{rd} < V_{u2}$**

### Vu1: AGOTAMIENTO POR COMPRESION DEL ALMA

$\theta$ : Angulo entre las bielas de hgon y eje pieza  $\theta = 36,64^\circ$   $COT \theta = 1,344606546$   
 $\theta_e$ : Angulo de referencia  $\theta_e = 36,64$   $COT \theta_e = 1,34$   
 $\alpha$ : Angulo de las armaduras con el eje de la pieza  $\alpha = 90,00^\circ$   $COT \alpha = 0,00$   
 $N_d$ : Esfuerzo Axil de cálculo (traccion +)  $N_d = 1.404,15$  KN  $\sigma'_{cd} = 2.340,25$  KN/m<sup>2</sup>

$K = 1,117$   
 $F_{1cd} = 12000,00$  KN/m<sup>2</sup>

**$V_{u1} = 3626,53$  KN  
CORRECTO**

### Vu2: AGOTAMIENTO POR TRACCION EN EL ALMA

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES NO FISURADAS

$F_{ct,m} = 2,90$  Mpa  
 $F_{ct,k} = 2,03$  Mpa  
 $F_{ct,d} = 1,35$  Mpa

**$V_{u2} = 893,56$  ton  
CORRECTO**

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES FISURADAS

Ast: Armadura Longitudinal Traccionada Adherente

Acs: Armadura Longitudinal Comprimida Adherente

$A_{st} = 24,54$  cm<sup>2</sup>  
 $A_{sc} = 24,54$  cm<sup>2</sup>  
 $\rho = 0,00434$   
 $F_{cv} = 30$  Mpa  
 $\epsilon_{silon} = 1,594964117$

**$V_{u2} > 510,01$  KN  
 $V_{u2} = 480,85$  KN  
FALLO DE BIELAS HGON.**

#### PIEZAS CON ARMADURA A CORTANTE

$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$  Supuesto  $\beta = 1$  (H.A.):

**$V_{cu} = 410,39$  KN**  
 $V_{su} = V_{u2} - V_{cu} = V_{rd} - V_{cu}$   
 $V_{su} = 128,88$  KN  
 **$A_s = 4,34$  cm<sup>2</sup>/ml**

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

#### Limitaciones a los valores de s:

$V_{rd}/V_{u1} = 0,15$   
 $S_l = 0,42375$  m  
 $S_t = 0,5$  m

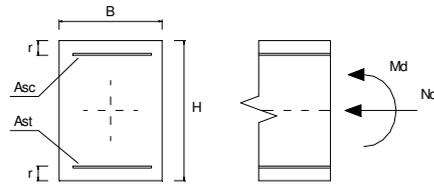
Separación longitudinal entre cercos  
 Separación transversal entre ramas



## COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES A FISURACION SEGÚN EHE-08 PARA Fck < 50 Mpa

### MATERIALES

|                                    |                 |                |
|------------------------------------|-----------------|----------------|
| Resistencia Hormigón               | $f_{ck} =$      | 30,00 Mpa      |
| Coef. de minoración del Hgon.      | $\gamma_c =$    | 1,50           |
| Resistencia Acero                  | $f_{ys} =$      | 500,00 Mpa     |
| Coef. de minoración del Acero      | $\gamma_s =$    | 1,15           |
| Coef. de cansancio                 | $\alpha_{cc} =$ | 1,00           |
| Modulo de elasticidad del hormigón | $E_c =$         | 28.576,79 Mpa  |
| Modulo de elasticidad del acero    | $E_s =$         | 210.000,00 Mpa |



### SECCION

|               |    |        |
|---------------|----|--------|
| Ancho sección | B= | 1,00 m |
| Canto sección | H= | 0,75 m |
| Recubrimiento | r= | 0,04 m |

| $\phi$ | AREA (cm2) |
|--------|------------|
| 6      | 0,283      |
| 8      | 0,503      |
| 10     | 0,785      |
| 12     | 1,131      |
| 16     | 2,011      |
| 20     | 3,142      |
| 25     | 4,909      |
| 32     | 8,042      |

### ESFUERZOS DE SERVICIO

|         |    |             |
|---------|----|-------------|
| Momento | M= | 502,76 m KN |
| Axil    | N= | 1529,38 KN  |

### ARMADURA

|                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| Armadura de compresión (Asc): | 24,54 cm <sup>2</sup> |
| Armadura de tracción (Ast):   | 24,54 cm <sup>2</sup> |
| Diametro                      | 25,00 mm              |
| Separación                    | 20,00 cm              |
| d' =                          | 0,05 m                |
| d =                           | 0,70 m                |

### CALCULOS CON LA SECCION INTEGRRA

|  |                             |                           |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| I Homogeneizada=                               | 35156255072 mm <sup>4</sup> |                           |
| W Homogeneizada=                               | 93750013,53 mm <sup>3</sup> |                           |
| Tensión en la fibra comprimida (del hormigón)  | 7,40 N/mm <sup>2</sup>      | (+ compresión - tracción) |
| Tensión en la fibra traccionada (del hormigón) | -3,32 N/mm <sup>2</sup>     | (+ compresión - tracción) |
| Fct,m  | -2,90 N/mm <sup>2</sup>     |                           |
| Fct,m,fl                                       | -2,90 N/mm <sup>2</sup>     |                           |

ES NECESARIA LA COMPROBACIÓN A FISURACION

### CALCULOS SEGÚN EL METODO GENERAL DE LA EHE-08 (ARTICULO 49.2.4)

|                   |                             |  |   |             |
|-------------------|-----------------------------|--|---|-------------|
| K1                | 0,125                       | Influencia del diagrama de tracciones                      |   |             |
| K2                | 0,5                         | Carga no instantanea                                       |   |             |
| Beta              | 1,7                         | Relación entre la abertura media y el valor característico |   |             |
| $\sigma_s =$      | 7.988,66 KN/m <sup>2</sup>  | ( 7,988655532 Mpa )  | Tensión en la armadura traccionada (en servicio)                                      | 364543,9068 |
| Mf                | 462,72 m KN                 |  | Momento para el que la tensión en la fibra traccionada de hormigón es Fct,m,fl        |             |
| $\sigma_{sr} =$   | 33.947,24 KN/m <sup>2</sup> | ( 33,94723767 Mpa )  | Tensión en la armadura traccionada cuando la tensión en la fibra inferior de hormigón |             |
| Acef=             | 0,22 m <sup>2</sup>         |  |   |             |
| S=                | 0,0000 m                    | Separación media entre fisuras                             |   |             |
| $\epsilon_{sm} =$ | 0,00000                     |  |   |             |
| Wk=               | 0,000 mm                    |  |   |             |

Tabla 5.1.1.2

| Clase de exposición,<br>según artículo 8º   | $w_{m\acute{a}x}$ [mm]   |   |
|---|--|---|
|   | Hormigón armado<br>(para la combinación<br>cuasipermanente de<br>acciones) | Hormigón pretensado<br>(para la combinación frecuente de<br>acciones) |
| I   | 0,4  | 0,2   |
| IIa, IIb, H                                 | 0,3  | 0,2 <sup>(1)</sup>  |
| IIIa, IIIb, IV, F, Qa <sup>(2)</sup>        | 0,2  | Descompresión   |
| IIIc, Qb <sup>(2)</sup> , Qc <sup>(2)</sup> | 0,1  |   |

(1) Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección, bajo la combinación cuasipermanente de acciones.

(2) La limitación relativa a la clase Q sólo será de aplicación en el caso de que el ataque químico pueda afectar a la armadura. En otros casos, se aplicará la limitación correspondiente a la clase general correspondiente.



### 1.2.3 ZAPATA

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL

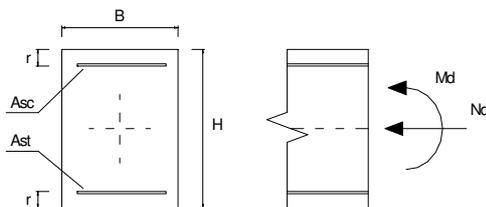




# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50$ Mpa

## MATERIALES

|                               |                 |      |     |
|-------------------------------|-----------------|------|-----|
| Resistencia Hormigon          | $f_{ck} =$      | 30   | Mpa |
| Coef. de minoracion del Hgon. | $\gamma_c =$    | 1,5  |     |
| Resistencia Acero             | $f_{ys} =$      | 500  | Mpa |
| Coef. de minoracion del Acero | $\gamma_s =$    | 1,15 |     |
| Coef. de cansancio            | $\alpha_{cc} =$ | 1    |     |



## SECCION

|               |     |      |   |
|---------------|-----|------|---|
| Ancho seccion | B = | 1    | m |
| Canto seccion | H = | 1,25 | m |
| Recubrimiento | r = | 0,07 | m |

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

## ESFUERZOS DE DISEÑO

|                   |      |         |      |
|-------------------|------|---------|------|
| Momento de diseño | Md = | 1621,13 | m KN |
| Axil de diseño    | Nd = | 0,00    | KN   |

|                 |         |                   |               |             |                |
|-----------------|---------|-------------------|---------------|-------------|----------------|
| $f_{cd} =$      | 20000   | KN/m <sup>2</sup> | $d' =$        | 0,07        | m              |
| $U_{0c} =$      | 23600   | KN/m <sup>2</sup> | $d =$         | 1,18        | m              |
| $U_{vc} =$      | 2800,0  | KN/m <sup>2</sup> | $X_{lim} =$   | 0,7375      | m              |
| $U_{ac} =$      | 25000,0 | KN/m <sup>2</sup> | $M_{lim} =$   | 10443,0000  | m KN           |
| $F_{ct,m} =$    | 2,9     | Mpa               | $I_{bruta} =$ | 0,1628      | m <sup>4</sup> |
| $F_{ct,m,fl} =$ | 4,63    | Mpa               | $W_{bruta} =$ | 0,260416667 | m <sup>3</sup> |

## ESTADO LÍMITE DE FLEXIÓN SIMPLE: CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SECCIONES RECTANGULARES SEGÚN LA EHE-08 ( ANEJO N° 7 )

|                               |              |                 |            |             |    |
|-------------------------------|--------------|-----------------|------------|-------------|----|
| Armadura de compresión (Asc): | No necesaria | cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 0           | KN |
| Armadura de tracción (Ast):   | 32,57580496  | cm <sup>2</sup> | $U_{st} =$ | 1416,339346 | KN |

## ESTADO LÍMITE DE FLEX. COMPUESTA ( $U_{s1} = U_{s2}$ ): CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SEC. RECTANGULARES SEGÚN LA EHE ( ANEJO N° 7 )

|                               |             |                 |            |          |    |
|-------------------------------|-------------|-----------------|------------|----------|----|
| Armadura de compresión (Asc): | 33,59098198 | cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 1.460,48 | KN |
| Armadura de tracción (Ast):   | 33,59098198 | cm <sup>2</sup> | $U_{st} =$ | 1.460,48 | KN |

|                  |                      |                              |           |    |        |                 |
|------------------|----------------------|------------------------------|-----------|----|--------|-----------------|
| Cuantías mínimas | Flexión compuesta    | $U_{st} >$                   | 1.362,62  | KN | 31,34  | cm <sup>2</sup> |
|                  |                      | $U_{sc} >$                   | 0,00      | KN | 0,00   | cm <sup>2</sup> |
|                  | Compresión compuesta | $U_{st} \text{ y } U_{sc} >$ | 0,00      | KN | 0,00   | cm <sup>2</sup> |
|                  |                      | $U_{st} \text{ y } U_{sc} <$ | 12.500,00 | KN | 287,50 | cm <sup>2</sup> |

Tabla 42.3.5. Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón<sup>(6)</sup>

| Tipo de elemento estructural | Tipo de acero  |                                     |     |
|------------------------------|--|-------------------------------------|-----|
|                              | Aceros con $f_y = 400\text{N/mm}^2$                            | Aceros con $f_y = 500\text{N/mm}^2$ |     |
| Pilares                      | 4,0  | 4,0                                 |     |
| Losas <sup>(1)</sup>         | 2,0  | 1,8                                 |     |
| Forjados unidireccionales    | Nervios <sup>(2)</sup>   | 4,0                                 | 3,0 |
|                              | Armadura de reparto perpendicular a los nervios <sup>(3)</sup> | 1,4                                 | 1,1 |
|                              | Armadura de reparto paralela a los nervios <sup>(3)</sup>      | 0,7                                 | 0,6 |
| Vigas <sup>(4)</sup>         | 3,3  | 2,8                                 |     |
| Muros <sup>(5)</sup>         | Armadura horizontal  | 4,0                                 | 3,2 |
|                              | Armadura vertical  | 1,2                                 | 0,9 |

- (1) Cuantía mínima de cada una de las armaduras, longitudinal y transversal repartida en las dos caras. Para losas de cimentación y zapatas armadas, se adoptará la mitad de estos valores en cada dirección dispuestos en la cara inferior.
- (2) Cuantía mínima referida a una sección rectangular de ancho  $b_w$  y canto  $d$  del forjado de acuerdo con la Figura 42.3.5. Esta cuantía se aplica estrictamente en los nervios y no en las zonas macizadas. Todas las viguetas deben tener en la cabeza inferior, al menos, dos armaduras activas o pasivas longitudinales simétricas respecto al plano medio vertical.
- (3) Cuantía mínima referida al espesor de la capa de compresión horiongada in situ.
- (4) Cuantía mínima correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.
- (5) La cuantía mínima vertical es la correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada. A partir de los 2,5 m de altura del fuste del muro y siempre que esta distancia no sea menor que la mitad de la altura del muro podrá reducirse la cuantía horizontal a un 2%. En el caso en que se dispongan juntas verticales de contracción a distancias no superiores a 7,5 m, con la armadura horizontal interrumpida, las cuantías geométricas horizontales mínimas pueden reducirse al 2%. La armadura mínima horizontal deberá repartirse en ambas caras. Para muros vistos por ambas caras debe disponerse el 50% en cada cara. En el caso de muros con espesores superiores a 50 cm, se considerará un área efectiva de espesor máximo 50 cm distribuidos en 25 cm a cada cara, ignorando la zona central que queda entre estas capas superficiales.
- (6) En el caso de elementos pretensados, la armadura activa podrá tenerse en cuenta en relación con el cumplimiento de las cuantías geométricas mínimas sólo en el caso de las armaduras pretesas que actúen antes de que se desarrolle cualquier tipo de deformación térmica o retráctil.

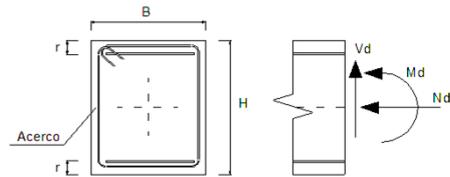


# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50$ Mpa

## MATERIALES

Resistencia Hormigon  
 Coef. de minoracion del Hgon.  
 Resistencia Acero  
 Coef. de minoracion del Acero  
 Coef. de cansancio

$f_{ck} = 30$  Mpa  
 $\gamma_c = 1,5$   
 $f_{ys} = 500$  Mpa  
 $\gamma_s = 1,15$   
 $\alpha_{cc} = 0,85$



## SECCION

Ancho seccion  $B = 1$  m  
 Canto seccion  $H = 1,25$  m  
 Recubrimiento  $r = 0,07$  m

## ESFUERZOS DE DISEÑO

Momento de diseño  $M_d = 0,00$  m KN  
 Axil de diseño  $N_d = 0,00$  KN

$f_{cd} = 17000$  KN/m<sup>2</sup>  
 $U_o = 20060$  KN/m<sup>2</sup>  
 $U_v = 2380,0$  KN/m<sup>2</sup>  
 $U_a = 21250,0$  KN/m<sup>2</sup>  
 $F_{ct,m} = 2,9$  Mpa  
 $F_{ct,m,fl} = 4,63$  Mpa

$d' = 0,07$  m  
 $d = 1,18$  m  
 $X_{lim} = 0,7375$  m  
 $M_{lim} = 8876,5500$  m KN  
 $I_{bruta} = 0,1628$  m<sup>4</sup>  
 $W_{bruta} = 0,260416667$  m<sup>3</sup>

## ESTADO LIMITE DE AGOTAMIENTO FRENTE A CORTANTE

### ESFUERZOS DE DISEÑO

Cortante de diseño  $V_d = 539,27$  KN  
 Componente de Fuerza Pret.  $V_{pd} = 0$  KN  
 Componente Canto Variable  $V_{cd} = 0$  KN  
**Esfuerzo cortante efectivo  $V_{rd} = V_d + V_{pd} + V_{cd} = 539,27$  KN**

$V_{rd} < V_{u1}$   
 $V_{rd} < V_{u2}$

### Vu1: AGOTAMIENTO POR COMPRESION DEL ALMA

$\theta$ : Angulo entre las bielas de hgon y eje pieza  $\theta = 45,00^\circ$   $COT \theta = 1,000000138$   
 $\theta_e$ : Angulo de referencia  $\theta_e = 45,00$   $COT \theta_e = 1,00$   
 $\alpha$ : Angulo de las armaduras con el eje de la pieza  $\alpha = 90,00^\circ$   $COT \alpha = 0,00$   
 $N_d$ : Esfuerzo Axil de cálculo (traccion +)  $N_d = 0,00$  KN  $\sigma'_{cd} = 0,00$  KN/m<sup>2</sup>

$K = 1,000$   
 $F_{1cd} = 10200,00$  KN/m<sup>2</sup>

$V_{u1} = 6018,00$  KN  
**CORRECTO**

### Vu2: AGOTAMIENTO POR TRACCION EN EL ALMA

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES NO FISURADAS

$F_{ct,m} = 2,90$  Mpa  
 $F_{ct,k} = 2,03$  Mpa  
 $F_{ct,d} = 1,35$  Mpa

$V_{u2} = 1.126,40$  ton  
**CORRECTO**

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES FISURADAS

Ast: Armadura Longitudinal Traccionada Adherente      Acs: Armadura Longitudinal Comprimida Adherente

$A_{st} = 49,08$  cm<sup>2</sup>  
 $A_{sc} = 10,05$  cm<sup>2</sup>  
 $\rho = 0,00416$   
 $F_{cv} = 30$  Mpa  
 $\epsilon_{psil} = 1,411693485$

$V_{u2} > 542,03$  KN  
 $V_{u2} = 491,15$  KN  
**FALLO DE BIELAS HGON.**

### PIEZAS CON ARMADURA A CORTANTE

$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$       Supuesto  $\beta = 1$  (H.A.):  
 $V_{cu} = 386,37$  KN  
 $V_{su} = V_{u2} - V_{cu} = V_{rd} - V_{cu}$   
 $V_{su} = 152,90$  KN  
 $A_s = 0,00$  cm<sup>2</sup>/ml

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

#### Limitaciones a los valores de s:

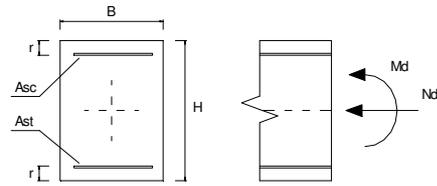
$V_{rd}/V_{u1} = 0,09$   
 $S_l = 0,6$  m      Separación longitudinal entre cercos  
 $S_t = 0,5$  m      Separación transversal entre ramas



## COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES A FISURACION SEGÚN EHE-08 PARA Fck < 50 Mpa

### MATERIALES

|                                    |                 |                |
|------------------------------------|-----------------|----------------|
| Resistencia Hormigón               | $f_{ck} =$      | 30,00 Mpa      |
| Coef. de minoración del Hgon.      | $\gamma_c =$    | 1,50           |
| Resistencia Acero                  | $f_{ys} =$      | 500,00 Mpa     |
| Coef. de minoración del Acero      | $\gamma_s =$    | 1,15           |
| Coef. de cansancio                 | $\alpha_{cc} =$ | 1,00           |
| Modulo de elasticidad del hormigón | $E_c =$         | 28.576,79 Mpa  |
| Modulo de elasticidad del acero    | $E_s =$         | 210.000,00 Mpa |



### SECCION

|               |    |        |
|---------------|----|--------|
| Ancho sección | B= | 1,00 m |
| Canto sección | H= | 1,25 m |
| Recubrimiento | r= | 0,07 m |

| $\phi$ | AREA (cm2) |
|--------|------------|
| 6      | 0,283      |
| 8      | 0,503      |
| 10     | 0,785      |
| 12     | 1,131      |
| 16     | 2,011      |
| 20     | 3,142      |
| 25     | 4,909      |
| 32     | 8,042      |

### ESFUERZOS DE SERVICIO

|         |    |               |
|---------|----|---------------|
| Momento | M= | 1.080,75 m KN |
| Axil    | N= | 0,00 KN       |

### ARMADURA

|                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| Armadura de compresión (Asc): | 10,05 cm <sup>2</sup> |
| Armadura de tracción (Ast):   | 49,08 cm <sup>2</sup> |
| Diametro                      | 20,00 mm              |
| Separación                    | 10,00 cm              |
| d'                            | 0,08 m                |
| d=                            | 1,17 m                |

### CALCULOS CON LA SECCION INTEGRRA

|  |                             |                           |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| I Homogeneizada=                               | 1,6276E+11 mm <sup>4</sup>  |                           |
| W Homogeneizada=                               | 260416693,8 mm <sup>3</sup> |                           |
| Tensión en la fibra comprimida (del hormigón)  | 4,15 N/mm <sup>2</sup>      | (+ compresión - tracción) |
| Tensión en la fibra traccionada (del hormigón) | -4,15 N/mm <sup>2</sup>     | (+ compresión - tracción) |
| Fct,m  | -2,90 N/mm <sup>2</sup>     |                           |
| Fct,m,fl                                       | -2,90 N/mm <sup>2</sup>     |                           |

ES NECESARIA LA COMPROBACIÓN A FISURACION

### CALCULOS SEGÚN EL METODO GENERAL DE LA EHE-08 (ARTICULO 49.2.4)

|                   |                               |  |   |
|-------------------|-------------------------------|--|---|
| K1                | 0,125                         | Influencia del diagrama de tracciones                      |   |
| K2                | 0,5                           | Carga no instantanea                                       |   |
| Beta              | 1,7                           | Relación entre la abertura media y el valor característico |   |
| $\sigma_s =$      | -192.075,63 KN/m <sup>2</sup> | ( -192,0756312 Mpa )                                       | Tensión en la armadura traccionada (en servicio) <span style="float: right;">235258,2388</span> |
| Mf                | 754,29 m KN                   |  | Momento para el que la tensión en la fibra traccionada de hormigón es Fct,m,fl                  |
| $\sigma_{sr} =$   | -133.216,28 KN/m <sup>2</sup> | ( -133,2162831 Mpa )                                       | Tensión en la armadura traccionada cuando la tensión en la fibra inferior de hormigón           |
| Acef=             | 0,22 m <sup>2</sup>           |  |   |
| S=                | 0,2048 m                      | Separación media entre fisuras                             |   |
| $\epsilon_{sm} =$ | 0,00069                       |  |   |
| Wk=               | 0,242 mm                      |  |   |

Tabla 5.1.1.2

| Clase de exposición, según artículo 8º      | $w_{m\acute{a}x}$ [mm]   |  |
|---|--|--|
|   | Hormigón armado<br>(para la combinación cuasipermanente de acciones) | Hormigón pretensado<br>(para la combinación frecuente de acciones) |
| I   | 0,4  | 0,2  |
| IIa, IIb, H                                 | 0,3  | 0,2 <sup>(1)</sup>   |
| IIIa, IIIb, IV, F, Qa <sup>(2)</sup>        | 0,2  | Descompresión  |
| IIIc, Qb <sup>(2)</sup> , Qc <sup>(2)</sup> | 0,1  |  |

(1) Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección, bajo la combinación cuasipermanente de acciones.

(2) La limitación relativa a la clase Q sólo será de aplicación en el caso de que el ataque químico pueda afectar a la armadura. En otros casos, se aplicará la limitación correspondiente a la clase general correspondiente.



## 1.2.4 EMPUE AL VACÍO

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL

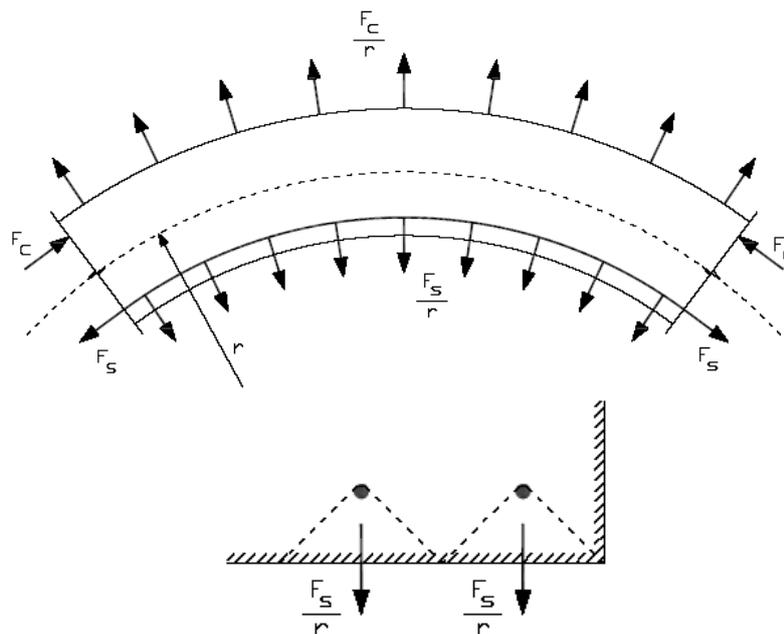




## Empuje al vacío.

Un cambio en la dirección de las fuerzas debido a la geometría del elemento, origina tracciones transversales que es necesario absorber con armadura para evitar la rotura del recubrimiento, según indica el Artículo 64 de la EHE.

En el caso particular de un elemento curvo este fenómeno ocurre en las zonas traccionadas de la cara interior, puesto que la tracción de la armadura transversal interior genera una fuerza proporcional a la curvatura del arco que puede romper el recubrimiento. La siguiente figura refleja este fenómeno.



Teniendo en cuenta que el radio interior de la bóveda es de 4,40 m y la armadura traccionada  $\Phi 20$  a 20 cm. se tiene:

$$A_{traccionada} = 15,71 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$F_{m\acute{a}x} = 15,71 \cdot \frac{50}{1,15} = 683 \text{ kN/m}$$

$$F_{desv\acute{i}o} = \frac{683 \text{ kN/m}}{4,40 \text{ m}} = 155 \text{ kN/m}^2$$

$$A_s = 3,57 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Se ha dispuesto en la bóveda la cuantía mínima de armadura de cortante. Puesto que en la bóveda, según los cálculos realizados no se precisa armadura de cortante. La armadura dispuesta sería suficiente para resistir el empuje al vacío.



### 1.3 TENSIONES SOBRE EL TERRENO

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL





| <b>TENSIONES SOBRE EL TERRENO</b>                          | <b>ZAPATA IZQDA</b>           | <b>ZAPATA DCHA</b>            |
|--|-------------------------------|-------------------------------|
| Anchura del arranque                                       | 75,00 cm                      | 75,00 cm                      |
| Anchura del vuelo exterior                                 | 175,00 cm                     | 175,00 cm                     |
| Anchura del vuelo interior                                 | 100,00 cm                     | 100,00 cm                     |
| Anchura de la cimentación                                  | 350,00 cm                     | 350,00 cm                     |
| Altura de la cimentación                                   | 125,00 cm                     | 125,00 cm                     |
| Altura de tierras sobre la cimentación                     | 19,35 m                       | 19,35 m                       |
| <b>Fuerza vertical sobre la base:</b>                      | 2301,15 kN                    | 2316,01 kN                    |
| Reacción vertical en el arranque (Rv)                      | 1514,53 kN                    | 1529,38 kN                    |
| Peso de las tierras sobre la cimentación (P)               | 677,25 kN                     | 677,25 kN                     |
| Peso de la cimentación (W)                                 | 109,38 kN                     | 109,38 kN                     |
| <b>Momento respecto al c.q.d. de la base:</b>              | 525,18 kNm                    | 521,84 kNm                    |
| Momento en el arranque                                     | 500,53 kNm                    | 502,76 kNm                    |
| Momento debido a la reacción vertical en el arranque       | -567,95 kNm                   | -573,52 kNm                   |
| Momento debido al peso de las tierras sobre la cimentación | 592,59 kNm                    | 592,59 kNm                    |
| Excentricidad de P   | 87,50 cm                      | 87,50 cm                      |
| Excentricidad de Rv  | -37,50 cm                     | -37,50 cm                     |
| <b>TENSIÓN MÁXIMA:</b>                                     | <b>9,15 kg/cm<sup>2</sup></b> | <b>9,17 kg/cm<sup>2</sup></b> |
| <b>TENSION MÍNIMA:</b>                                     | <b>4,00 kg/cm<sup>2</sup></b> | <b>4,06 kg/cm<sup>2</sup></b> |
| <b>TENSIÓN MEDIA:</b>                                      | <b>6,57 kg/cm<sup>2</sup></b> | <b>6,62 kg/cm<sup>2</sup></b> |

Nota: en los momentos, el signo negativo significa que se opone al momento producido por el peso de las tierras sobre la zapata.

| <b>TENSIONES SOBRE EL TERRENO</b>                          | <b>ZAPATA IZQDA</b>           | <b>ZAPATA DCHA</b>            |
|--|-------------------------------|-------------------------------|
| Anchura del arranque                                       | 75,00 cm                      | 75,00 cm                      |
| Anchura del vuelo exterior                                 | 175,00 cm                     | 175,00 cm                     |
| Anchura del vuelo interior                                 | 100,00 cm                     | 100,00 cm                     |
| Anchura de la cimentación                                  | 350,00 cm                     | 350,00 cm                     |
| Altura de la cimentación                                   | 125,00 cm                     | 125,00 cm                     |
| Altura de tierras sobre la cimentación                     | 14,25 m                       | 14,25 m                       |
| <b>Fuerza vertical sobre la base:</b>                      | 2020,15 kN                    | 2131,61 kN                    |
| Reacción vertical en el arranque (Rv)                      | 1412,03 kN                    | 1523,48 kN                    |
| Peso de las tierras sobre la cimentación (P)               | 498,75 kN                     | 498,75 kN                     |
| Peso de la cimentación (W)                                 | 109,38 kN                     | 109,38 kN                     |
| <b>Momento respecto al c.g.d. de la base:</b>              | 439,93 kNm                    | 222,19 kNm                    |
| Momento en el arranque                                     | 533,03 kNm                    | 357,09 kNm                    |
| Momento debido a la reacción vertical en el arranque       | -529,51 kNm                   | -571,31 kNm                   |
| Momento debido al peso de las tierras sobre la cimentación | 436,41 kNm                    | 436,41 kNm                    |
| Excentricidad de P   | 87,50 cm                      | 87,50 cm                      |
| Excentricidad de Rv  | -37,50 cm                     | -37,50 cm                     |
| <b>TENSIÓN MÁXIMA:</b>                                     | <b>7,93 kg/cm<sup>2</sup></b> | <b>7,18 kg/cm<sup>2</sup></b> |
| <b>TENSION MÍNIMA:</b>                                     | <b>3,62 kg/cm<sup>2</sup></b> | <b>5,00 kg/cm<sup>2</sup></b> |
| <b>TENSIÓN MEDIA:</b>                                      | <b>5,77 kg/cm<sup>2</sup></b> | <b>6,09 kg/cm<sup>2</sup></b> |

Nota: en los momentos, el signo negativo significa que se opone al momento producido por las tierras.

## 2. EDIFICIO SALIDA EMERGENCIA

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL





## 2.1 ESFUERZOS

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL





2.1.1 SALIDA NUMÉRICA  
(se incluye únicamente en la edición digital)

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL





## 2.1.2 SALIDA GRÁFICA

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

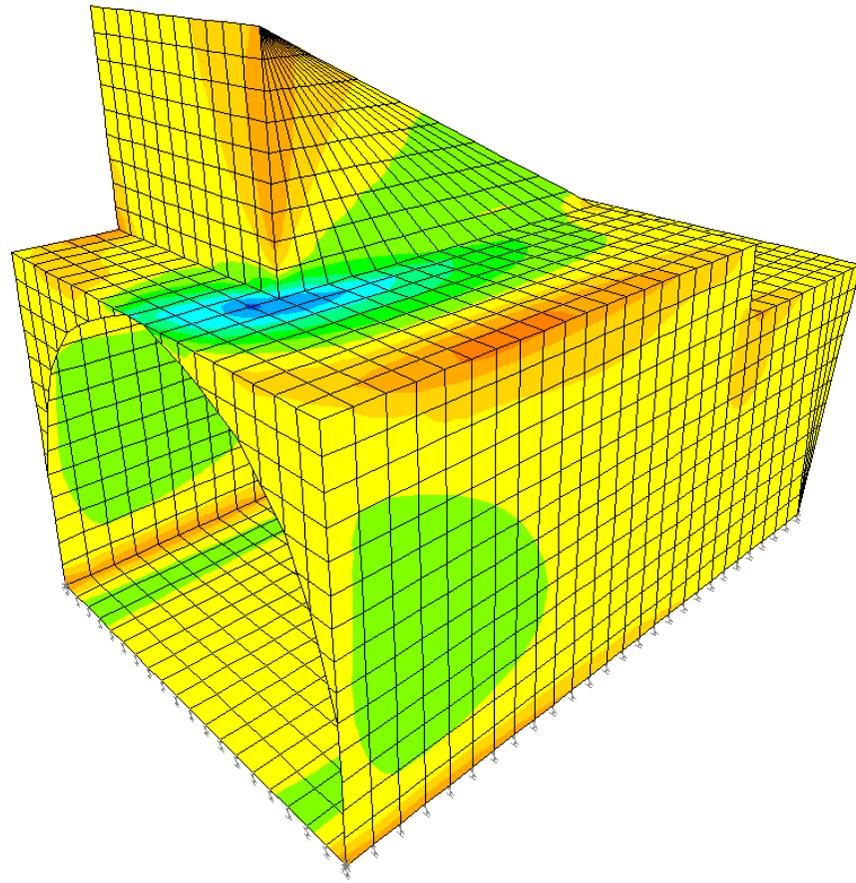
PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL

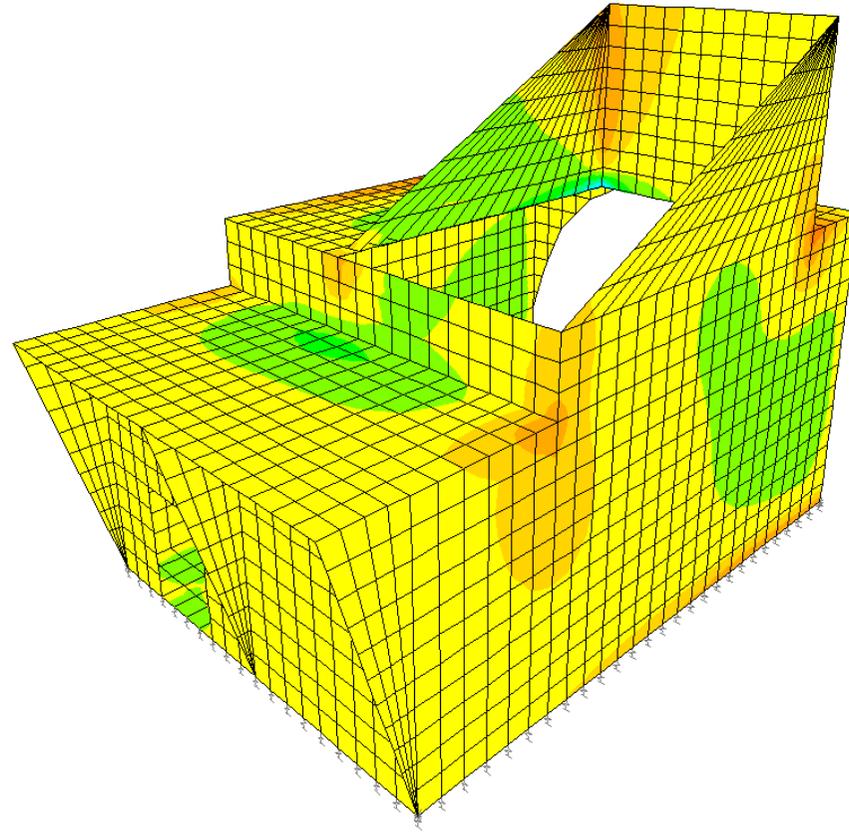


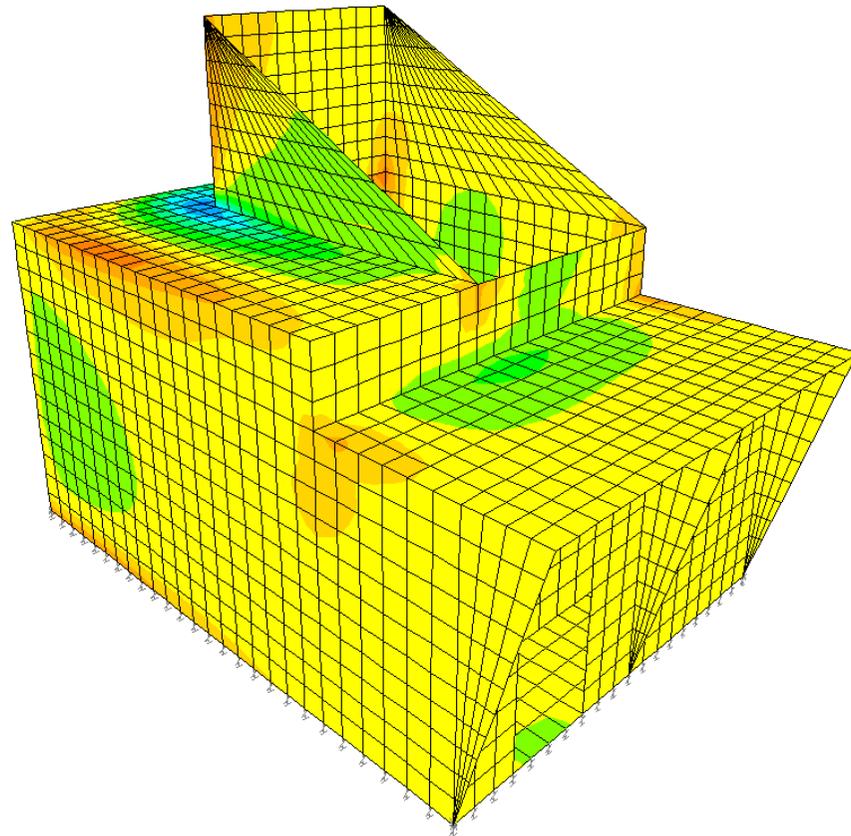


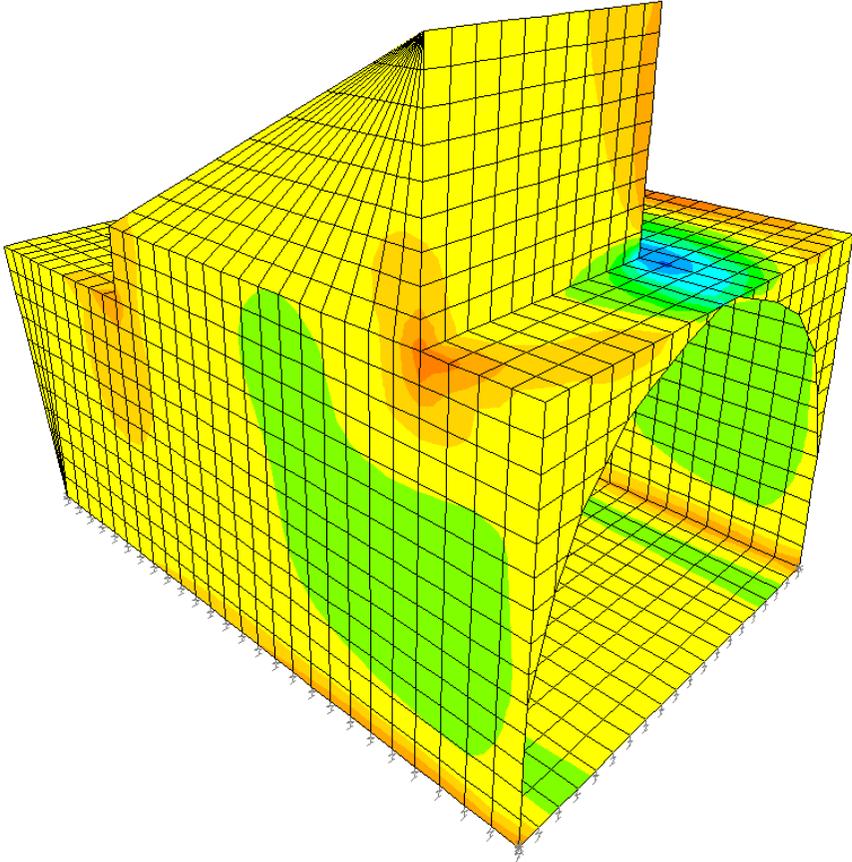
MOMENTO M11





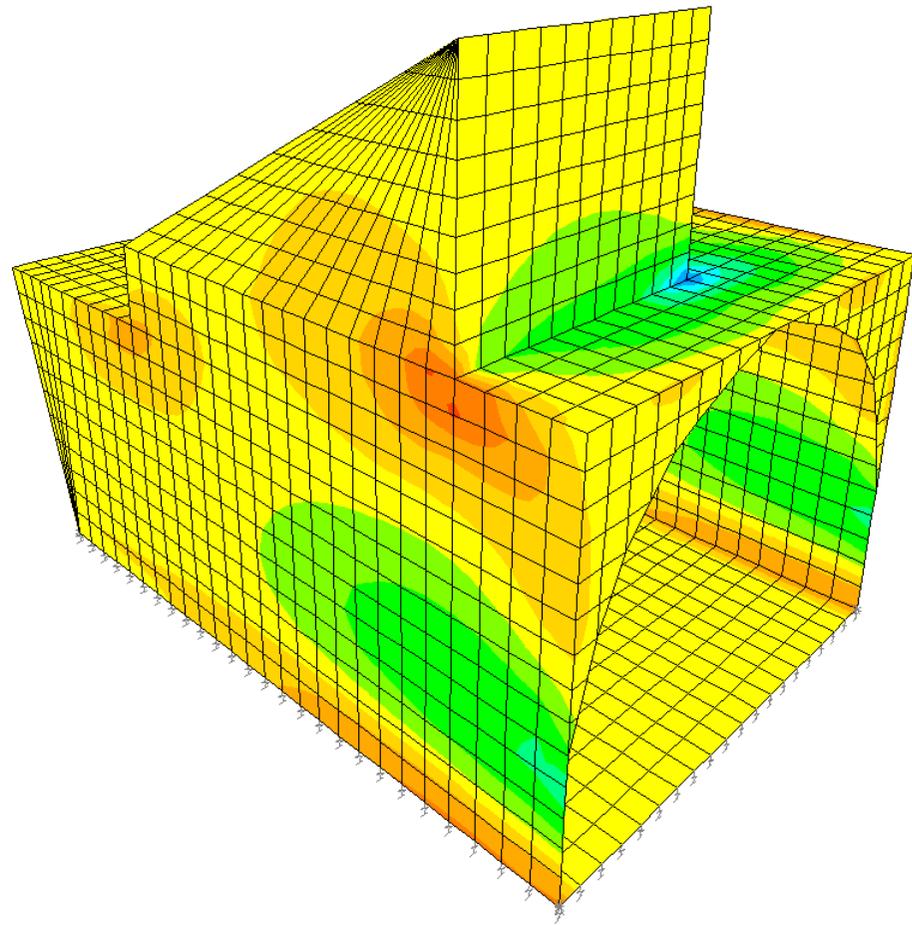


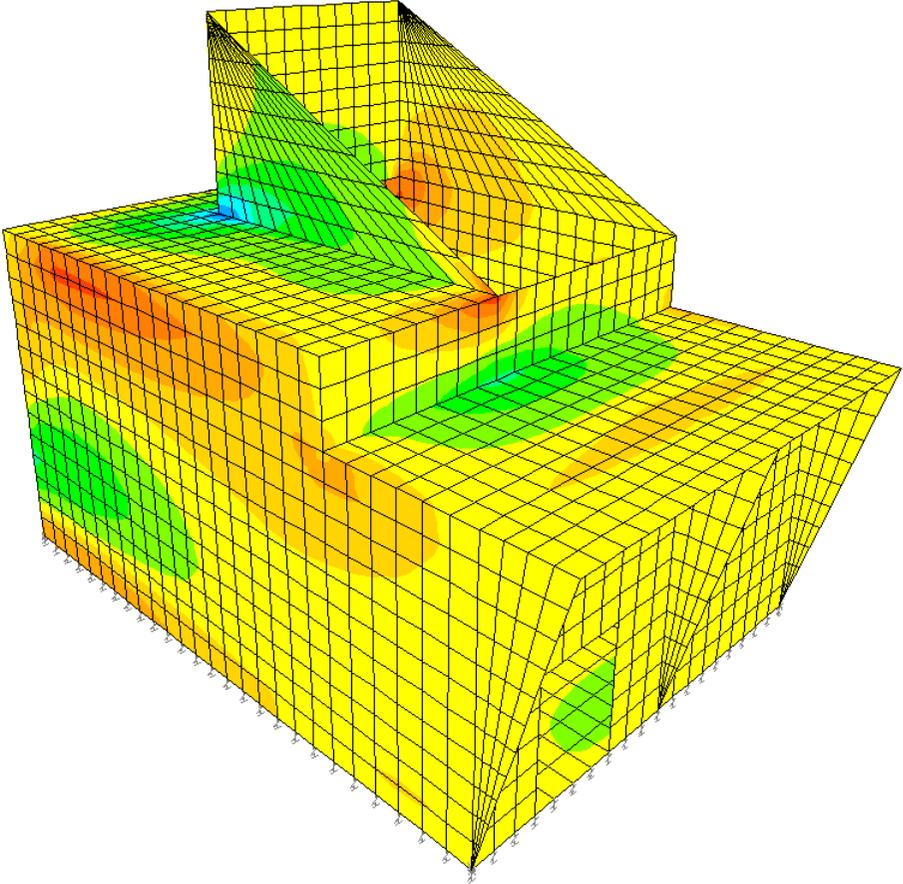


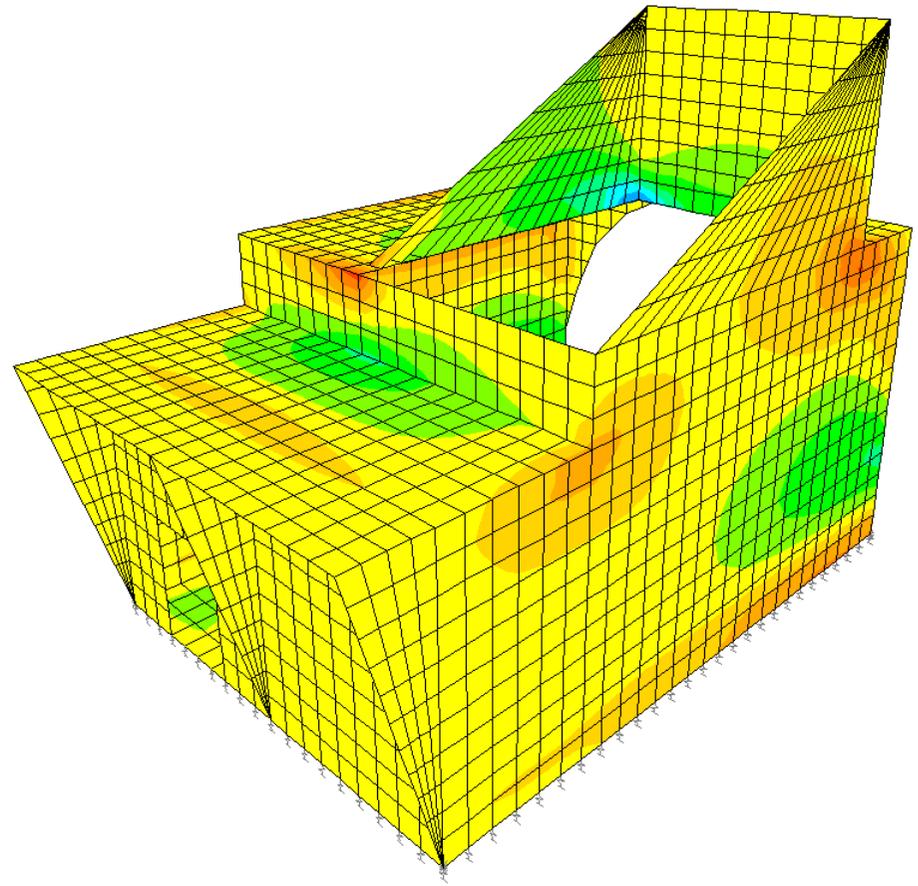


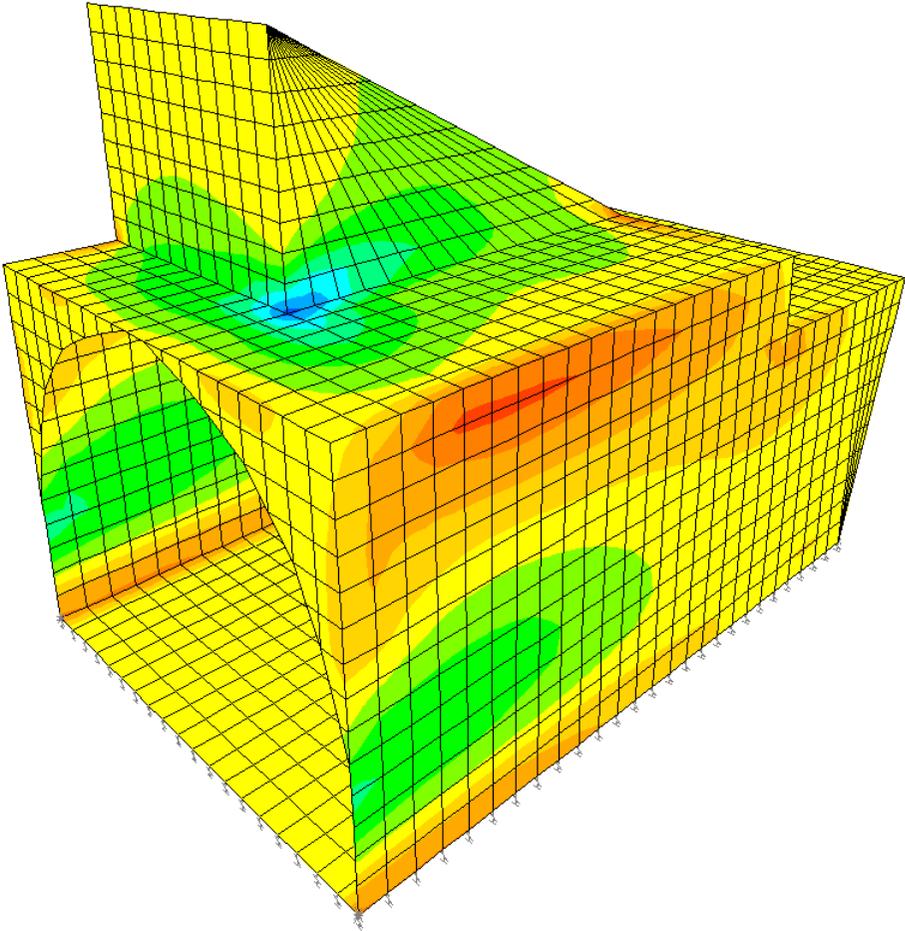
MOMENTO M22





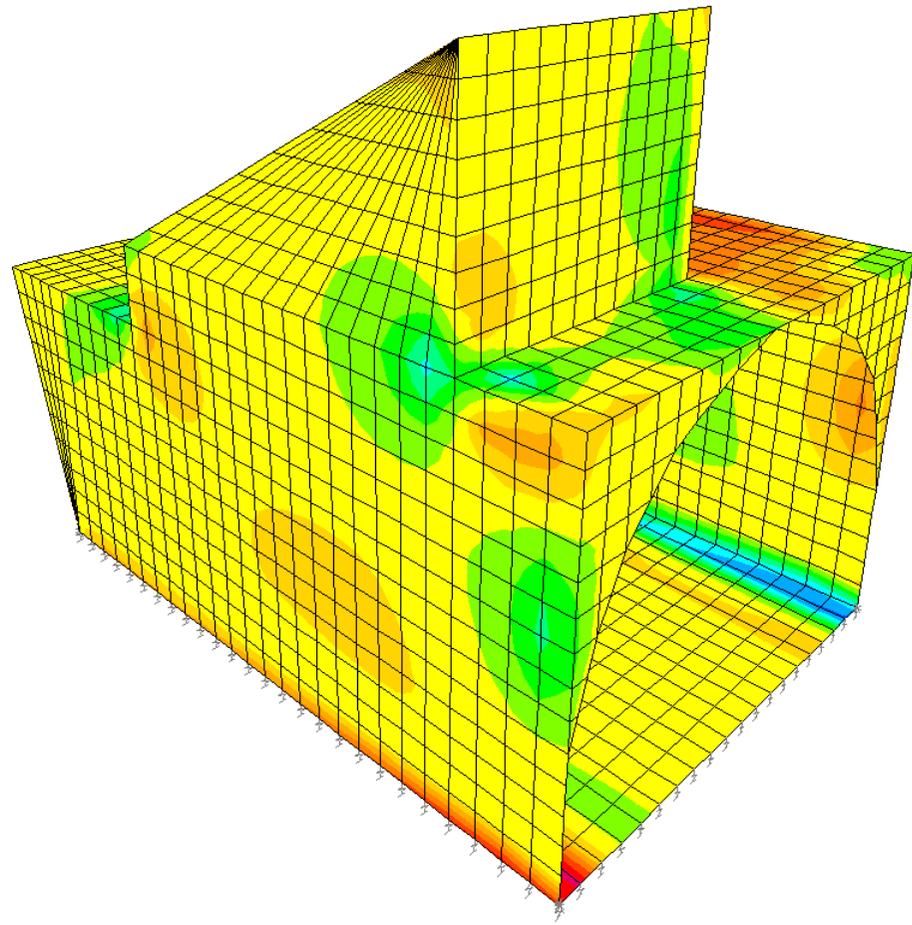


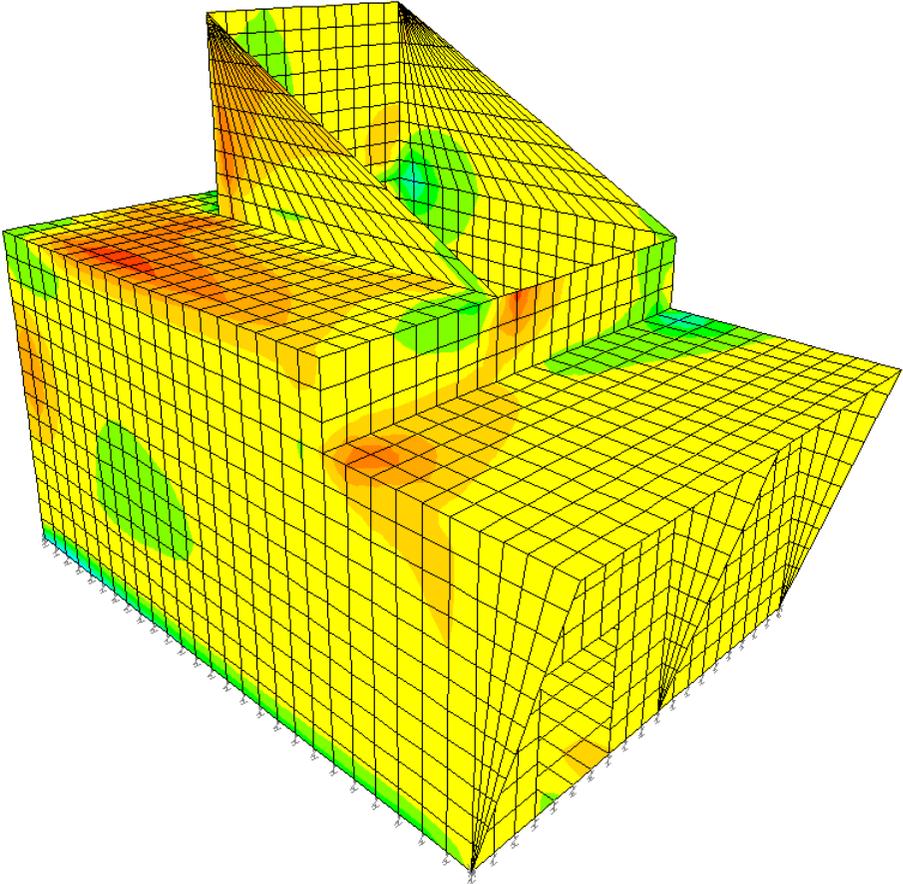


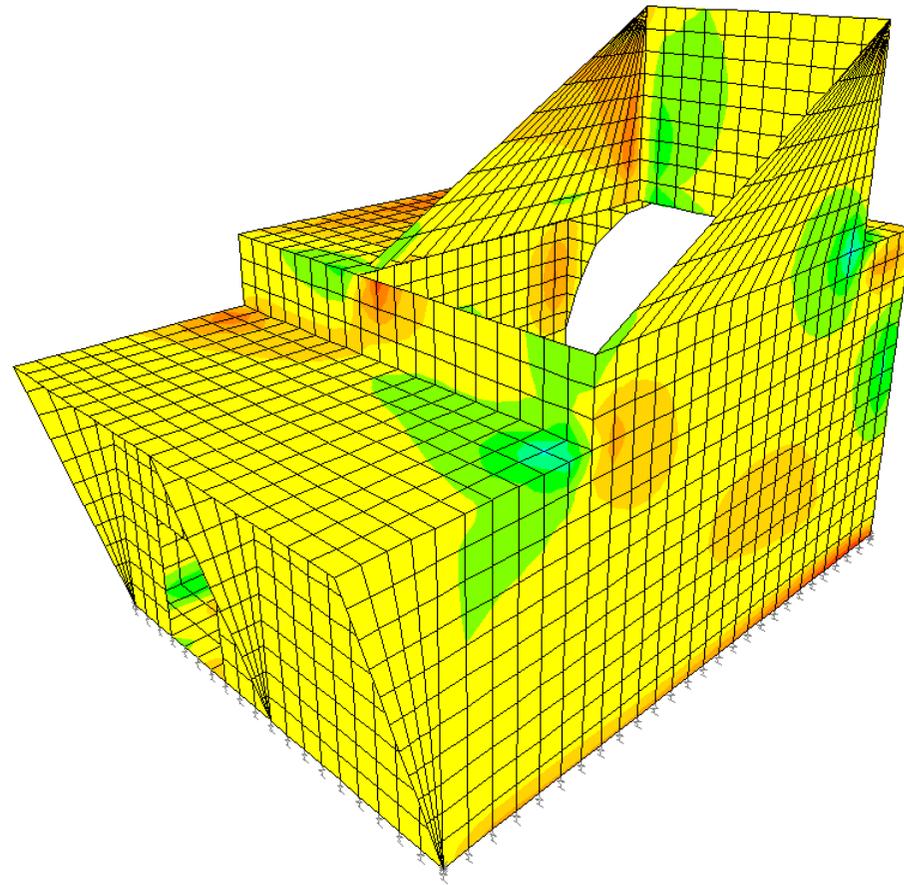


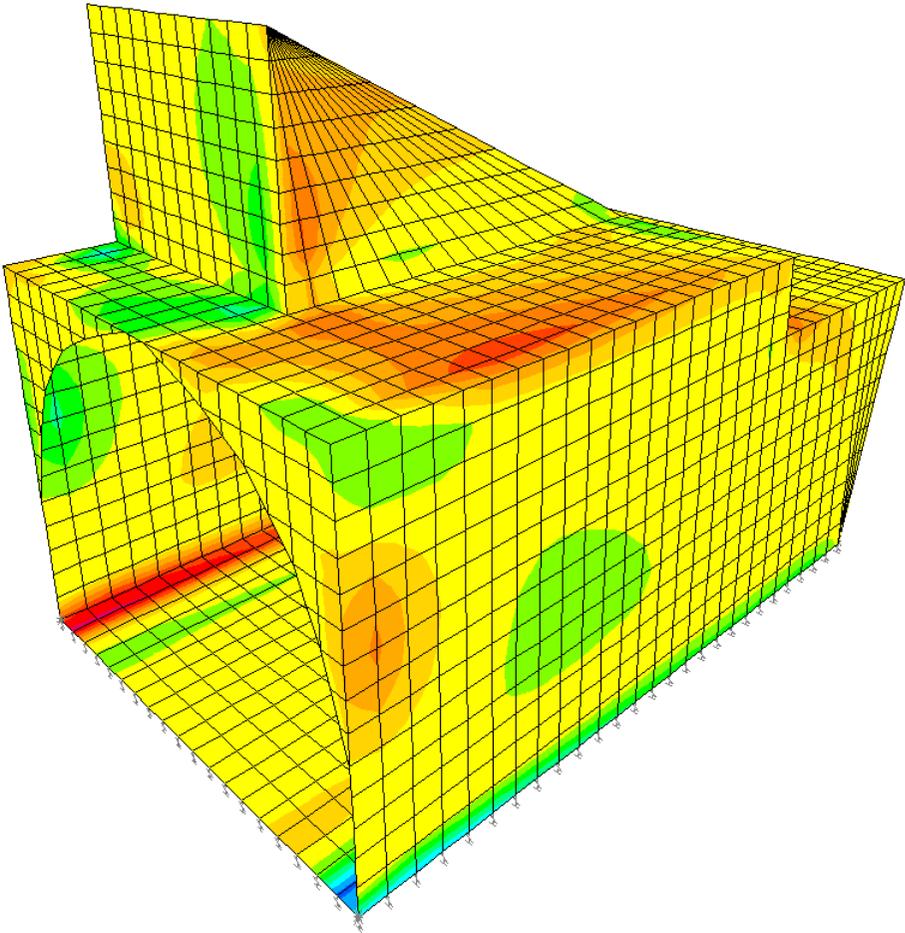
MOMENTO V13





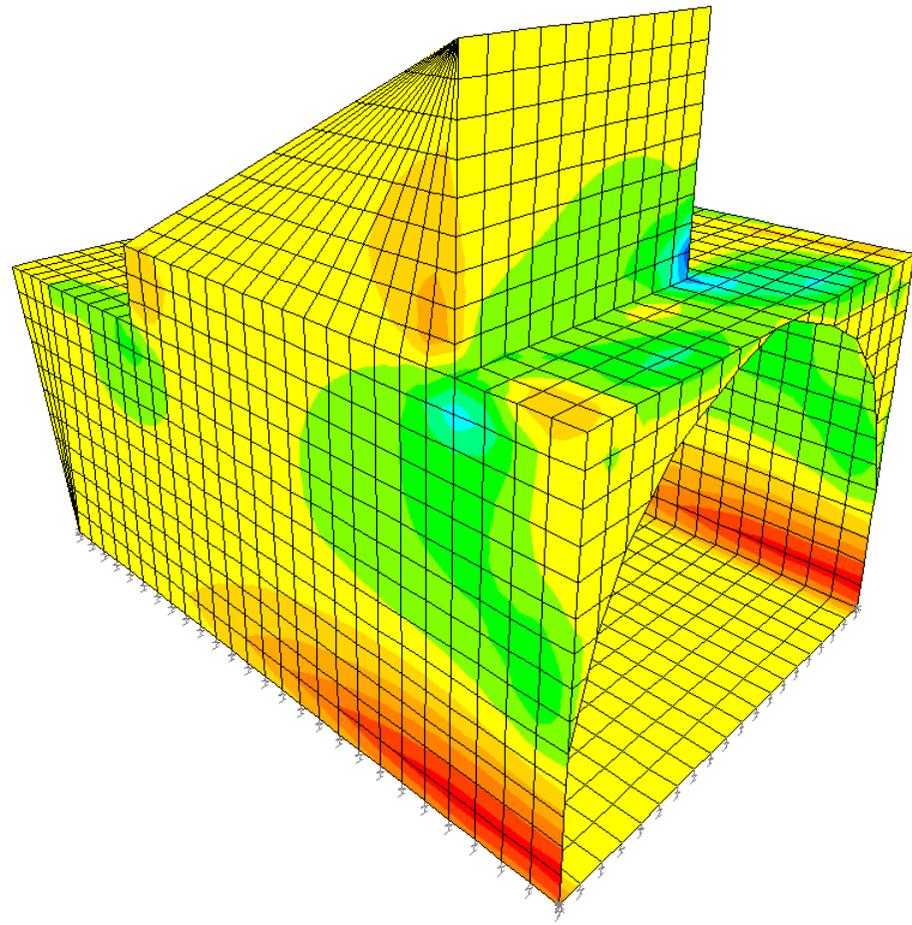


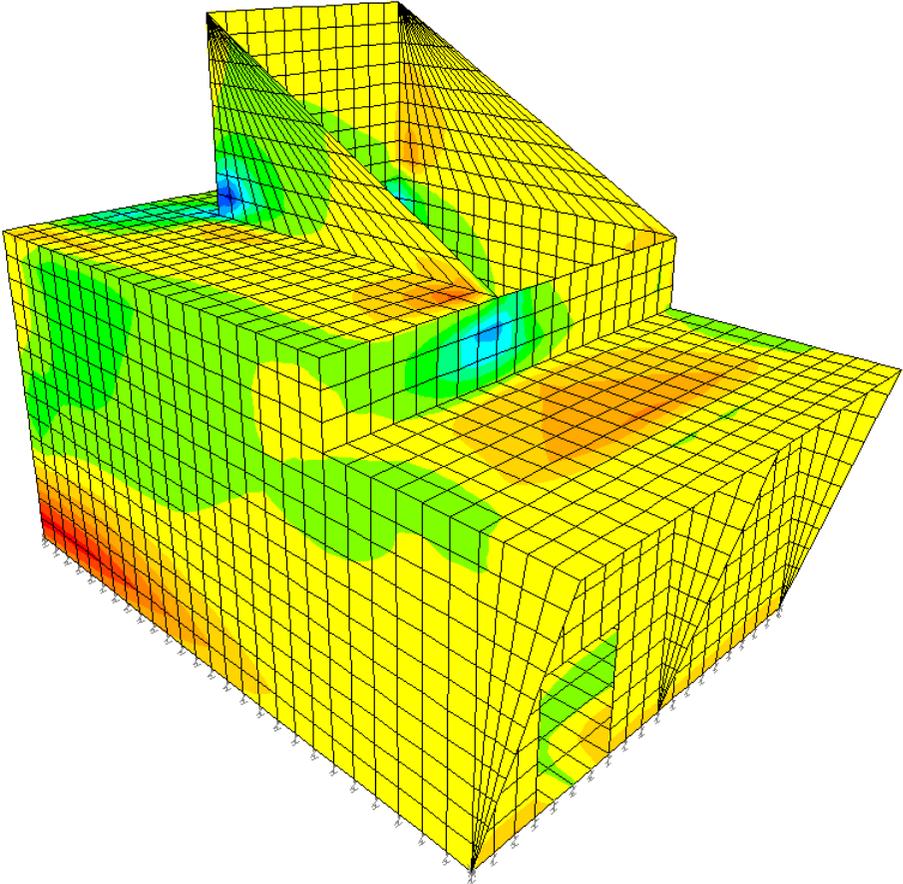


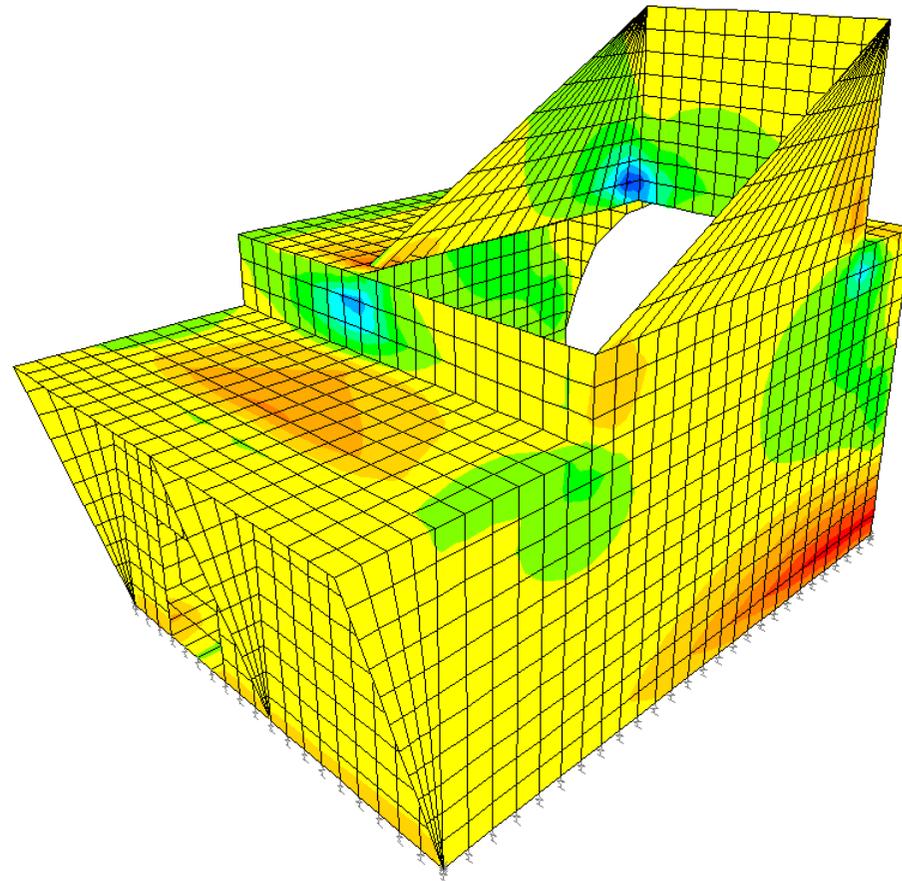


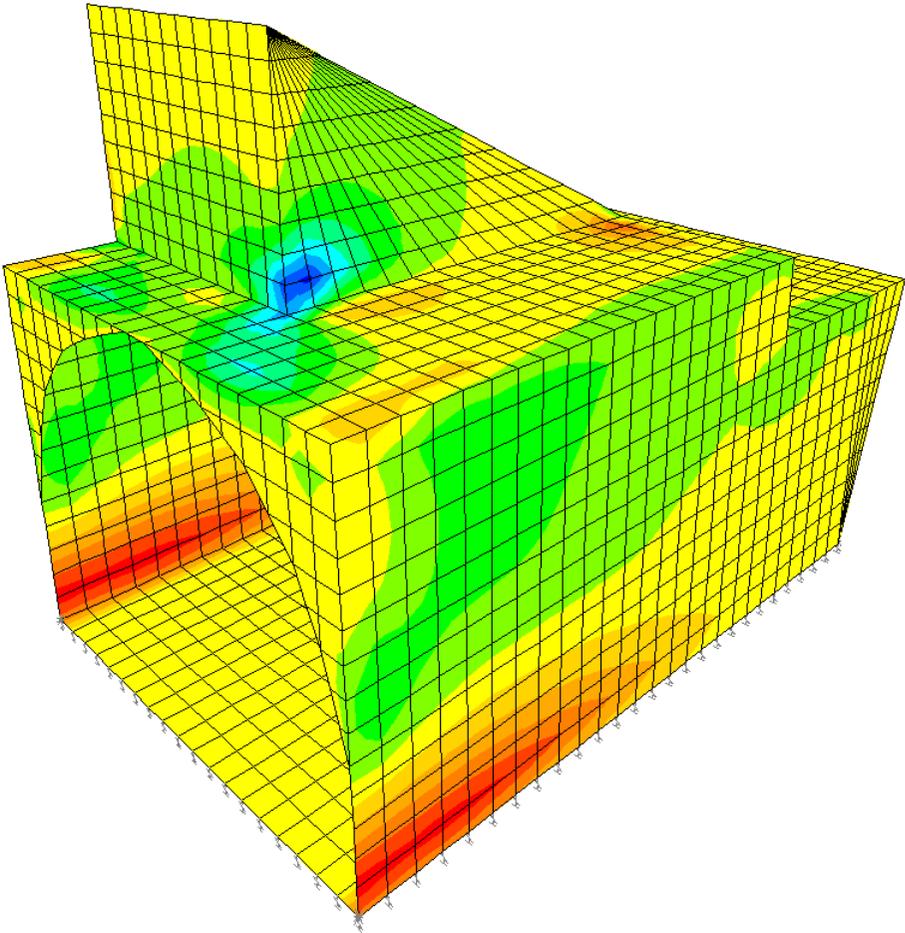
MOMENTO V23











### 2.1.3 RESUMEN

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL





NOMBRE ARCHIVO: EDIF\_PUENTE\_REV02

**ESFUERZOS:**

|       | CANTO | ESFUERZOS ELS      |             |                     |           | ESFUERZOS ELU      |             |                     |           |
|-------|-------|--------------------|-------------|---------------------|-----------|--------------------|-------------|---------------------|-----------|
|       |       | Momentos flectores |             | Esfuerzos cortantes |           | Momentos flectores |             | Esfuerzos cortantes |           |
|       |       | (cm)               | M11 (T m/m) | M22 (T m/m)         | V13 (T/m) | V23 (T/m)          | M11 (T m/m) | M22 (T m/m)         | V13 (T/m) |
| PLACA | 60    | 16,764             | 20,236      | 10,941              | 22,303    | 22,632             | 27,319      | 14,771              | 30,109    |
|       |       | -7,738             | -11,474     | -11,527             | -11,503   | -10,447            | -15,490     | -15,562             | -15,530   |
| PLACA | 40    | 0,920              | 0,566       | 1,770               | 3,389     | 1,242              | 0,764       | 2,389               | 4,575     |
|       |       | -0,625             | -2,614      | -1,862              | -0,829    | -0,843             | -3,529      | -2,513              | -1,119    |
| PLACA | 25    | 0,143              | 0,076       | 0,463               | 1,765     | 0,193              | 0,103       | 0,625               | 2,382     |
|       |       | -0,256             | -0,965      | -0,463              | 0,160     | -0,345             | -1,303      | -0,625              | -0,216    |

|       | SECCION | ESFUERZOS ELS      |             |                     |           | ESFUERZOS ELU      |             |                     |           |
|-------|---------|--------------------|-------------|---------------------|-----------|--------------------|-------------|---------------------|-----------|
|       |         | Momentos flectores |             | Esfuerzos cortantes |           | Momentos flectores |             | Esfuerzos cortantes |           |
|       |         | (cm)               | M22 (T m/m) | M33 (T m/m)         | V22 (T/m) | V33 (T/m)          | M22 (T m/m) | M33 (T m/m)         | V22 (T/m) |
| VIGAS | 60X60   | 1,787              | 9,528       | 10,767              | 4,606     | 2,413              | 12,863      | 14,536              | 6,218     |
|       |         | -0,848             | -2,935      | -5,897              | -0,125    | -1,144             | -3,962      | -7,961              | -0,187    |



## 2.2 DIMENSIONAMIENTO SECCIONES

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL





## 2.2.1 PLACAS

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL





2.2.1.1 E25

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL

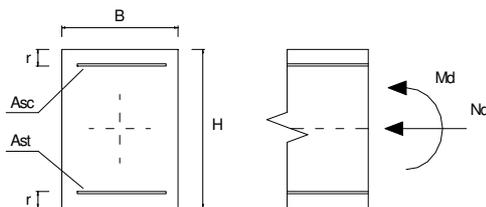




# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50 \text{ Mpa}$

## MATERIALES

|                               |                 |         |
|-------------------------------|-----------------|---------|
| Resistencia Hormigon          | $f_{ck} =$      | 30 Mpa  |
| Coef. de minoracion del Hgon. | $\gamma_c =$    | 1,5     |
| Resistencia Acero             | $f_{ys} =$      | 500 Mpa |
| Coef. de minoracion del Acero | $\gamma_s =$    | 1,15    |
| Coef. de cansancio            | $\alpha_{cc} =$ | 1       |



## SECCION

|               |    |         |
|---------------|----|---------|
| Ancho seccion | B= | 1 m     |
| Canto seccion | H= | 0,25 m  |
| Recubrimiento | r= | 0,035 m |

| $\phi$ | AREA (cm2) |
|--------|------------|
| 6      | 0,283      |
| 8      | 0,503      |
| 10     | 0,785      |
| 12     | 1,131      |
| 16     | 2,011      |
| 20     | 3,142      |
| 25     | 4,909      |
| 32     | 8,042      |

## ESFUERZOS DE DISEÑO

|                   |         |            |
|-------------------|---------|------------|
| Momento de diseño | $M_d =$ | 13,03 m KN |
| Axil de diseño    | $N_d =$ | 0,00 KN    |

|                 |                          |               |                            |
|-----------------|--------------------------|---------------|----------------------------|
| $f_{cd} =$      | 20000 KN/m <sup>2</sup>  | $d' =$        | 0,035 m                    |
| $U_{0c} =$      | 4300 KN/m <sup>2</sup>   | $d =$         | 0,215 m                    |
| $U_v =$         | 1400,0 KN/m <sup>2</sup> | $X_{lim} =$   | 0,134375 m                 |
| $U_a =$         | 5000,0 KN/m <sup>2</sup> | $M_{lim} =$   | 346,6875 m KN              |
| $F_{ct,m} =$    | 2,9 Mpa                  | $I_{bruta} =$ | 0,0013 m <sup>4</sup>      |
| $F_{ct,m,fl} =$ | 4,63 Mpa                 | $W_{bruta} =$ | 0,010416667 m <sup>3</sup> |

## ESTADO LÍMITE DE FLEXIÓN SIMPLE: CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SECCIONES RECTANGULARES SEGÚN LA EHE-08 ( ANEJO N° 7 )

|                               |                              |            |                |
|-------------------------------|------------------------------|------------|----------------|
| Armadura de compresión (Asc): | No necesaria cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 0 KN           |
| Armadura de tracción (Ast):   | 1,403870846 cm <sup>2</sup>  | $U_{st} =$ | 61,03786287 KN |

## ESTADO LÍMITE DE FLEX. COMPUESTA ( $U_{s1} = U_{s2}$ ): CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SEC. RECTANGULARES SEGÚN LA EHE ( ANEJO N° 7 )

|                               |                             |            |          |
|-------------------------------|-----------------------------|------------|----------|
| Armadura de compresión (Asc): | 1,664944444 cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 72,39 KN |
| Armadura de tracción (Ast):   | 1,664944444 cm <sup>2</sup> | $U_{st} =$ | 72,39 KN |

|                  |                      |                              |             |                       |
|------------------|----------------------|------------------------------|-------------|-----------------------|
| Cuantías mínimas | Flexión compuesta    | $U_{st} >$                   | 299,33 KN   | 6,88 cm <sup>2</sup>  |
|                  |                      | $U_{sc} >$                   | 0,00 KN     | 0,00 cm <sup>2</sup>  |
|                  | Compresión compuesta | $U_{st} \text{ y } U_{sc} >$ | 0,00 KN     | 0,00 cm <sup>2</sup>  |
|                  |                      | $U_{st} \text{ y } U_{sc} <$ | 2.500,00 KN | 57,50 cm <sup>2</sup> |

Tabla 42.3.5. Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón<sup>(6)</sup>

| Tipo de elemento estructural | Tipo de acero  |                                       |     |
|------------------------------|--|---------------------------------------|-----|
|                              | Aceros con $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$                          | Aceros con $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$ |     |
| Pilares                      | 4,0  | 4,0                                   |     |
| Losas <sup>(1)</sup>         | 2,0  | 1,8                                   |     |
| Forjados unidireccionales    | Nervios <sup>(2)</sup>   | 4,0                                   | 3,0 |
|                              | Armadura de reparto perpendicular a los nervios <sup>(3)</sup> | 1,4                                   | 1,1 |
|                              | Armadura de reparto paralela a los nervios <sup>(3)</sup>      | 0,7                                   | 0,6 |
| Vigas <sup>(4)</sup>         | 3,3  | 2,8                                   |     |
| Muros <sup>(5)</sup>         | Armadura horizontal  | 4,0                                   | 3,2 |
|                              | Armadura vertical  | 1,2                                   | 0,9 |

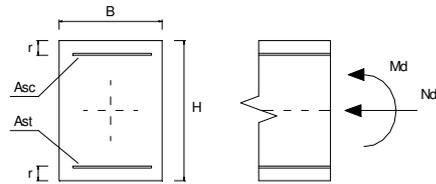
- (1) Cuantía mínima de cada una de las armaduras, longitudinal y transversal repartida en las dos caras. Para losas de cimentación y zapatas armadas, se adoptará la mitad de estos valores en cada dirección dispuestos en la cara inferior.
- (2) Cuantía mínima referida a una sección rectangular de ancho  $b_w$  y canto  $d$  del forjado de acuerdo con la Figura 42.3.5. Esta cuantía se aplica estrictamente en los nervios y no en las zonas macizadas. Todas las viguetas deben tener en la cabeza inferior, al menos, dos armaduras activas o pasivas longitudinales simétricas respecto al plano medio vertical.
- (3) Cuantía mínima referida al espesor de la capa de compresión horiongada in situ.
- (4) Cuantía mínima correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.
- (5) La cuantía mínima vertical es la correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.  
A partir de los 2,5 m de altura del fuste del muro y siempre que esta distancia no sea menor que la mitad de la altura del muro podrá reducirse la cuantía horizontal a un 2%. En el caso en que se dispongan juntas verticales de contracción a distancias no superiores a 7,5 m, con la armadura horizontal interrumpida, las cuantías geométricas horizontales mínimas pueden reducirse al 2%. La armadura mínima horizontal deberá repartirse en ambas caras. Para muros vistos por ambas caras debe disponerse el 50% en cada cara. En el caso de muros con espesores superiores a 50 cm, se considerará un área efectiva de espesor máximo 50 cm distribuidos en 25 cm a cada cara, ignorando la zona central que queda entre estas capas superficiales.
- (6) En el caso de elementos pretensados, la armadura activa podrá tenerse en cuenta en relación con el cumplimiento de las cuantías geométricas mínimas sólo en el caso de las armaduras pretesas que actúen antes de que se desarrolle cualquier tipo de deformación térmica o retráctil.



## COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES A FISURACION SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50$ Mpa

### MATERIALES

|                                    |                 |                |
|------------------------------------|-----------------|----------------|
| Resistencia Hormigón               | $f_{ck} =$      | 30,00 Mpa      |
| Coef. de minoración del Hgon.      | $\gamma_c =$    | 1,50           |
| Resistencia Acero                  | $f_{ys} =$      | 500,00 Mpa     |
| Coef. de minoración del Acero      | $\gamma_s =$    | 1,15           |
| Coef. de cansancio                 | $\alpha_{cc} =$ | 1,00           |
| Modulo de elasticidad del hormigón | $E_c =$         | 28.576,79 Mpa  |
| Modulo de elasticidad del acero    | $E_s =$         | 210.000,00 Mpa |



### SECCION

|               |    |        |
|---------------|----|--------|
| Ancho sección | B= | 1,00 m |
| Canto sección | H= | 0,25 m |
| Recubrimiento | r= | 0,04 m |

| $\phi$ | AREA (cm2) |
|--------|------------|
| 6      | 0,283      |
| 8      | 0,503      |
| 10     | 0,785      |
| 12     | 1,131      |
| 16     | 2,011      |
| 20     | 3,142      |
| 25     | 4,909      |
| 32     | 8,042      |

### ESFUERZOS DE SERVICIO

|         |    |           |
|---------|----|-----------|
| Momento | M= | 9,65 m KN |
| Axil    | N= | 0,00 KN   |

### ARMADURA

|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Armadura de compresión (Asc): | 7,85 cm <sup>2</sup> |
| Armadura de tracción (Ast):   | 7,85 cm <sup>2</sup> |
| Diametro                      | 10,00 mm             |
| Separación                    | 10,00 cm             |
| d' =                          | 0,04 m               |
| d =                           | 0,21 m               |

### CALCULOS CON LA SECCION INTEGRRA

|  |                             |                           |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| I Homogeneizada=                               | 1302083514 mm <sup>4</sup>  |                           |
| W Homogeneizada=                               | 10416668,11 mm <sup>3</sup> |                           |
| Tensión en la fibra comprimida (del hormigón)  | 0,93 N/mm <sup>2</sup>      | (+ compresión - tracción) |
| Tensión en la fibra traccionada (del hormigón) | -0,93 N/mm <sup>2</sup>     | (+ compresión - tracción) |
| Fct,m  | -2,90 N/mm <sup>2</sup>     |                           |
| Fct,m,fl                                       | -3,91 N/mm <sup>2</sup>     |                           |

NO ES NECESARIA LA COMPROBACIÓN A FISURACION

### CALCULOS SEGÚN EL METODO GENERAL DE LA EHE-08 (ARTICULO 49.2.4)

|                   |                               |  |   |             |
|-------------------|-------------------------------|--|---|-------------|
| K1                | 0,125                         | Influencia del diagrama de tracciones                      |   |             |
| K2                | 0,5                           | Carga no instantanea                                       |   |             |
| Beta              | 1,7                           | Relación entre la abertura media y el valor característico |   |             |
| $\sigma_s =$      | -58.861,85 KN/m <sup>2</sup>  | ( -58,86185101 Mpa )                                       | Tensión en la armadura traccionada (en servicio)                                      | 73172,58113 |
| Mf                | 40,73 m KN                    |  | Momento para el que la tensión en la fibra traccionada de hormigón es Fct,m,fl        |             |
| $\sigma_{sr} =$   | -253.067,73 KN/m <sup>2</sup> | ( -253,0677329 Mpa )                                       | Tensión en la armadura traccionada cuando la tensión en la fibra inferior de hormigón |             |
| Acef=             | 0,11 m <sup>2</sup>           |  |   |             |
| S=                | 0,1601 m                      | Separación media entre fisuras                             |   |             |
| $\epsilon_{sm} =$ | 0,00011                       |  |   |             |
| Wk=               | 0,031 mm                      |  |   |             |

Tabla 5.1.1.2

| Clase de exposición, según artículo 8º      | $w_{m\acute{a}x}$ [mm]  |   |
|---|---|---|
|   | Hormigón armado (para la combinación cuasipermanente de acciones) | Hormigón pretensado (para la combinación frecuente de acciones) |
| I   | 0,4   | 0,2   |
| IIa, IIb, H                                 | 0,3   | 0,2 <sup>(1)</sup>  |
| IIIa, IIIb, IV, F, Qa <sup>(2)</sup>        | 0,2   | Descompresión   |
| IIIc, Qb <sup>(2)</sup> , Qc <sup>(2)</sup> | 0,1   |   |

(1) Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección, bajo la combinación cuasipermanente de acciones.

(2) La limitación relativa a la clase Q sólo será de aplicación en el caso de que el ataque químico pueda afectar a la armadura. En otros casos, se aplicará la limitación correspondiente a la clase general correspondiente.

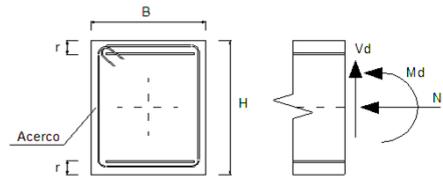


# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50$ Mpa

## MATERIALES

Resistencia Hormigon  
 Coef. de minoracion del Hgon.  
 Resistencia Acero  
 Coef. de minoracion del Acero  
 Coef. de cansancio

$f_{ck} = 30$  Mpa  
 $\gamma_c = 1,5$   
 $f_{ys} = 500$  Mpa  
 $\gamma_s = 1,15$   
 $\alpha_{cc} = 1$



## SECCION

Ancho seccion  $B = 1$  m  
 Canto seccion  $H = 0,25$  m  
 Recubrimiento  $r = 0,035$  m

## ESFUERZOS DE DISEÑO

Momento de diseño  $M_d = 0,00$  m KN  
 Axil de diseño  $N_d = 0,00$  KN

$f_{cd} = 20000$  KN/m<sup>2</sup>  
 $U_o = 4300$  KN/m<sup>2</sup>  
 $U_v = 1400,0$  KN/m<sup>2</sup>  
 $U_a = 5000,0$  KN/m<sup>2</sup>  
 $F_{ct,m} = 2,9$  Mpa  
 $F_{ct,m,fl} = 4,63$  Mpa

$d' = 0,035$  m  
 $d = 0,215$  m  
 $X_{lim} = 0,134375$  m  
 $M_{lim} = 346,6875$  m KN  
 $I_{bruta} = 0,0013$  m<sup>4</sup>  
 $W_{bruta} = 0,010416667$  m<sup>3</sup>

## ESTADO LIMITE DE AGOTAMIENTO FRENTE A CORTANTE

### ESFUERZOS DE DISEÑO

Cortante de diseño  $V_d = 23,82$  KN  
 Componente de Fuerza Pret.  $V_{pd} = 0$  KN  
 Componente Canto Variable  $V_{cd} = 0$  KN  
**Esfuerzo cortante efectivo  $V_{rd} = V_d + V_{pd} + V_{cd} = 23,82$  KN**

$V_{rd} < V_{u1}$   
 $V_{rd} < V_{u2}$

### Vu1: AGOTAMIENTO POR COMPRESION DEL ALMA

$\theta$ : Angulo entre las bielas de hgon y eje pieza  $\theta = 45,00^\circ$   $COT \theta = 1,00000069$   
 $\theta_e$ : Angulo de referencia  $\theta_e = 45,00$   $COT \theta_e = 1,00$   
 $\alpha$ : Angulo de las armaduras con el eje de la pieza  $\alpha = 90,00^\circ$   $COT \alpha = 0,00$   
 $N_d$ : Esfuerzo Axil de cálculo (traccion +)  $N_d = 0,00$  KN  $\sigma'_{cd} = 0,00$  KN/m<sup>2</sup>

$K = 1,000$   
 $F_{1cd} = 12000,00$  KN/m<sup>2</sup>

$V_{u1} = 1290,00$  KN  
**CORRECTO**

### Vu2: AGOTAMIENTO POR TRACCION EN EL ALMA

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES NO FISURADAS

$F_{ct,m} = 2,90$  Mpa  
 $F_{ct,k} = 2,03$  Mpa  
 $F_{ct,d} = 1,35$  Mpa

$V_{u2} = 225,28$  ton  
**CORRECTO**

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES FISURADAS

Ast: Armadura Longitudinal Traccionada Adherente      Acs: Armadura Longitudinal Comprimida Adherente

$A_{st} = 7,85$  cm<sup>2</sup>  
 $A_{sc} = 7,85$  cm<sup>2</sup>  
 $\rho = 0,00365$   
 $F_{cv} = 30$  Mpa  
 $\epsilon_{psilon} = 1,964485644$

$V_{u2} > 162,12$  KN  
 $V_{u2} = 130,88$  KN  
**CORRECTO**

#### PIEZAS CON ARMADURA A CORTANTE

$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$       Supuesto  $\beta = 1$  (H.A.):

$V_{cu} = 93,80$  KN

$V_{su} = V_{u2} - V_{cu} = V_{rd} - V_{cu}$

$V_{su} = -69,98$  KN

$A_{s \text{ min}} = 0,00$  cm<sup>2</sup>/ml

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

#### Limitaciones a los valores de s:

$V_{rd}/V_{u1} = 0,02$   
 $S_l = 0,16125$  m      Separación longitudinal entre cercos  
 $S_t = 0,215$  m      Separación transversal entre ramas

1,00



2.2.1.2 E40

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL

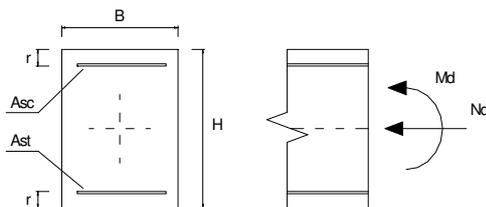




# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50$ Mpa

## MATERIALES

|                               |                 |      |     |
|-------------------------------|-----------------|------|-----|
| Resistencia Hormigon          | $f_{ck} =$      | 30   | Mpa |
| Coef. de minoracion del Hgon. | $\gamma_c =$    | 1,5  |     |
| Resistencia Acero             | $f_{ys} =$      | 500  | Mpa |
| Coef. de minoracion del Acero | $\gamma_s =$    | 1,15 |     |
| Coef. de cansancio            | $\alpha_{cc} =$ | 1    |     |



## SECCION

|               |    |       |   |
|---------------|----|-------|---|
| Ancho seccion | B= | 1     | m |
| Canto seccion | H= | 0,4   | m |
| Recubrimiento | r= | 0,035 | m |

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

## ESFUERZOS DE DISEÑO

|                   |     |       |      |
|-------------------|-----|-------|------|
| Momento de diseño | Md= | 35,29 | m KN |
| Axil de diseño    | Nd= | 0,00  | KN   |

|                 |        |                   |               |             |                |
|-----------------|--------|-------------------|---------------|-------------|----------------|
| $f_{cd} =$      | 20000  | KN/m <sup>2</sup> | $d' =$        | 0,035       | m              |
| $U_{0c} =$      | 7300   | KN/m <sup>2</sup> | $d =$         | 0,365       | m              |
| $U_v =$         | 1400,0 | KN/m <sup>2</sup> | $X_{lim} =$   | 0,228125    | m              |
| $U_a =$         | 8000,0 | KN/m <sup>2</sup> | $M_{lim} =$   | 999,1875    | m KN           |
| $F_{ct,m} =$    | 2,9    | Mpa               | $I_{bruta} =$ | 0,0053      | m <sup>4</sup> |
| $F_{ct,m,fl} =$ | 4,63   | Mpa               | $W_{bruta} =$ | 0,026666667 | m <sup>3</sup> |

## ESTADO LÍMITE DE FLEXIÓN SIMPLE: CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SECCIONES RECTANGULARES SEGÚN LA EHE-08 ( ANEJO N° 7 )

|                               |              |                 |            |             |    |
|-------------------------------|--------------|-----------------|------------|-------------|----|
| Armadura de compresión (Asc): | No necesaria | cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 0           | KN |
| Armadura de tracción (Ast):   | 2,23867802   | cm <sup>2</sup> | $U_{st} =$ | 97,33382698 | KN |

## ESTADO LÍMITE DE FLEX. COMPUESTA ( $U_{s1} = U_{s2}$ ): CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SEC. RECTANGULARES SEGÚN LA EHE ( ANEJO N° 7 )

|                               |             |                 |            |        |    |
|-------------------------------|-------------|-----------------|------------|--------|----|
| Armadura de compresión (Asc): | 2,459606061 | cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 106,94 | KN |
| Armadura de tracción (Ast):   | 2,459606061 | cm <sup>2</sup> | $U_{st} =$ | 106,94 | KN |

|                  |                      |                              |          |    |       |                 |
|------------------|----------------------|------------------------------|----------|----|-------|-----------------|
| Cuantías mínimas | Flexión compuesta    | $U_{st} >$                   | 451,33   | KN | 10,38 | cm <sup>2</sup> |
|                  |                      | $U_{sc} >$                   | 0,00     | KN | 0,00  | cm <sup>2</sup> |
|                  | Compresión compuesta | $U_{st} \text{ y } U_{sc} >$ | 0,00     | KN | 0,00  | cm <sup>2</sup> |
|                  |                      | $U_{st} \text{ y } U_{sc} <$ | 4.000,00 | KN | 92,00 | cm <sup>2</sup> |

Tabla 42.3.5. Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón<sup>(6)</sup>

| Tipo de elemento estructural | Tipo de acero  |                                     |     |
|------------------------------|--|-------------------------------------|-----|
|                              | Aceros con $f_y = 400\text{N/mm}^2$                            | Aceros con $f_y = 500\text{N/mm}^2$ |     |
| Pilares                      | 4,0  | 4,0                                 |     |
| Losas <sup>(1)</sup>         | 2,0  | 1,8                                 |     |
| Forjados unidireccionales    | Nervios <sup>(2)</sup>   | 4,0                                 | 3,0 |
|                              | Armadura de reparto perpendicular a los nervios <sup>(3)</sup> | 1,4                                 | 1,1 |
|                              | Armadura de reparto paralela a los nervios <sup>(3)</sup>      | 0,7                                 | 0,6 |
| Vigas <sup>(4)</sup>         | 3,3  | 2,8                                 |     |
| Muros <sup>(5)</sup>         | Armadura horizontal  | 4,0                                 | 3,2 |
|                              | Armadura vertical  | 1,2                                 | 0,9 |

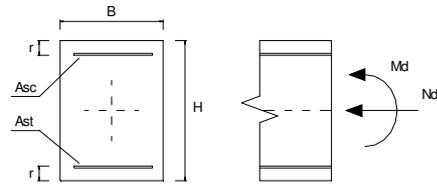
- (1) Cuantía mínima de cada una de las armaduras, longitudinal y transversal repartida en las dos caras. Para losas de cimentación y zapatas armadas, se adoptará la mitad de estos valores en cada dirección dispuestos en la cara inferior.
- (2) Cuantía mínima referida a una sección rectangular de ancho  $b_w$  y canto  $d$  del forjado de acuerdo con la Figura 42.3.5. Esta cuantía se aplica estrictamente en los nervios y no en las zonas macizadas. Todas las viguetas deben tener en la cabeza inferior, al menos, dos armaduras activas o pasivas longitudinales simétricas respecto al plano medio vertical.
- (3) Cuantía mínima referida al espesor de la capa de compresión horiongada in situ.
- (4) Cuantía mínima correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.
- (5) La cuantía mínima vertical es la correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada. A partir de los 2,5 m de altura del fuste del muro y siempre que esta distancia no sea menor que la mitad de la altura del muro podrá reducirse la cuantía horizontal a un 2%. En el caso en que se dispongan juntas verticales de contracción a distancias no superiores a 7,5 m, con la armadura horizontal interrumpida, las cuantías geométricas horizontales mínimas pueden reducirse al 2%. La armadura mínima horizontal deberá repartirse en ambas caras. Para muros vistos por ambas caras debe disponerse el 50% en cada cara. En el caso de muros con espesores superiores a 50 cm, se considerará un área efectiva de espesor máximo 50 cm distribuidos en 25 cm a cada cara, ignorando la zona central que queda entre estas capas superficiales.
- (6) En el caso de elementos pretensados, la armadura activa podrá tenerse en cuenta en relación con el cumplimiento de las cuantías geométricas mínimas sólo en el caso de las armaduras pretesas que actúen antes de que se desarrolle cualquier tipo de deformación térmica o retráctil.



## COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES A FISURACION SEGÚN EHE-08 PARA Fck < 50 Mpa

### MATERIALES

|                                    |                 |                |
|------------------------------------|-----------------|----------------|
| Resistencia Hormigón               | $f_{ck} =$      | 30,00 Mpa      |
| Coef. de minoración del Hgon.      | $\gamma_c =$    | 1,50           |
| Resistencia Acero                  | $f_{ys} =$      | 500,00 Mpa     |
| Coef. de minoración del Acero      | $\gamma_s =$    | 1,15           |
| Coef. de cansancio                 | $\alpha_{cc} =$ | 1,00           |
| Modulo de elasticidad del hormigón | $E_c =$         | 28.576,79 Mpa  |
| Modulo de elasticidad del acero    | $E_s =$         | 210.000,00 Mpa |



### SECCION

|               |    |        |
|---------------|----|--------|
| Ancho sección | B= | 1,00 m |
| Canto sección | H= | 0,40 m |
| Recubrimiento | r= | 0,04 m |

| $\phi$ | AREA (cm2) |
|--------|------------|
| 6      | 0,283      |
| 8      | 0,503      |
| 10     | 0,785      |
| 12     | 1,131      |
| 16     | 2,011      |
| 20     | 3,142      |
| 25     | 4,909      |
| 32     | 8,042      |

### ESFUERZOS DE SERVICIO

|         |    |            |
|---------|----|------------|
| Momento | M= | 26,14 m KN |
| Axil    | N= | 0,00 KN    |

### ARMADURA

|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Armadura de compresión (Asc): | 7,85 cm <sup>2</sup> |
| Armadura de tracción (Ast):   | 7,85 cm <sup>2</sup> |
| Diametro                      | 10,00 mm             |
| Separación                    | 10,00 cm             |
| d' =                          | 0,04 m               |
| d =                           | 0,36 m               |

### CALCULOS CON LA SECCION INTEGRRA

|  |                             |                           |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| I Homogeneizada=                               | 5333333795 mm <sup>4</sup>  |                           |
| W Homogeneizada=                               | 26666668,97 mm <sup>3</sup> |                           |
| Tensión en la fibra comprimida (del hormigón)  | 0,98 N/mm <sup>2</sup>      | (+ compresión - tracción) |
| Tensión en la fibra traccionada (del hormigón) | -0,98 N/mm <sup>2</sup>     | (+ compresión - tracción) |
| Fct,m  | -2,90 N/mm <sup>2</sup>     |                           |
| Fct,m,fl                                       | -3,48 N/mm <sup>2</sup>     |                           |

NO ES NECESARIA LA COMPROBACIÓN A FISURACION

### CALCULOS SEGÚN EL METODO GENERAL DE LA EHE-08 (ARTICULO 49.2.4)

|                   |                               |  |   |             |
|-------------------|-------------------------------|--|---|-------------|
| K1                | 0,125                         | Influencia del diagrama de tracciones                      |   |             |
| K2                | 0,5                           | Carga no instantanea                                       |   |             |
| Beta              | 1,7                           | Relación entre la abertura media y el valor característico |   |             |
| $\sigma_s =$      | -92.969,41 KN/m <sup>2</sup>  | ( -92,96941123 Mpa )                                       | Tensión en la armadura traccionada (en servicio)                                      | 115622,7884 |
| Mf                | 92,69 m KN                    |  | Momento para el que la tensión en la fibra traccionada de hormigón es Fct,m,fl        |             |
| $\sigma_{sr} =$   | -334.063,09 KN/m <sup>2</sup> | ( -334,0630861 Mpa )                                       | Tensión en la armadura traccionada cuando la tensión en la fibra inferior de hormigón |             |
| Acef=             | 0,11 m <sup>2</sup>           |  |   |             |
| S=                | 0,1601 m                      | Separación media entre fisuras                             |   |             |
| $\epsilon_{sm} =$ | 0,00018                       |  |   |             |
| Wk=               | 0,048 mm                      |  |   |             |

Tabla 5.1.1.2

| Clase de exposición, según artículo 8º      | $w_{m\acute{a}x}$ [mm]   |  |
|---|--|--|
|   | Hormigón armado<br>(para la combinación cuasipermanente de acciones) | Hormigón pretensado<br>(para la combinación frecuente de acciones) |
| I   | 0,4  | 0,2  |
| IIa, IIb, H                                 | 0,3  | 0,2 <sup>(1)</sup>   |
| IIIa, IIIb, IV, F, Qa <sup>(2)</sup>        | 0,2  | Descompresión  |
| IIIc, Qb <sup>(2)</sup> , Qc <sup>(2)</sup> | 0,1  |  |

(1) Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección, bajo la combinación cuasipermanente de acciones.

(2) La limitación relativa a la clase Q sólo será de aplicación en el caso de que el ataque químico pueda afectar a la armadura. En otros casos, se aplicará la limitación correspondiente a la clase general correspondiente.

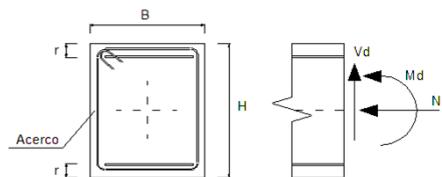


# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50$ Mpa

## MATERIALES

Resistencia Hormigon  
 Coef. de minoracion del Hgon.  
 Resistencia Acero  
 Coef. de minoracion del Acero  
 Coef. de cansancio

$f_{ck} = 30$  Mpa  
 $\gamma_c = 1,5$   
 $f_{ys} = 500$  Mpa  
 $\gamma_s = 1,15$   
 $\alpha_{cc} = 1$



## SECCION

Ancho seccion  
 Canto seccion  
 Recubrimiento

$B = 1$  m  
 $H = 0,4$  m  
 $r = 0,035$  m

## ESFUERZOS DE DISEÑO

Momento de diseño  
 Axil de diseño

$M_d = 0,00$  m KN  
 $N_d = 0,00$  KN

$f_{cd} = 20000$  KN/m<sup>2</sup>  
 $U_o = 7300$  KN/m<sup>2</sup>  
 $U_v = 1400,0$  KN/m<sup>2</sup>  
 $U_a = 8000,0$  KN/m<sup>2</sup>  
 $F_{ct,m} = 2,9$  Mpa  
 $F_{ct,m,fl} = 4,63$  Mpa

$d' = 0,035$  m  
 $d = 0,365$  m  
 $X_{lim} = 0,228125$  m  
 $M_{lim} = 999,1875$  m KN  
 $I_{bruta} = 0,0053$  m<sup>4</sup>  
 $W_{bruta} = 0,026666667$  m<sup>3</sup>

## ESTADO LIMITE DE AGOTAMIENTO FRENTE A CORTANTE

### ESFUERZOS DE DISEÑO

Cortante de diseño  $V_d = 45,75$  KN  
 Componente de Fuerza Pret.  $V_{pd} = 0$  KN  
 Componente Canto Variable  $V_{cd} = 0$  KN  
**Esfuerzo cortante efectivo**  $V_{rd} = V_d + V_{pd} + V_{cd} = 45,75$  KN

$V_{rd} < V_{u1}$   
 $V_{rd} < V_{u2}$

### Vu1: AGOTAMIENTO POR COMPRESION DEL ALMA

$\theta$ : Angulo entre las bielas de hgon y eje pieza  $\theta = 45,00^\circ$   $COT \theta = 1,000000432$   
 $\theta_e$ : Angulo de referencia  $\theta_e = 45,00$   $COT \theta_e = 1,00$   
 $\alpha$ : Angulo de las armaduras con el eje de la pieza  $\alpha = 90,00^\circ$   $COT \alpha = 0,00$   
 $N_d$ : Esfuerzo Axil de cálculo (traccion +)  $N_d = 0,00$  KN  $\sigma'_{cd} = 0,00$  KN/m<sup>2</sup>

$K = 1,000$   
 $F_{1cd} = 12000,00$  KN/m<sup>2</sup>

$V_{u1} = 2190,00$  KN  
CORRECTO

### Vu2: AGOTAMIENTO POR TRACCION EN EL ALMA

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES NO FISURADAS

$F_{ct,m} = 2,90$  Mpa  
 $F_{ct,k} = 2,03$  Mpa  
 $F_{ct,d} = 1,35$  Mpa

$V_{u2} = 360,45$  ton  
CORRECTO

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES FISURADAS

Ast: Armadura Longitudinal Traccionada Adherente

Acs: Armadura Longitudinal Comprimida Adherente

$A_{st} = 7,85$  cm<sup>2</sup>  
 $A_{sc} = 7,85$  cm<sup>2</sup>  
 $\rho = 0,00215$   
 $F_{cv} = 30$  Mpa  
 $\epsilon_{silon} = 1,74023321$

$V_{u2} > 229,47$  KN  
 $V_{u2} = 155,51$  KN  
CORRECTO

#### PIEZAS CON ARMADURA A CORTANTE

$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$  Supuesto  $\beta = 1$  (H.A.):

$V_{cu} = 118,25$  KN

$V_{su} = V_{u2} - V_{cu} = V_{rd} - V_{cu}$

$V_{su} = -72,50$  KN

$A_{s \text{ min}} = 0,00$  cm<sup>2</sup>/ml

1,00

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

#### Limitaciones a los valores de s:

$V_{rd}/V_{u1} = 0,02$   
 $S_l = 0,27375$  m  
 $S_t = 0,365$  m

Separación longitudinal entre cercos  
 Separación transversal entre ramas



2.2.1.3 E60

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL

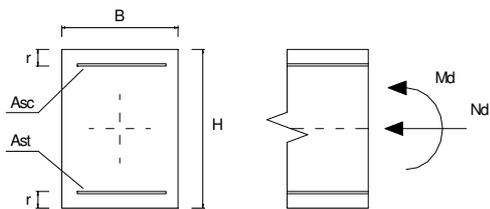




# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50$ Mpa

## MATERIALES

|                               |                 |      |     |
|-------------------------------|-----------------|------|-----|
| Resistencia Hormigon          | $f_{ck} =$      | 30   | Mpa |
| Coef. de minoracion del Hgon. | $\gamma_c =$    | 1,5  |     |
| Resistencia Acero             | $f_{ys} =$      | 500  | Mpa |
| Coef. de minoracion del Acero | $\gamma_s =$    | 1,15 |     |
| Coef. de cansancio            | $\alpha_{cc} =$ | 1    |     |



## SECCION

|               |    |       |   |
|---------------|----|-------|---|
| Ancho seccion | B= | 1     | m |
| Canto seccion | H= | 0,6   | m |
| Recubrimiento | r= | 0,035 | m |

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

## ESFUERZOS DE DISEÑO

|                   |     |        |      |
|-------------------|-----|--------|------|
| Momento de diseño | Md= | 273,19 | m KN |
| Axil de diseño    | Nd= | 0,00   | KN   |

|                 |         |                   |               |           |                |
|-----------------|---------|-------------------|---------------|-----------|----------------|
| $f_{cd} =$      | 20000   | KN/m <sup>2</sup> | $d' =$        | 0,035     | m              |
| $U_{0c} =$      | 11300   | KN/m <sup>2</sup> | $d =$         | 0,565     | m              |
| $U_{vc} =$      | 1400,0  | KN/m <sup>2</sup> | $X_{lim} =$   | 0,353125  | m              |
| $U_{ac} =$      | 12000,0 | KN/m <sup>2</sup> | $M_{lim} =$   | 2394,1875 | m KN           |
| $F_{ct,m} =$    | 2,9     | Mpa               | $I_{bruta} =$ | 0,0180    | m <sup>4</sup> |
| $F_{ct,m,fl} =$ | 4,63    | Mpa               | $W_{bruta} =$ | 0,06      | m <sup>3</sup> |

## ESTADO LÍMITE DE FLEXIÓN SIMPLE: CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SECCIONES RECTANGULARES SEGÚN LA EHE-08 ( ANEJO N° 7 )

|                               |              |                 |            |             |    |
|-------------------------------|--------------|-----------------|------------|-------------|----|
| Armadura de compresión (Asc): | No necesaria | cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 0           | KN |
| Armadura de tracción (Ast):   | 11,36970084  | cm <sup>2</sup> | $U_{st} =$ | 494,3348192 | KN |

## ESTADO LÍMITE DE FLEX. COMPUESTA ( $U_{s1} = U_{s2}$ ): CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SEC. RECTANGULARES SEGÚN LA EHE ( ANEJO N° 7 )

|                               |             |                 |            |        |    |
|-------------------------------|-------------|-----------------|------------|--------|----|
| Armadura de compresión (Asc): | 11,85541509 | cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 515,45 | KN |
| Armadura de tracción (Ast):   | 11,85541509 | cm <sup>2</sup> | $U_{st} =$ | 515,45 | KN |

|                  |                      |                              |          |    |        |                 |
|------------------|----------------------|------------------------------|----------|----|--------|-----------------|
| Cuantías mínimas | Flexión compuesta    | $U_{st} >$                   | 655,94   | KN | 15,09  | cm <sup>2</sup> |
|                  |                      | $U_{sc} >$                   | 0,00     | KN | 0,00   | cm <sup>2</sup> |
|                  | Compresión compuesta | $U_{st} \text{ y } U_{sc} >$ | 0,00     | KN | 0,00   | cm <sup>2</sup> |
|                  |                      | $U_{st} \text{ y } U_{sc} <$ | 6.000,00 | KN | 138,00 | cm <sup>2</sup> |

Tabla 42.3.5. Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón<sup>(6)</sup>

| Tipo de elemento estructural | Tipo de acero  |                                     |     |
|------------------------------|--|-------------------------------------|-----|
|                              | Aceros con $f_y = 400\text{N/mm}^2$                            | Aceros con $f_y = 500\text{N/mm}^2$ |     |
| Pilares                      | 4,0  | 4,0                                 |     |
| Losas <sup>(1)</sup>         | 2,0  | 1,8                                 |     |
| Forjados unidireccionales    | Nervios <sup>(2)</sup>   | 4,0                                 | 3,0 |
|                              | Armadura de reparto perpendicular a los nervios <sup>(3)</sup> | 1,4                                 | 1,1 |
|                              | Armadura de reparto paralela a los nervios <sup>(3)</sup>      | 0,7                                 | 0,6 |
| Vigas <sup>(4)</sup>         | 3,3  | 2,8                                 |     |
| Muros <sup>(5)</sup>         | Armadura horizontal  | 4,0                                 | 3,2 |
|                              | Armadura vertical  | 1,2                                 | 0,9 |

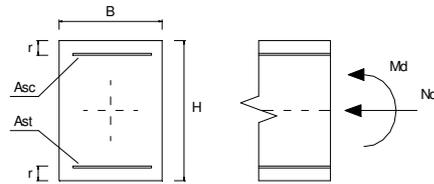
- (1) Cuantía mínima de cada una de las armaduras, longitudinal y transversal repartida en las dos caras. Para losas de cimentación y zapatas armadas, se adoptará la mitad de estos valores en cada dirección dispuestos en la cara inferior.
- (2) Cuantía mínima referida a una sección rectangular de ancho  $b_w$  y canto  $d$  del forjado de acuerdo con la Figura 42.3.5. Esta cuantía se aplica estrictamente en los nervios y no en las zonas macizadas. Todas las viguetas deben tener en la cabeza inferior, al menos, dos armaduras activas o pasivas longitudinales simétricas respecto al plano medio vertical.
- (3) Cuantía mínima referida al espesor de la capa de compresión horiongada in situ.
- (4) Cuantías mínimas correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.
- (5) La cuantía mínima vertical es la correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada. A partir de los 2,5 m de altura del fuste del muro y siempre que esta distancia no sea menor que la mitad de la altura del muro podrá reducirse la cuantía horizontal a un 2%. En el caso en que se dispongan juntas verticales de contracción a distancias no superiores a 7,5 m, con la armadura horizontal interrumpida, las cuantías geométricas horizontales mínimas pueden reducirse al 2%. La armadura mínima horizontal deberá repartirse en ambas caras. Para muros vistos por ambas caras debe disponerse el 50% en cada cara. En el caso de muros con espesores superiores a 50 cm, se considerará un área efectiva de espesor máximo 50 cm distribuidos en 25 cm a cada cara, ignorando la zona central que queda entre estas capas superficiales.
- (6) En el caso de elementos pretensados, la armadura activa podrá tenerse en cuenta en relación con el cumplimiento de las cuantías geométricas mínimas sólo en el caso de las armaduras pretesas que actúen antes de que se desarrolle cualquier tipo de deformación térmica o retracción.



## COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES A FISURACION SEGÚN EHE-08 PARA Fck < 50 Mpa

### MATERIALES

|                                    |                 |                |
|------------------------------------|-----------------|----------------|
| Resistencia Hormigón               | $f_{ck} =$      | 30,00 Mpa      |
| Coef. de minoración del Hgon.      | $\gamma_c =$    | 1,50           |
| Resistencia Acero                  | $f_{ys} =$      | 500,00 Mpa     |
| Coef. de minoración del Acero      | $\gamma_s =$    | 1,15           |
| Coef. de cansancio                 | $\alpha_{cc} =$ | 1,00           |
| Modulo de elasticidad del hormigón | $E_c =$         | 28.576,79 Mpa  |
| Modulo de elasticidad del acero    | $E_s =$         | 210.000,00 Mpa |



### SECCION

|               |    |        |
|---------------|----|--------|
| Ancho sección | B= | 1,00 m |
| Canto sección | H= | 0,60 m |
| Recubrimiento | r= | 0,04 m |

| $\phi$ | AREA (cm2) |
|--------|------------|
| 6      | 0,283      |
| 8      | 0,503      |
| 10     | 0,785      |
| 12     | 1,131      |
| 16     | 2,011      |
| 20     | 3,142      |
| 25     | 4,909      |
| 32     | 8,042      |

### ESFUERZOS DE SERVICIO

|         |    |             |
|---------|----|-------------|
| Momento | M= | 202,36 m KN |
| Axil    | N= | 0,00 KN     |

### ARMADURA

|                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| Armadura de compresión (Asc): | 11,31 cm <sup>2</sup> |
| Armadura de tracción (Ast):   | 11,31 cm <sup>2</sup> |
| Diametro                      | 12,00 mm              |
| Separación                    | 10,00 cm              |
| d' =                          | 0,04 m                |
| d =                           | 0,56 m                |

### CALCULOS CON LA SECCION INTEGRRA

|  |                             |                           |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| I Homogeneizada=                               | 18000001496 mm <sup>4</sup> |                           |
| W Homogeneizada=                               | 60000004,99 mm <sup>3</sup> |                           |
| Tensión en la fibra comprimida (del hormigón)  | 3,37 N/mm <sup>2</sup>      | (+ compresión - tracción) |
| Tensión en la fibra traccionada (del hormigón) | -3,37 N/mm <sup>2</sup>     | (+ compresión - tracción) |
| Fct,m  | -2,90 N/mm <sup>2</sup>     |                           |
| Fct,m,fl                                       | -2,90 N/mm <sup>2</sup>     |                           |

ES NECESARIA LA COMPROBACIÓN A FISURACION

### CALCULOS SEGÚN EL METODO GENERAL DE LA EHE-08 (ARTICULO 49.2.4)

|                   |                               |  |   |             |
|-------------------|-------------------------------|--|---|-------------|
| K1                | 0,125                         | Influencia del diagrama de tracciones                      |   |             |
| K2                | 0,5                           | Carga no instantanea                                       |   |             |
| Beta              | 1,7                           | Relación entre la abertura media y el valor característico |   |             |
| $\sigma_s =$      | -325.430,73 KN/m <sup>2</sup> | ( -325,430728 Mpa )  | Tensión en la armadura traccionada (en servicio)                                      | 400092,3716 |
| Mf                | 173,79 m KN                   |  | Momento para el que la tensión en la fibra traccionada de hormigón es Fct,m,fl        |             |
| $\sigma_{sr} =$   | -278.813,62 KN/m <sup>2</sup> | ( -278,8136234 Mpa )                                       | Tensión en la armadura traccionada cuando la tensión en la fibra inferior de hormigón |             |
| Acef=             | 0,13 m <sup>2</sup>           |  |   |             |
| S=                | 0,1563 m                      | Separación media entre fisuras                             |   |             |
| $\epsilon_{sm} =$ | 0,00098                       |  |   |             |
| Wk=               | 0,261 mm                      |  |   |             |

Tabla 5.1.1.2

| Clase de exposición,<br>según artículo 8º   | $w_{m\acute{a}x}$ [mm]   |   |
|---|--|---|
|   | Hormigón armado<br>(para la combinación<br>cuasipermanente de<br>acciones) | Hormigón pretensado<br>(para la combinación frecuente de<br>acciones) |
| I   | 0,4  | 0,2   |
| IIa, IIb, H                                 | 0,3  | 0,2 <sup>(1)</sup>  |
| IIIa, IIIb, IV, F, Qa <sup>(2)</sup>        | 0,2  | Descompresión   |
| IIIc, Qb <sup>(2)</sup> , Qc <sup>(2)</sup> | 0,1  |   |

(1) Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección, bajo la combinación cuasipermanente de acciones.

(2) La limitación relativa a la clase Q sólo será de aplicación en el caso de que el ataque químico pueda afectar a la armadura. En otros casos, se aplicará la limitación correspondiente a la clase general correspondiente.

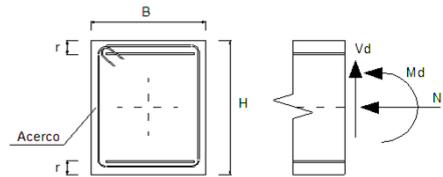


# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50 \text{ Mpa}$

## MATERIALES

Resistencia Hormigon  
 Coef. de minoracion del Hgon.  
 Resistencia Acero  
 Coef. de minoracion del Acero  
 Coef. de cansancio

$f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$   
 $\gamma_c = 1,5$   
 $f_{ys} = 500 \text{ Mpa}$   
 $\gamma_s = 1,15$   
 $\alpha_{cc} = 1$



## SECCION

Ancho seccion  $B = 1 \text{ m}$   
 Canto seccion  $H = 0,6 \text{ m}$   
 Recubrimiento  $r = 0,035 \text{ m}$

## ESFUERZOS DE DISEÑO

Momento de diseño  $M_d = 0,00 \text{ m KN}$   
 Axil de diseño  $N_d = 0,00 \text{ KN}$

$f_{cd} = 20000 \text{ KN/m}^2$   
 $U_o = 11300 \text{ KN/m}^2$   
 $U_v = 1400,0 \text{ KN/m}^2$   
 $U_a = 12000,0 \text{ KN/m}^2$   
 $F_{ct,m} = 2,9 \text{ Mpa}$   
 $F_{ct,m,fl} = 4,63 \text{ Mpa}$

$d' = 0,035 \text{ m}$   
 $d = 0,565 \text{ m}$   
 $X_{lim} = 0,353125 \text{ m}$   
 $M_{lim} = 2394,1875 \text{ m KN}$   
 $I_{bruta} = 0,0180 \text{ m}^4$   
 $W_{bruta} = 0,06 \text{ m}^3$

## ESTADO LIMITE DE AGOTAMIENTO FRENTE A CORTANTE

### ESFUERZOS DE DISEÑO

Cortante de diseño  $V_d = 301,09 \text{ KN}$   
 Componente de Fuerza Pret.  $V_{pd} = 0 \text{ KN}$   
 Componente Canto Variable  $V_{cd} = 0 \text{ KN}$   
**Esfuerzo cortante efectivo  $V_{rd} = V_d + V_{pd} + V_{cd} = 301,09 \text{ KN}$**

$V_{rd} < V_{u1}$   
 $V_{rd} < V_{u2}$

### Vu1: AGOTAMIENTO POR COMPRESION DEL ALMA

$\theta$ : Angulo entre las bielas de hgon y eje pieza  $\theta = 45,00^\circ$   $COT \theta = 1,000000288$   
 $\theta_e$ : Angulo de referencia  $\theta_e = 45,00$   $COT \theta_e = 1,00$   
 $\alpha$ : Angulo de las armaduras con el eje de la pieza  $\alpha = 90,00^\circ$   $COT \alpha = 0,00$   
 $N_d$ : Esfuerzo Axil de cálculo (traccion +)  $N_d = 0,00 \text{ KN}$   $\sigma'_{cd} = 0,00 \text{ KN/m}^2$

$K = 1,000$   
 $F_{1cd} = 12000,00 \text{ KN/m}^2$

$V_{u1} = 3390,00 \text{ KN}$   
**CORRECTO**

### Vu2: AGOTAMIENTO POR TRACCION EN EL ALMA

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES NO FISURADAS

$F_{ct,m} = 2,90 \text{ Mpa}$   
 $F_{ct,k} = 2,03 \text{ Mpa}$   
 $F_{ct,d} = 1,35 \text{ Mpa}$

$V_{u2} = 540,67 \text{ ton}$   
**CORRECTO**

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES FISURADAS

Ast: Armadura Longitudinal Traccionada Adherente      Acs: Armadura Longitudinal Comprimida Adherente

$A_{st} = 11,31 \text{ cm}^2$   
 $A_{sc} = 11,31 \text{ cm}^2$   
 $\rho = 0,00200$   
 $F_{cv} = 30 \text{ Mpa}$   
 $\epsilon_{psilon} = 1,594964117$

$V_{u2} > 311,68 \text{ KN}$   
 $V_{u2} = 208,74 \text{ KN}$   
**FALLO DE BIELAS HGON.**

#### PIEZAS CON ARMADURA A CORTANTE

$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$       Supuesto  $\beta = 1$  (H.A.):

$V_{cu} = 163,80 \text{ KN}$   
 $V_{su} = V_{u2} - V_{cu} = V_{rd} - V_{cu}$   
 $V_{su} = 137,29 \text{ KN}$   
 $A_s = 0,00 \text{ cm}^2/\text{ml}$

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

#### Limitaciones a los valores de s:

$V_{rd}/V_{u1} = 0,09$   
 $S_l = 0,42375 \text{ m}$       Separación longitudinal entre cercos  
 $S_t = 0,5 \text{ m}$       Separación transversal entre ramas



## 2.2.2 VIGAS

Apéndice nº9.1: Cálculos  
salida de emergencia  
Puentelatorre

PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA LÍNEA 5 DEL FERROCARRIL METROPOLITANO DE BILBAO  
TRAMO GALDAKAO-HOSPITAL

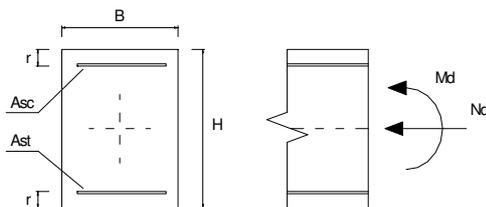




# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50 \text{ Mpa}$

## MATERIALES

|                               |                 |         |
|-------------------------------|-----------------|---------|
| Resistencia Hormigon          | $f_{ck} =$      | 30 Mpa  |
| Coef. de minoracion del Hgon. | $\gamma_c =$    | 1,5     |
| Resistencia Acero             | $f_{ys} =$      | 500 Mpa |
| Coef. de minoracion del Acero | $\gamma_s =$    | 1,15    |
| Coef. de cansancio            | $\alpha_{cc} =$ | 1       |



## SECCION

|               |    |        |
|---------------|----|--------|
| Ancho seccion | B= | 0,6 m  |
| Canto seccion | H= | 0,6 m  |
| Recubrimiento | r= | 0,05 m |

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

## ESFUERZOS DE DISEÑO

|                   |     |             |
|-------------------|-----|-------------|
| Momento de diseño | Md= | 128,63 m KN |
| Axil de diseño    | Nd= | 0,00 KN     |

|                 |                          |               |                       |
|-----------------|--------------------------|---------------|-----------------------|
| $f_{cd} =$      | 20000 KN/m <sup>2</sup>  | $d' =$        | 0,05 m                |
| $U_{0c} =$      | 6600 KN/m <sup>2</sup>   | $d =$         | 0,55 m                |
| $U_v =$         | 1200,0 KN/m <sup>2</sup> | $X_{lim} =$   | 0,34375 m             |
| $U_a =$         | 7200,0 KN/m <sup>2</sup> | $M_{lim} =$   | 1361,2500 m KN        |
| $F_{ct,m} =$    | 2,9 Mpa                  | $I_{bruta} =$ | 0,0108 m <sup>4</sup> |
| $F_{ct,m,fl} =$ | 4,63 Mpa                 | $W_{bruta} =$ | 0,036 m <sup>3</sup>  |

## ESTADO LÍMITE DE FLEXIÓN SIMPLE: CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SECCIONES RECTANGULARES SEGÚN LA EHE-08 ( ANEJO N° 7 )

|                               |                              |            |                |
|-------------------------------|------------------------------|------------|----------------|
| Armadura de compresión (Asc): | No necesaria cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 0 KN           |
| Armadura de tracción (Ast):   | 5,477911715 cm <sup>2</sup>  | $U_{st} =$ | 238,1700746 KN |

## ESTADO LÍMITE DE FLEX. COMPUESTA ( $U_{s1} = U_{s2}$ ): CÁLCULO SIMPLIFICADO DE SEC. RECTANGULARES SEGÚN LA EHE ( ANEJO N° 7 )

|                               |                         |            |           |
|-------------------------------|-------------------------|------------|-----------|
| Armadura de compresión (Asc): | 5,91698 cm <sup>2</sup> | $U_{sc} =$ | 257,26 KN |
| Armadura de tracción (Ast):   | 5,91698 cm <sup>2</sup> | $U_{st} =$ | 257,26 KN |

|                  |                      |                              |             |                       |
|------------------|----------------------|------------------------------|-------------|-----------------------|
| Cuantías mínimas | Flexión compuesta    | $U_{st} >$                   | 404,30 KN   | 9,30 cm <sup>2</sup>  |
|                  |                      | $U_{sc} >$                   | 0,00 KN     | 0,00 cm <sup>2</sup>  |
|                  | Compresión compuesta | $U_{st} \text{ y } U_{sc} >$ | 0,00 KN     | 0,00 cm <sup>2</sup>  |
|                  |                      | $U_{st} \text{ y } U_{sc} <$ | 3.600,00 KN | 82,80 cm <sup>2</sup> |

Tabla 42.3.5. Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón<sup>(6)</sup>

| Tipo de elemento estructural | Tipo de acero  |                                       |     |
|------------------------------|--|---------------------------------------|-----|
|                              | Aceros con $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$                          | Aceros con $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$ |     |
| Pilares                      | 4,0  | 4,0                                   |     |
| Losas <sup>(1)</sup>         | 2,0  | 1,8                                   |     |
| Forjados unidireccionales    | Nervios <sup>(2)</sup>   | 4,0                                   | 3,0 |
|                              | Armadura de reparto perpendicular a los nervios <sup>(3)</sup> | 1,4                                   | 1,1 |
|                              | Armadura de reparto paralela a los nervios <sup>(3)</sup>      | 0,7                                   | 0,6 |
| Vigas <sup>(4)</sup>         | 3,3  | 2,8                                   |     |
| Muros <sup>(5)</sup>         | Armadura horizontal  | 4,0                                   | 3,2 |
|                              | Armadura vertical  | 1,2                                   | 0,9 |

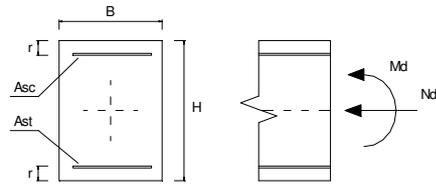
- (1) Cuantía mínima de cada una de las armaduras, longitudinal y transversal repartida en las dos caras. Para losas de cimentación y zapatas armadas, se adoptará la mitad de estos valores en cada dirección dispuestos en la cara inferior.
- (2) Cuantía mínima referida a una sección rectangular de ancho  $b_w$  y canto  $d$  del forjado de acuerdo con la Figura 42.3.5. Esta cuantía se aplica estrictamente en los nervios y no en las zonas macizadas. Todas las viguetas deben tener en la cabeza inferior, al menos, dos armaduras activas o pasivas longitudinales simétricas respecto al plano medio vertical.
- (3) Cuantía mínima referida al espesor de la capa de compresión horiongonada in situ.
- (4) Cuantía mínima correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.
- (5) La cuantía mínima vertical es la correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.  
A partir de los 2,5 m de altura del fuste del muro y siempre que esta distancia no sea menor que la mitad de la altura del muro podrá reducirse la cuantía horizontal a un 2%. En el caso en que se dispongan juntas verticales de contracción a distancias no superiores a 7,5 m, con la armadura horizontal interrumpida, las cuantías geométricas horizontales mínimas pueden reducirse al 2%. La armadura mínima horizontal deberá repartirse en ambas caras. Para muros vistos por ambas caras debe disponerse el 50% en cada cara. En el caso de muros con espesores superiores a 50 cm, se considerará un área efectiva de espesor máximo 50 cm distribuidos en 25 cm a cada cara, ignorando la zona central que queda entre estas capas superficiales.
- (6) En el caso de elementos pretensados, la armadura activa podrá tenerse en cuenta en relación con el cumplimiento de las cuantías geométricas mínimas sólo en el caso de las armaduras pretesas que actúen antes de que se desarrolle cualquier tipo de deformación térmica o retráctil.



## COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES A FISURACION SEGÚN EHE-08 PARA Fck < 50 Mpa

### MATERIALES

|                                    |                 |                |
|------------------------------------|-----------------|----------------|
| Resistencia Hormigón               | $f_{ck} =$      | 30,00 Mpa      |
| Coef. de minoración del Hgon.      | $\gamma_c =$    | 1,50           |
| Resistencia Acero                  | $f_{ys} =$      | 500,00 Mpa     |
| Coef. de minoración del Acero      | $\gamma_s =$    | 1,15           |
| Coef. de cansancio                 | $\alpha_{cc} =$ | 1,00           |
| Modulo de elasticidad del hormigón | $E_c =$         | 28.576,79 Mpa  |
| Modulo de elasticidad del acero    | $E_s =$         | 210.000,00 Mpa |



### SECCION

|               |    |        |
|---------------|----|--------|
| Ancho seccion | B= | 0,60 m |
| Canto seccion | H= | 0,60 m |
| Recubrimiento | r= | 0,05 m |

| $\phi$ | AREA (cm2) |
|--------|------------|
| 6      | 0,283      |
| 8      | 0,503      |
| 10     | 0,785      |
| 12     | 1,131      |
| 16     | 2,011      |
| 20     | 3,142      |
| 25     | 4,909      |
| 32     | 8,042      |

### ESFUERZOS DE SERVICIO

|         |    |            |
|---------|----|------------|
| Momento | M= | 95,28 m KN |
| Axil    | N= | 0,00 KN    |

### ARMADURA

|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Armadura de compresión (Asc): | 6,03 cm <sup>2</sup> |
| Armadura de tracción (Ast):   | 6,03 cm <sup>2</sup> |
| Diametro                      | 16,00 mm             |
| Separación                    | 20,00 cm             |
| d' =                          | 0,05 m               |
| d =                           | 0,55 m               |

### CALCULOS CON LA SECCION INTEGRRA

|  |                             |                           |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| I Homogeneizada=                               | 10800000798 mm <sup>4</sup> |                           |
| W Homogeneizada=                               | 36000002,66 mm <sup>3</sup> |                           |
| Tensión en la fibra comprimida (del hormigón)  | 2,65 N/mm <sup>2</sup>      | (+ compresión - tracción) |
| Tensión en la fibra traccionada (del hormigón) | -2,65 N/mm <sup>2</sup>     | (+ compresión - tracción) |
| Fct,m  | -2,90 N/mm <sup>2</sup>     |                           |
| Fct,m,fl                                       | -2,90 N/mm <sup>2</sup>     |                           |

NO ES NECESARIA LA COMPROBACIÓN A FISURACION

### CALCULOS SEGÚN EL METODO GENERAL DE LA EHE-08 (ARTICULO 49.2.4)

|                   |                               |  |   |             |
|-------------------|-------------------------------|--|---|-------------|
| K1                | 0,125                         | Influencia del diagrama de tracciones                      |   |             |
| K2                | 0,5                           | Carga no instantanea                                       |   |             |
| Beta              | 1,7                           | Relación entre la abertura media y el valor característico |   |             |
| $\sigma_s =$      | -292.804,44 KN/m <sup>2</sup> | ( -292,8044388 Mpa )                                       | Tensión en la armadura traccionada (en servicio)                                      | 361083,0673 |
| Mf                | 104,27 m KN                   |  | Momento para el que la tensión en la fibra traccionada de hormigón es Fct,m,fl        |             |
| $\sigma_{sr} =$   | -320.859,46 KN/m <sup>2</sup> | ( -320,8594575 Mpa )                                       | Tensión en la armadura traccionada cuando la tensión en la fibra inferior de hormigón |             |
| Acef=             | 0,10 m <sup>2</sup>           |  |   |             |
| S=                | 0,2613 m                      | Separación media entre fisuras                             |   |             |
| $\epsilon_{sm} =$ | 0,00056                       |  |   |             |
| Wk=               | 0,248 mm                      |  |   |             |

Tabla 5.1.1.2

| Clase de exposición,<br>según artículo 8º   | $w_{m\acute{a}x}$ [mm]   |   |
|---|--|---|
|   | Hormigón armado<br>(para la combinación<br>cuasipermanente de<br>acciones) | Hormigón pretensado<br>(para la combinación frecuente de<br>acciones) |
| I   | 0,4  | 0,2   |
| IIa, IIb, H                                 | 0,3  | 0,2 <sup>(1)</sup>  |
| IIIa, IIIb, IV, F, Qa <sup>(2)</sup>        | 0,2  | Descompresión   |
| IIIc, Qb <sup>(2)</sup> , Qc <sup>(2)</sup> | 0,1  |   |

(1) Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección, bajo la combinación cuasipermanente de acciones.

(2) La limitación relativa a la clase Q sólo será de aplicación en el caso de que el ataque químico pueda afectar a la armadura. En otros casos, se aplicará la limitación correspondiente a la clase general correspondiente.

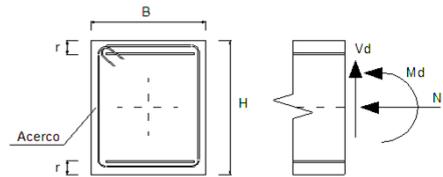


# COMPROBACION DE SECCIONES DE HORMIGON ARMADO RECTANGULARES SEGÚN EHE-08 PARA $F_{ck} < 50 \text{ Mpa}$

## MATERIALES

Resistencia Hormigon  
 Coef. de minoracion del Hgon.  
 Resistencia Acero  
 Coef. de minoracion del Acero  
 Coef. de cansancio

$f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$   
 $\gamma_c = 1,5$   
 $f_{ys} = 500 \text{ Mpa}$   
 $\gamma_s = 1,15$   
 $\alpha_{cc} = 1$



## SECCION

Ancho seccion  $B = 0,6 \text{ m}$   
 Canto seccion  $H = 0,6 \text{ m}$   
 Recubrimiento  $r = 0,05 \text{ m}$

## ESFUERZOS DE DISEÑO

Momento de diseño  $M_d = 0,00 \text{ m KN}$   
 Axil de diseño  $N_d = 0,00 \text{ KN}$

$f_{cd} = 20000 \text{ KN/m}^2$   
 $U_o = 6600 \text{ KN/m}^2$   
 $U_v = 1200,0 \text{ KN/m}^2$   
 $U_a = 7200,0 \text{ KN/m}^2$   
 $F_{ct,m} = 2,9 \text{ Mpa}$   
 $F_{ct,m,fl} = 4,63 \text{ Mpa}$

$d' = 0,05 \text{ m}$   
 $d = 0,55 \text{ m}$   
 $X_{lim} = 0,34375 \text{ m}$   
 $M_{lim} = 1361,2500 \text{ m KN}$   
 $I_{bruta} = 0,0108 \text{ m}^4$   
 $W_{bruta} = 0,036 \text{ m}^3$

## ESTADO LIMITE DE AGOTAMIENTO FRENTE A CORTANTE

### ESFUERZOS DE DISEÑO

Cortante de diseño  $V_d = 145,36 \text{ KN}$   
 Componente de Fuerza Pret.  $V_{pd} = 0 \text{ KN}$   
 Componente Canto Variable  $V_{cd} = 0 \text{ KN}$   
**Esfuerzo cortante efectivo**  $V_{rd} = V_d + V_{pd} + V_{cd} = 145,36 \text{ KN}$

$V_{rd} < V_{u1}$   
 $V_{rd} < V_{u2}$

### Vu1: AGOTAMIENTO POR COMPRESION DEL ALMA

$\theta$ : Angulo entre las bielas de hgon y eje pieza  $\theta = 45,00^\circ$   $\text{COT } \theta = 1,00000048$   
 $\theta_e$ : Angulo de referencia  $\theta_e = 45,00$   $\text{COT } \theta_e = 1,00$   
 $\alpha$ : Angulo de las armaduras con el eje de la pieza  $\alpha = 90,00^\circ$   $\text{COT } \alpha = 0,00$   
 $N_d$ : Esfuerzo Axil de cálculo (traccion +)  $N_d = 0,00 \text{ KN}$   $\sigma'_{cd} = 0,00 \text{ KN/m}^2$

$K = 1,000$   
 $F_{1cd} = 12000,00 \text{ KN/m}^2$

$V_{u1} = 1980,00 \text{ KN}$   
**CORRECTO**

### Vu2: AGOTAMIENTO POR TRACCION EN EL ALMA

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES NO FISURADAS

$F_{ct,m} = 2,90 \text{ Mpa}$   
 $F_{ct,k} = 2,03 \text{ Mpa}$   
 $F_{ct,d} = 1,35 \text{ Mpa}$

$V_{u2} = 324,40 \text{ ton}$   
**CORRECTO**

#### PIEZAS SIN ARMADURA A CORTANTE EN REGIONES FISURADAS

Ast: Armadura Longitudinal Traccionada Adherente

Acs: Armadura Longitudinal Comprimida Adherente

$A_{st} = 6,03 \text{ cm}^2$   
 $A_{sc} = 6,03 \text{ cm}^2$   
 $\rho = 0,00183$   
 $F_{cv} = 30 \text{ Mpa}$   
 $\epsilon_{psilon} = 1,603022689$

$V_{u2} > 183,42 \text{ KN}$   
 $V_{u2} = 122,10 \text{ KN}$   
**FALLO DE BIELAS HGON.**

#### PIEZAS CON ARMADURA A CORTANTE

$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$  Supuesto  $\beta = 1$  (H.A.):

$V_{cu} = 93,27 \text{ KN}$   
 $V_{su} = V_{u2} - V_{cu} = V_{rd} - V_{cu}$   
 $V_{su} = 52,09 \text{ KN}$   
 $A_s = 0,00 \text{ cm}^2/\text{ml}$

| $\phi$ | AREA (cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|
| 6      | 0,283                   |
| 8      | 0,503                   |
| 10     | 0,785                   |
| 12     | 1,131                   |
| 16     | 2,011                   |
| 20     | 3,142                   |
| 25     | 4,909                   |
| 32     | 8,042                   |

#### Limitaciones a los valores de s:

$V_{rd}/V_{u1} = 0,07$   
 $S_l = 0,4125 \text{ m}$  Separación longitudinal entre cercos  
 $S_t = 0,5 \text{ m}$  Separación transversal entre ramas

1,00

