



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Universidad Politécnica de Valencia

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

TRABAJO FINAL DE GRADO DEL CURSO ACADÉMICO 2013/14:

PROYECTO DE LA REPOSICIÓN DEL CAMINO EN EL PK 11+557

DEL TRAMO COCENTAINA – MURO DE ALCOY DE LA A-7

Trabajo Final de Grado del autor:

D. Francesc David Blasco Cuesta

Grado en Ingeniería Civil

Dirigido por el tutor:

D. Julián Alcalá González

Junio 2014



DOCUMENTO Nº1



MEMORIA



0. ÍNDICE

1. OBJETO.....	5
2. ANTECEDENTES.....	5
3. LOCALIZACIÓN Y CARTOGRAFÍA	5
4. GEOLOGÍA	6
5. GEOTECNIA	7
5.1. SONDEO ST-6.....	7
5.2. CARACTERIZACIÓN DE UNIDADES GEOTÉCNICAS.....	7
5.2.1. UNIDAD TAP.....	7
5.2.2. UNIDAD QAL-C.....	8
5.3. CÁLCULOS DE SISMICIDAD	8
5.3.1. CONSIDERACIÓN DE LA ACCIÓN SÍSMICA.....	8
5.3.2. CÁLCULO DE LA ACCIÓN SÍSMICA.....	8
6. ESTUDIO DE SOLUCIONES.....	9
6.1. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	9
7. DEFINICIÓN DE LAS OBRAS	9
8. ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS.....	10
8.1. MÓDULO DE BALASTO	10
8.2. DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DE LAS ALETAS	11
8.2.1. COMPROBACIONES EN SERVICIO	12
8.2.2. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES ÓPTIMAS DE LAS ZAPATAS	12
9. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA	14
9.1. NORMATIVA APLICADA.....	14
9.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	14
9.2.1. HORMIGÓN.....	14
9.2.2. ACERO	15
9.3. ACCIONES A CONSIDERAR.....	15

9.3.1.	ACCIONES PERMANENTES (G).....	15
9.3.2.	ACCIONES PERMANENTES DE VALOR NO CONSTANTE (G*).....	15
9.3.3.	ACCIONES VARIABLES (Q).....	15
9.3.4.	ACCIONES ACCIDENTALES (A).....	15
9.4.	COMBINACIÓN DE ACCIONES.....	16
9.4.1.	INTRODUCCIÓN.....	16
9.4.2.	ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS.....	16
9.4.3.	ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO.....	16
9.5.	MODELIZACIÓN DEL MARCO.....	17
9.6.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	17
10.	DRENAJE DE LA ESTRUCTURA.....	17
11.	FIRMES Y PAVIMENTOS.....	18
12.	VALORACIÓN ECONÓMICA.....	18
13.	CONCLUSIÓN.....	18

1. OBJETO

El objetivo del presente trabajo es la redacción del “Proyecto de la Reposición del Camino en el PK 11+557 de la A-7 Tramo: Cocentaina – Muro de Alcoy en la Provincia de Alicante” en todos aquellos aspectos relacionados con los cálculos estructurales de las obras de construcción del paso inferior situado en dicho punto para cumplir con la redacción, entrega y exposición del Trabajo Final de Grado necesario para la obtención del título de graduado en Ingeniería Civil.

A lo largo de esta memoria se desarrollarán los cálculos estructurales necesarios para la correcta realización del armado de los distintos elementos que conforman el paso inferior como son el marco enterrado, las aletas de contención de tierras y las losas de transición. Se concluye el trabajo con una valoración no contractual y en forma de primera aproximación para conocer el precio de construcción de la obra.

Además de estos puntos, se pretende ahondar también en la redacción e investigación de aspectos geológicos, geotécnicos o elección de firmes entre otros que muestren los conocimientos adquiridos por el autor durante los cuatro años cursados en el Grado de Ingeniería Civil.

Se pretende que este proyecto sea la primera aproximación del autor con la elaboración de una parte importante de un proyecto y que obtenga como resultado la redacción de unos documentos que permitan la construcción básica del proyecto.

Se deberá explicar el porqué de cada decisión según avancen los datos y resultados que se expondrán prestando un especial interés en el armado de los distintos elementos.

2. ANTECEDENTES

La redacción del presente Trabajo Final de Grado con título “Reposición del camino en el PK 11+557 de la A-7 Tramo: Cocentaina – Muro de Alcoy” se encuadra dentro del taller ofrecido por el profesor – tutor D. Julián Alcalá González nombrado como “Proyecto de la reposición de caminos en el tramo Cocentaina – Muro de Alcoy de la A-7” para la oferta de Trabajos Finales de Grado de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politècnica de Valencia.

A dicho Taller se apuntaron 8 alumnos de la escuela y a cada uno se le asignó la redacción de un paso inferior distinto dentro del ya mencionado tramo de la Autovía del Mediterráneo.

A todos ellos y por tanto para la redacción del presente proyecto se les otorgó la información básica obtenida del proyecto original de la construcción del tramo de autovía y se tutorizó el proceder de los

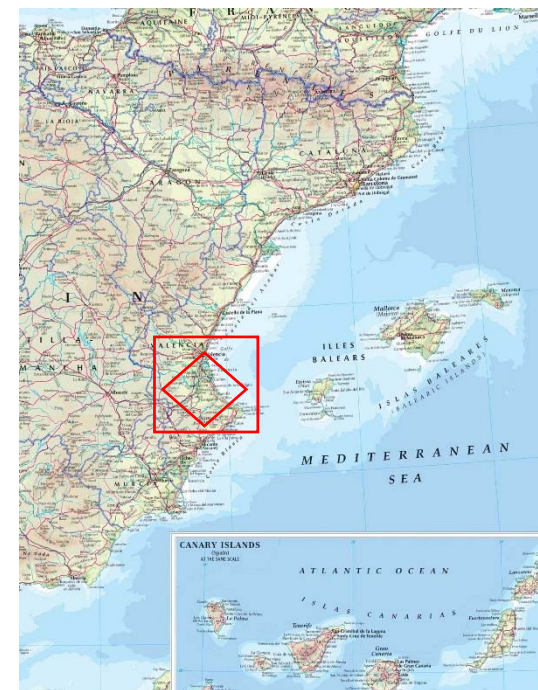
talleres mediante reuniones periódicas para evaluar el avance de los alumnos y transmitir los nuevos pasos a redactar.

3. LOCALIZACIÓN Y CARTOGRAFÍA

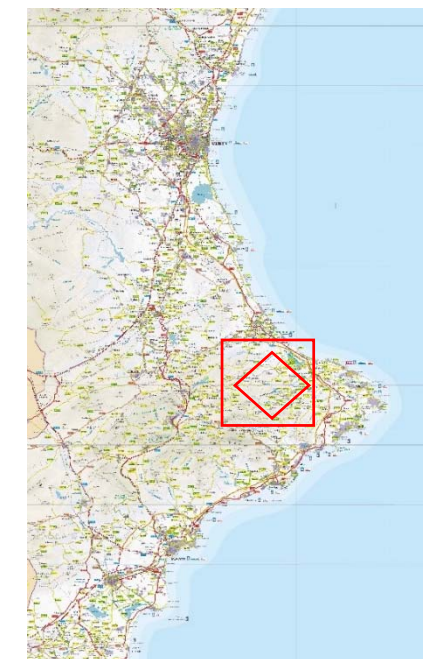
La obra a realizar se encuentra ubicada en la provincia de Alicante, más concretamente en la comarca de El Comtat. Está dentro del término municipal de Muro de Alcoy y se encuentra en las coordenadas 38°47'40.3"N 0°26'59.8"W.

El marco del que hablamos se encuentra situado bajo la Autovía del Mediterráneo en el PK 11+557 y es nombrada la estructura E-29 dentro del Proyecto de Construcción de la Autovía.

Para visualizar la localización se la obra se recomienda visionar el plano nº 1.



MEMORIA. FIGURA 1. Mapa en relieve de la Península Ibérica.



MEMORIA. FIGURA 2. Mapa de localidades de la Comunidad Valenciana.

La información topográfica necesaria ha sido proporcionada por el tutor del taller que ha proporcionado la cartografía utilizada en proyecto. A partir de ella se ha obtenido una relación entre la cota de referencia de la Autovía en su intersección con el marco con la cota del terreno en dicho punto y la cota de la traza del ramal que circulará a través del marco.

Se han definido las coordenadas de 4 puntos para cada estructura coincidiendo en el marco con las esquinas del mismo y en cada aleta con las esquinas extremas de las zapatas. Las coordenadas vienen definidas en el sistema UTM (x,y).

Además, se han definido dos puntos de bases de replanteo fijos, cercanos pero exteriores a las obras

Las coordenadas de estos vienen definidas a continuación:

CUADRO DE REPLANTEO			
PUNTOS	COORDENADAS		
	X	Y	Z
BR01	721632,039	718477,621	453,88
BR02	721536,037	718433,430	454,33

CUADRO DE REPLANTEO		
PUNTOS	COORDENADAS	
	X	Y
M1	721580,424	4297287,895
M2	721594,241	4297282,905
M3	721569,285	4297245,026
M4	721584,489	4297239,512
A11	721582,338	4297288,182
A12	721578,533	718478,987
A13	721575,902	718491,484
A14	721573,567	718490,128
A21	721594,242	718473,313
A22	721592,727	718477,444
A23	721605,888	718478,969
A24	721604,958	718481,504
A31	721568,490	718439,765
A32	721570,872	718436,933
A33	721562,133	718433,372
A34	721563,678	718431,535
A41	721582,385	718432,475
A42	721586,02	718434,579
A43	721588,168	718422,885
A44	721590,505	718424,237

4. GEOLOGÍA

El tramo objeto de este estudio se sitúa en los términos municipales de Cocentaina y Muro de Alcoy, al norte de la provincia de Alicante, en la Comunidad Valenciana. Ambas localidades se sitúan en las riberas del río Serpis, en la vertiente Este de Sierra de Mariola, en la comarca de El Comtat. La traza de la Autovía A-7, está muy condicionada por los numerosos barrancos que atraviesa, correspondientes a cursos fluviales relacionados con el Serpis.

La zona de estudio se localiza en las Cordilleras Béticas, que en sentido geográfico, es el conjunto de montañas que se extienden desde el Golfo de Cádiz hasta las costas meridionales del País Valenciano y Baleares. Al N está limitada por la cuenca del Guadalquivir y por el borde meridional del Macizo Ibérico y Sistema Ibérico, mientras que en el borde S se localiza el mar de Alborán. Aunque en sentido geológico, se extiende más allá de los límites geográficos, prolongándose hacia el S por debajo del mar de Alborán y hacia el NE parte de sus estructuras se continúan sin interrupción por el fondo del Mediterráneo y del promontorio balear hasta la isla de Mallorca.

La zona ocupada por el trazado se enmarca en las Zonas Externas, en concreto en el Prebético Externo de las Cordilleras Béticas, con un predominio de las formas de relieve de topografía alomada con encajamiento de las barranqueras del río Serpis.

La zona de estudio, como se indica anteriormente, se sitúa en el Prebético externo de las Cordilleras Béticas. Los materiales que afloran en la banda cartografiada son de edad Miocena y Cuaternaria.

Nuestra área de estudio se encuadra en una zona sinclinal, situada en el extremo oriental del gran anticlinal de la Sierra de Mariola. Este sinclinal aparece colmatado por una serie margosa de edad miocena que asignaremos a la formación Tap, aunque el conjunto tiene una edad dudosa e indiferenciada.

Estas margas aparecen intensamente tapizadas por materiales de edad cuaternaria, mayoritariamente terrazas del sistema Serpis-Agres y depósitos de Glacis, además de los depósitos más recientes (coluviales y aluviales).

5. GEOTECNIA

5.1. SONDEO ST-6

Si analizamos conjuntamente el replanteo de la obra y el sondeo ST-6 realizado en las proximidades, podemos resumir según lo ya explicado que el terreno natural queda a la cota 454.85 en la sección de referencia en que se cortan las líneas de referencia de la Autovía y de la glorieta. Esta cota queda 2.70m por encima del plano de cimentación al que se debe llegar para la realización de las obras.

Mediante el análisis del sondeo realizado vemos que debajo de ese plano de referencia se haya un estrato de 1.222 m de material aluvial arcilloso y limoso. Bajo este estrato se haya un estrato de espesor indefinido de material de arcillas margosas y biodetríticas.

Estos dos materiales se han identificado en el proyecto bajo los códigos de 'Tap' para las arcillas margosas y biodetríticas y 'Qal-C' para el material aluvial arcilloso – limoso.

El sondeo también nos ha informado de que no se ha encontrado nivel freático a profundidad por lo que se entiende que todos los cálculos a realizar serán sin la presencia de éste.

Estas informaciones quedan reflejadas en el perfil geotécnico incluido en planos y en el apéndice del sondeo ST-6 incluido en el Anejo N°4 Geotecnia.

El emplazamiento y profundidad investigada en el sondeo más próximo a nuestra estructura (sondeo ST6) es el siguiente:

DENOMINACIÓN	COORDENADAS			PROF. (m)	PK	OBSERVACIONES
	X	Y	Z			
ST-6	721597.193	4297260.21	454.82	8.60	11+540	Sondeo para terraplén de 9m

Como se puede observar en el Apéndice del correspondiente Anejo Geotécnico, el estrato Qal-C se encuentra desde la superficie del terreno natural hasta la cota 450.928m y a partir de allí empieza el estrato Tap.

A las muestras procedentes de los reconocimientos de campo se les realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

ENSAYO		
Identificación	Granulometría por tamizado	
	Límites de Atterberg	
	Densidad aparente	
	Humedad natural	
Químicos	Materia Orgánica	
	Sales Solubles	
	Sulfatos	
	Contenido en yeso	
Compactación	Análisis completo de agua	
	Proctor Modificado	
Resistencia	CBR	
	Compresión simple	
	Corte directo tipo CD	Inalterada
		Remoldeada
Corte directo tipo UU		
Hinchamiento	Hinchamiento libre (Inalterada)	
	Presión de hinchamiento	Inalterada
		Remoldeada
Otros	Colapso en edómetro	
	Ensayo edométrico	

5.2. CARACTERIZACIÓN DE UNIDADES GEOTÉCNICAS

5.2.1. UNIDAD Tap

Se trata de margas y arcillas. En ocasiones pueden contener una cantidad variable pero reducida de limo y arenas. Además suelen presentar nódulos carbonatados, probablemente oncolíticos, correspondientes a un medio de sedimentación lacustre. Se recomienda el visionado del apéndice 5 para conocer los parámetros obtenidos de los ensayos.

Según la clasificación PG3, este material se clasifica como Tolerable en su mayor parte, aunque han aparecido algunas muestras que dan material marginal, fundamentalmente por elevada plasticidad. En general se trata de un grupo geotécnico aprovechable para rellenos.

5.2.2. UNIDAD QaI-C

Se trata de niveles de depósitos aluviales, tanto relacionados con ríos y arroyos, como los depósitos de glacia. Se trata de arcillas, a veces con algo de arena y limo. Se recomienda el visionado del apéndice 5 para conocer los parámetros obtenidos de los ensayos.

Se trata de niveles de depósitos aluviales, tanto relacionados con ríos y arroyos, como los depósitos de glacia. Se trata de arcillas, a veces con algo de arena y limo.

5.3. CÁLCULOS DE SISMICIDAD

5.3.1. CONSIDERACIÓN DE LA ACCIÓN SÍSMICA

Atendiendo a criterios de afección y acciones sísmicas nos encontramos, según la IAP-11, un puente de importancia especial.

Según la norma de construcción sismorresistente (NCSP-07), no será necesaria la consideración de las acciones sísmicas cuando la aceleración sísmica horizontal básica del emplazamiento a_b sea inferior a 0,004g, siendo g la aceleración de la gravedad.

Tampoco será necesaria la consideración se las acciones sísmicas en las situaciones n que la aceleración sísmica horizontal de cálculo a_c sea inferior a 0,004g, siendo g la aceleración de la gravedad.

En el término municipal de Muro de Alcoy se tiene que $a_b = 0,07g$, con lo que no se cumpla la primera de las condiciones para no tener en cuenta el efecto del sismo.

$$a_b = 0,1165g = 1,1429 m/s^2$$

Tampoco se cumple la segunda condición para no tener en cuenta el sismo, por lo que será necesario considerar su acción en la estructura a calcular.

5.3.2. CÁLCULO DE LA ACCIÓN SÍSMICA

Si la montera de tierras sobre un marco tiene un espesor inferior a la mitad de su luz, se siguen los criterios especificados para el caso de estribos rígidamente unidos al tablero. En nuestro caso esta condición sí que se cumple, por lo que se seguirán los siguientes criterios:

- Fuerzas de inercia de la estructura estimadas utilizando el método fundamental
- Empuje del terreno calculado mediante la teoría pseudoestática, desarrollada por Mononobe y Okabe.

5.3.2.1. FUERZAS DE INERCIA

El valor de la fuerza de inercia a considerar en nuestra estructura a causa de la acción del sismo es:

$$F = M \cdot a_c \cdot S(T) = 230.315 \cdot 1.1429 \cdot 1.3796 = 363.15 \text{ kN}$$

Esta fuerza se considera aplicada en la unión del hastial con la losa superior y que puede actuar tanto por la izquierda como por la derecha, pero no simultáneamente.

5.3.2.2. EMPUJES DEL TERRENO

Según la teoría desarrollada por Mononobe-Okabe, se tiene que calcular un incremento dinámico del empuje de las tierras (ΔE_{AD}) que se produce como consecuencia del sismo.

$$\Delta E_{AD} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot (K_{AD} - K_{AE})$$

Finalmente, el valor del empuje de las tierras debido a la acción del sismo tiene un valor de:

$$\Delta E_{AD} = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 7.9^2 \cdot (0,4082 - 0,3333) = 33.608 \text{ kN}$$

Esta fuerza se considera aplicada a H/3 de la unión del hastial con la losa superior y puede actuar tanto en un hastial como en el otro, pero no simultáneamente en ambos. Además, a efectos de modelizar esta acción se considera que es la resultante de una distribución de tensiones triangular invertida que actúa sobre el hastial.

6. ESTUDIO DE SOLUCIONES

Frente a la necesidad de restablecer los caminos previos a la construcción de la Autovía aparecen diversos tipos de soluciones más o menos factibles.

Una opción es prolongar esos caminos paralelamente hasta alcanzar otro paso a distinto nivel con la Autovía. Esta solución se descarta por la alta necesidad de realizar este paso inferior ya que se trata de un punto clave en la accesibilidad a la localidad de Muro de Alcoy.

Otra opción planteable sería la realización de un paso superior sobre la Autovía. Cabe destacar que la traza de la glorieta se ubicará a más de 12m por debajo de la traza de la autovía por lo que la realización de un paso superior supondría realizar unas estructuras que trabajasen a más de 17m del plano actual al que se pretende referenciar la glorieta.

En el campo de la utilización de otros materiales se plantea realizar una solución metálica que no se debería armar pero queda descartada pues ninguna de estas estructuras enterradas se realizan mediante estos materiales.

Ya descartadas otras tipologías de obra y materiales y viendo claro que la mejor solución es un marco de hormigón, se debe esclarecer si éste debe realizarse completamente in situ, parcialmente in situ o completamente prefabricado.

Las soluciones prefabricadas para una obra tan singular como es esta con un radio específico y unas longitudes de 45m resulta poco atractiva ya que la singularidad de la obra evita el ahorro que se obtiene con los elementos prefabricados muy repetitivos. Además, las dificultades de transporte son mucho mayores que las de transporte de los materiales “por separado” que se utilizan para la construcción in situ.

6.1. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

La experiencia en este tipo de obras y para unas dimensiones exigidas tan grandes como las que aquí se dan evidencia la necesidad de realizar un marco in situ ya que este es el que presenta unas mejores características de adaptación a los condicionantes del proyecto como son la profundidad de enterramiento, la luz necesaria o la geometría en planta.

7. DEFINICIÓN DE LAS OBRAS

La estructura que se pretende calcular es un marco enterrado de planta circular cuya ejecución se realizará “in situ”. Se ha definido que para el tráfico que va soportar, las dimensiones libres necesarias dentro del marco son 12m de luz y 5.5m de altura a la cual se deberá descontar el espesor de la capa de firmes para obtener el gálibo final que dispondrá la obra. Para estas dimensiones se realiza un primer predimensionamiento con las relaciones habituales en este tipo de obra que asocia la luz y la altura interior del marco con el espesor de las losas y los hastiales respectivamente. Con estas normas se obtiene un espesor de hastiales de 0.9m y 1.2m tanto para la losa superior como inferior.

Esta estructura se complementará en sus extremos con la disposición de 4 aletas que contengan las tierras de terraplén de la Autovía. Las aletas se enrasarán superiormente con el plano superior de la losa superior del marco mientras que inferiormente coincidirá el plano superior de la losa inferior del marco con el plano superior de la zapata de la aleta. Entre aleta y marco no se dispondrán armaduras pasantes por lo que las estructuras se comportarán de forma independiente y así se procederá en los cálculos.

La obra de paso a realizar permitirá la realización de una glorieta que conecte las distintas salidas de la Autovía A-7 en ese punto kilométrico con las poblaciones cercanas, especialmente con la cercana localidad de Muro de Alcoy a través de la nacional N-340. La glorieta dispondrá de dos carriles con el gálibo y radio de giro suficiente para el paso de todo tipo de vehículos.

Tras la decisión de proyectar el tramo de Autovía entre Cocentaina y Muro de Alcoy, se debe dar solución al paso de antiguos caminos que cruzaban a nivel los terrenos que ahora ocupará la autovía. Por este motivo se decide rediseñar los caminos previos a esta obra para aglutinar el paso a través de la realización de una glorieta que requiere de dos pasos inferiores para travesar los terraplenes de la autovía. La obra que es objeto de análisis de este trabajo corresponde al paso oeste de esta glorieta cuyo sentido de circulación a través del marco se corresponderá con el sentido Norte-Sur.

La longitud que debe disponer la estructura enterrada del marco viene dada por las tierras del terraplén que se dispone sobre ella. Así, partiendo de la cota de referencia de la autovía en el PK 11+557 para su mediana (465.52m), la cota de referencia que deberá tener la glorieta que coincide con la línea interior del carril interior de la misma (453.95m) y la cota del terreno natural en el cruce entre ambas líneas de referencia (459.32m) se obtiene que la longitud del marco será de 46.208m el paramento exterior del hastial con radio de curvatura menor y 45'281m el paramento exterior del hastial con radio de curvatura mayor. Si las salidas del marco fuesen perpendiculares a la traza del marco, estas dimensiones no tendrían sentido pues el marco debería tener menos longitud en el paramento de menor radio de curvatura. No obstante, el esviaje de las salidas del marco que se pretenden dejar con planos paralelos a la dirección de circulación de la autovía superior provoca que esta extraña situación se dé. Así la línea de

referencia para las cotas de la traza del firme de la glorieta tiene una longitud de 45.848m. La longitud del marco permite que la altura del terraplén en los extremos del marco sea coincidente con el plano superior del marco dejando una holgura de 0.5m que sobresale el marco de las tierras.

El marco dispone de hastiales con espesores de 0.90m con una longitud en el interior del marco de 5.50m mientras que las losas tienen espesores de 1.20m para salvar luces de 12m. En el paramento vertical exterior de los hastiales se dispondrá longitudinalmente de un apoyo en ménsula para la losa de transición que deberá estar presente en toda aquella sección que discorra bajo un carril de circulación o arcén de la autovía superior. Esta losa de transición se dispone con una pendiente del 10% para la evacuación de aguas y se une al marco mediante pasadores en forma de redondos cada metro. Las losas de transición tienen una longitud de 4.50m contando desde el paramento vertical del marco.

El marco dispone de una capa de 10cm de hormigón en masa de regularización para homogeneizar la transmisión de tensiones al terreno. La cimentación del marco se efectuará directamente a través de la losa inferior que apoyará contra el terreno. Para realizar la modelización de tal reacción se ha calculado en el anejo de Estudios Geotécnicos para la Cimentación de Estructuras que el módulo de balasto es de 1.00 kp/cm².

Se dispone un recrecimiento de la losa inferior de 10cm en los extremos para facilitar la colocación de los encofrados de los hastiales. Las esquinas interiores superiores del marco se achaflanarán según las dimensiones dispuestas en planos.

Para la contención de tierras a la salida del marco se disponen de aletas cimentadas mediante zapata. Las dimensiones de las zapatas vienen definidas en el Anejo de Estudio Geotécnico para la Cimentación de Estructuras por lo que en el presente anejo nos delimitaremos a nombrar las dimensiones allí obtenidas. Las dimensiones longitudinales de las aletas vienen definidas por el ángulo del terraplén que en este caso se pretende realizar con pendiente 3H:2V y el ángulo entre aleta y cabeza de marco. En función de ambos ángulos se calcula una longitud de aleta que intersecte al terreno cuando la altura del muro de la aleta sea de 1 metro sobre la zapata. Hasta ese punto el terreno nunca rebasará la coronación del muro de la aleta. Las aletas se dividen en dos con el objetivo de economizar materiales cuando la altura de tierras a soportar es menor. La altura de tierras en el arranque de la aleta siempre será inferior a los 6.70m de altura del muro de la aleta en tal sección.

Se dispondrán elementos de drenaje en todas las estructuras materializados mediante una capa drenante y un tubo de P.V.C. de 200mm de diámetro que recogerá las aguas en el trasdós de aletas y marco.

Los movimientos de tierra que se deberán realizar para permitir las actividades en la obra se ven explicados dimensionalmente en el plano 14 "Movimiento de tierras". Debido a que la cota del terreno en el punto de intersección entre el eje de referencia de la autovía y el de la glorieta es 453.95m y la cota

contra la que debe apoyarse el marco contando con la capa de hormigón en masa de regularización es la 452.15, se deberá excavar una profundidad de 1.80m no siendo objeto de este trabajo la determinación de los métodos de excavación o estabilización de taludes. Se excavará dicha profundidad y se dejará 0.50m de margen a cada lado de la losa inferior. Así pues, se tendrá una excavación con un ancho de 15.00m y una longitud que permita la completa construcción del marco. Para las aletas se seguirá el mismo procedimiento. El talud que se dejará en el terreno natural será de 3H:2V y posteriormente se rellenará mediante un material de cantera granular.

8. ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS

Los trabajos realizados que han sido explicados en el correspondiente Anejo Nº 4 Geotecnia, nos han permitido conocer los estratos que se encuentran bajo la superficie en la localización de nuestras obras.

Si analizamos conjuntamente el replanteo de la obra y el sondeo ST-6 realizado en las proximidades, podemos resumir según lo ya explicado que el terreno natural queda a la cota 454.85 en la sección de referencia en que se cortan las líneas de referencia de la Autovía y de la glorieta. Esta cota queda 2.70m por encima del plano de cimentación al que se debe llegar para la realización de las obras.

Mediante el análisis del sondeo realizado vemos que debajo de ese plano de referencia se haya un estrato de 1.222 m de material aluvial arcilloso y limoso. Bajo este estrato se haya un estrato de espesor indefinido de material de arcillas margosas y biodetríticas.

Estos dos materiales se han identificado en el proyecto bajo los códigos de 'Tap' para las arcillas margosas y biodetríticas y 'Qal-C' para el material aluvial arcilloso – limoso.

El sondeo también nos ha informado de que no se ha encontrado nivel freático a profundidad por lo que se entiende que todos los cálculos a realizar serán sin la presencia de éste.

Estas informaciones quedan reflejadas en el perfil geotécnico incluido en planos y en el apéndice del sondeo ST-6 incluido en el Anejo Nº4 Geotecnia.

8.1. MÓDULO DE BALASTO

A partir de los ensayos de placa de carga de realizados en la zona se ha determinado el siguiente valor del módulo de balasto

$$k_{30} = 3,00 \text{ Kp/cm}^3 = 30000 \text{ KN/m}^3$$

Como la estructura a diseñar está cimentada mediante una losa de cimentación, el uso de un solo Coeficiente de Balasto constante para toda la cimentación puede conducir a errores por infravaloración de los resultados, ya que éste depende de:

- Tamaño del cimiento.
- Área tributaria del nodo.
- Profundidad efectiva.
- Módulo de Balasto elegido.
- Variación del Módulo con la profundidad.
- Características dependientes del tiempo:
 - o Asientos por consolidación.
 - o Asientos por consolidación parcial

Por ello, se va a dividir la losa de cimentación en 3 tramos iguales de 15 metros a lo largo de toda su longitud con un módulo de balasto diferente. Como solo se tiene resultados del ensayo de placa de carga en la traza de la autovía se va a calcular el coeficiente de balasto del tramo central y el valor obtenido será el utilizado para el cálculo de la estructura, puesto que este cálculo se realiza modelizando el tramo de 1 metro de longitud más solicitado de todo el marco (que se encuentra en el tramo central que hemos definido).

Las dimensiones de la losa a emplear en los cálculos son las siguientes: $l_c = 15 \text{ metros}$ y $b_c = 12 \text{ metros}$, siendo

$$\alpha = l_c / b_c = 15 / 12 = 1.25$$

A pesar de que la dimensión b_c es 12m, la experiencia dice que la utilización de este método da resultados muy conservadores para geometrías muy grandes de losas. Por ello, el factor b_c de la formulación lo vamos a minorar para no tener un resultado tan restrictivo. Sustituyendo estos parámetros en la expresión [1] se obtiene el valor del coeficiente de balasto:

$$k_c = k_{30} \cdot \frac{2\alpha + 1}{3\alpha} \cdot \frac{b_{30}}{b_c \cdot (0.85)} = k_c = 30000 \cdot \frac{2 \cdot 1.25 + 1}{3 \cdot 1.25} \cdot \frac{0,3}{12 \cdot 0.85} = 823.53 \text{ KN/m}^3$$

8.2. DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DE LAS ALETAS

Una vez se termine la construcción del marco, se llevará a cabo la de las aletas, que serán los elementos encargados de contener las tierras del terraplén para que no invadan los viales de la glorieta. Estos terraplenes tienen un talud de 3H:2V que sumado al ángulo que se establece entre la boca del marco, paralela a las líneas de nivel, con las aletas, establece un ángulo de ataque de las tierras al muro no normal a éste, como ocurriría en el caso de que el ángulo entre aleta y boca del marco fuese perpendicular.

La disposición de este ángulo es fundamentalmente estética, de tal forma que aporte al usuario la visibilidad necesaria para el tráfico, garantizando siempre todas las condiciones de seguridad. La ejecución de las aletas se realizará a tope con el marco dejando entre ambos una junta de hormigonado sin armaduras pasantes.

En el presente estudio se analizarán las dimensiones que debe tener la zapata de cada aleta para el correcto cumplimiento de los factores de seguridad frente a hundimiento, vuelco y deslizamiento.

Las aletas se han modelizado como muros ménsula unidos rígidamente a una zapata corrida y que tiene el empuje de las tierras en su trasdós. Para evitar su vuelco, deslizamiento o hundimiento, la zapata tiene las longitudes de la puntera y el talón para contrarrestar los efectos negativos.

La altura del muro respecto al plano superior de la zapata varía de 6.7m en la unión del muro al marco a 1.0m al final de la aleta. La altura de tierras va en descenso siempre por debajo de la coronación del muro hasta intersectar el extremo de la aleta de 1m de altura de muro.

Las longitudes de las aletas varían entre 12.882m de la aleta 2 a 8.98m de la aleta 3. Debido a esta longitud y con la intención del ahorro de material, a partir de un poco antes de la mitad de la longitud de la aleta se dividirá ésta en dos para disminuir las dimensiones de la misma cuando la altura de tierras a soportar es inferior. Así pues, todas las aletas se dividirán en dos y se establecerá una junta de hormigonado entre ambas. Las aletas han sido nombradas como Aleta 1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 4A y 4B. Las dimensiones de las mismas quedan definidas en el "Anejo nº 1: Definición de las obras" y en los planos correspondientes.

Tanto los cálculos geotécnicos como los de armado se van a realizar suponiendo que el muro de la aleta es de altura constante igual a la máxima altura. Así pues se tomará una rebanada de 1m para realizar todos los cálculos. El estudio del armado de la aleta se verá posteriormente en el "Anejo nº7: Cálculos estructurales".

El ángulo α entre la boca del marco (o la traza de la autovía) y las aletas tiene un valor de 40º para las aletas 1, 2 y 4 mientras que la aleta 3 mantiene un ángulo de 60º.

El predimensionamiento realizado, que posteriormente se comprobará su correcto funcionamiento, sigue las siguientes normas:

- La altura del muro quedará a la misma altura que el plano superior de la losa superior del marco.
- La zapata de la aleta quedará a la misma altura que el plano superior de la losa inferior del marco.
- El espesor del muro será igual al 10% de la altura de éste, redondeando siempre al decimal superior.
- El espesor de la zapata será igual al 10% de la altura del muro más 10cm.

8.2.1. COMPROBACIONES EN SERVICIO

Se deben realizar las siguientes comprobaciones en cada una de las secciones de las diferentes aletas:

- Seguridad al vuelco
- Seguridad al deslizamiento
- Seguridad ante el hundimiento

Para las diferentes combinaciones de acciones se deberá comprobar que los coeficientes de seguridad no superen a los mínimos que encontramos en la *Guía de cimentaciones en obras de carretera*:

Coef. de seguridad mínimos	Combinación Característica	Combinación Casi-Permanente	Combinación Accidental
Hundimiento	2,6	3	2,2
Deslizamiento	1,3	1,5	1,1
Vuelco	1,8	2	1,5

8.2.2. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES ÓPTIMAS DE LAS ZAPATAS

ALETA 1ª

H Tierras (m)	6,05	γ Hormigón (kN/m3)	25	φ (°)	30
H Hormigón (m)	6,7	γ Relleno (kN/m3)	20	α (°)	40
Ancho Muro (m)	0,7	γ Terreno (kN/m3)	20,4	i (°)	27,0532
Canto Zapata (m)	0,8	c (kPa)	306,5	θ (°)	6,645
Puntera (m)	1,2	c' (kPa)	0	Kae	0,5480
Talón (m)	2,5	B	4,4	Kad	0,6023

Coeficientes de seguridad		
Hundimiento	ELS Característica	2,77
	ELS Casi-permanente	5,07
	ELU Sismo	5,06
Deslizamiento	ELS Característica	4,33
	ELS Casi-permanente	31,58
	ELU Sismo	20,57
Vuelco	ELS Característica	2,25
	ELS Casi-permanente	10,42
	ELU Sismo	5,75

ALETA 1B

H Tierras (m)	3,5517	γ Hormigón (kN/m3)	25	φ (°)	30
H Hormigón (m)	3,88	γ Relleno (kN/m3)	20	α (°)	40
Ancho Muro (m)	0,4	γ Terreno (kN/m3)	20,4	i (°)	27,0532
Canto Zapata (m)	0,5	c (kPa)	306,5	θ (°)	6,645
Puntera (m)	0,8	c' (kPa)	0	Kae	0,5480
Talón (m)	1,5	B	2,7	Kad	0,6023

Coeficientes de seguridad		
Hundimiento	ELS Característica	2,84
	ELS Casi-permanente	7,29
	ELU Sismo	6,66
Deslizamiento	ELS Característica	6,13
	ELS Casi-permanente	46,89
	ELU Sismo	31,37
Vuelco	ELS Característica	2,21
	ELS Casi-permanente	9,85
	ELU Sismo	5,72

ALETA 2A

H Tierras (m)	6,1214	γ Hormigón (kN/m3)	25	φ (°)	30
H Hormigón (m)	6,7	γ Relleno (kN/m3)	20	α (°)	40
Ancho Muro (m)	0,7	γ Terreno (kN/m3)	20,4	i (°)	27,0532
Canto Zapata (m)	0,8	c (kPa)	306,5	θ (°)	6,645
Puntera (m)	1,2	c' (kPa)	0	Kae	0,5480
Talón (m)	2,5	B	4,4	Kad	0,6023

Coeficientes de seguridad		
Hundimiento	ELS Característica	2,68
	ELS Casi-permanente	5,02
	ELU Sismo	5,02
Deslizamiento	ELS Característica	4,20
	ELS Casi-permanente	31,01

	ELU Sismo	20,13
Vuelco	ELS Característica	2,20
	ELS Casi-permanente	10,20
	ELU Sismo	5,62

Coeficientes de seguridad		
Hundimiento	ELS Característica	2,61
	ELS Casi-permanente	6,23
	ELU Sismo	3,70
Deslizamiento	ELS Característica	4,11
	ELS Casi-permanente	31,98
	ELU Sismo	8,64
Vuelco	ELS Característica	1,93
	ELS Casi-permanente	8,97
	ELU Sismo	2,28

ALETA 2B

H Tierras (m)	3,5729	γ Hormigón (kN/m ³)	25	ϕ (°)	30
H Hormigón (m)	3,868	γ Relleno (kN/m ³)	20	α (°)	40
Ancho Muro (m)	0,4	γ Terreno (kN/m ³)	20,4	i (°)	27,0532
Canto Zapata (m)	0,5	c (kPa)	306,5	θ (°)	6,645
Puntera (m)	0,8	c' (kPa)	0	Kae	0,5480
Talón (m)	1,5	B	2,7	Kad	0,6023

Coeficientes de seguridad		
Hundimiento	ELS Característica	2,79
	ELS Casi-permanente	7,26
	ELU Sismo	6,62
Deslizamiento	ELS Característica	6,03
	ELS Casi-permanente	46,47
	ELU Sismo	31,03
Vuelco	ELS Característica	2,19
	ELS Casi-permanente	9,75
	ELU Sismo	5,65

ALETA 3A

H Tierras (m)	6,0464	γ Hormigón (kN/m ³)	25	ϕ (°)	30
H Hormigón (m)	6,7	γ Relleno (kN/m ³)	20	α (°)	60
Ancho Muro (m)	0,7	γ Terreno (kN/m ³)	20,4	i (°)	18,4349
Canto Zapata (m)	0,8	c (kPa)	306,5	θ (°)	6,645
Puntera (m)	1	c' (kPa)	0	Kae	0,4272
Talón (m)	2	B	3,7	Kad	0,5803

ALETA 3B

H Tierras (m)	3,5738	γ Hormigón (kN/m ³)	25	ϕ (°)	30
H Hormigón (m)	3,9071	γ Relleno (kN/m ³)	20	α (°)	60
Ancho Muro (m)	0,4	γ Terreno (kN/m ³)	20,4	i (°)	18,4349
Canto Zapata (m)	0,5	c (kPa)	306,5	θ (°)	6,645
Puntera (m)	0,5	c' (kPa)	0	Kae	0,4272
Talón (m)	1,5	B	2,4	Kad	0,5803

Coeficientes de seguridad		
Hundimiento	ELS Característica	2,78
	ELS Casi-permanente	6,80
	ELU Sismo	3,97
Deslizamiento	ELS Característica	6,58
	ELS Casi-permanente	49,58
	ELU Sismo	14,52
Vuelco	ELS Característica	2,15
	ELS Casi-permanente	9,61
	ELU Sismo	2,66

ALETA 4A

H Tierras (m)	5,8182	γ Hormigón (kN/m ³)	25	ϕ (°)	30
H Hormigón (m)	6,7	γ Relleno (kN/m ³)	20	α (°)	40
Ancho Muro (m)	0,7	γ Terreno (kN/m ³)	20,4	i (°)	27,0532
Canto Zapata (m)	0,8	c (kPa)	306,5	θ (°)	6,645
Puntera (m)	1	c' (kPa)	0	Kae	0,5480
Talón (m)	2,5	B	4,2	Kad	0,6023

Coeficientes de seguridad		
Hundimiento	ELS Característica	2,62
	ELS Casi-permanente	5,37
	ELU Sismo	5,18
Deslizamiento	ELS Característica	4,34
	ELS Casi-permanente	32,01
	ELU Sismo	20,55
Vuelco	ELS Característica	2,23
	ELS Casi-permanente	10,31
	ELU Sismo	5,70

ALETA 4B

H Tierras (m)	3,4515	γ Hormigón (kN/m ³)	25	ϕ (°)	30
H Hormigón (m)	3,9	γ Relleno (kN/m ³)	20	α (°)	40
Ancho Muro (m)	0,4	γ Terreno (kN/m ³)	20,4	i (°)	27,0532
Canto Zapata (m)	0,5	c (kPa)	306,5	θ (°)	6,645
Puntera (m)	0,8	c' (kPa)	0	Kae	0,5480
Talón (m)	1,5	B	2,7	Kad	0,6023

Coeficientes de seguridad		
Hundimiento	ELS Característica	3,08
	ELS Casi-permanente	7,44
	ELU Sismo	6,86
Deslizamiento	ELS Característica	6,61

Vuelco	ELS Casi-permanente	48,96
	ELU Sismo	33,05
	ELS Característica	2,32
	ELS Casi-permanente	10,34
	ELU Sismo	6,02

9. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

9.1. NORMATIVA APLICADA

Los cálculos que se mostrarán a continuación vienen dictados por distintas instrucciones y normas para el cálculo de estructuras y modelizado de acciones. Éstas son las siguientes:

- 1- CEN (2006). *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón*. UNE-EN 1992-1-1:2013.
- 2- MINISTERIO DE FOMENTO (2008). *Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)*.
- 3- MINISTERIO DE FOMENTO (2011). *Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11)*.
- 4- MINISTERIO DE FOMENTO (2007). *Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07)*.
- 5- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (1992). *Nota de servicio sobre losas de transición en obras de paso*.
- 6- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS Y CEDEX (2009). *Guía de cimentaciones en obras de carretera*.
- 7- J.CALAVERA (1993). *Manual de detalles constructivos en obras de Hormigón Armado*.
- 8- CEN (2003). *Eurocódigo 0: Bases de cálculo de estructuras*. UNE-EN 1990-1-1:2013.
- 9- MINISTERIO DE FOMENTO (2013). *Anejo Nacional (AN-UNE 1992-1-1)*.

9.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

9.2.1. HORMIGÓN

En función de las exigencias resistentes se utilizarán dos hormigones distintos según si los elementos a realizar requieren disponer o no de resistencia estructural. El hormigón estructural utilizado para todos los elementos será un hormigón tipo HA-35/P/20/IIa según la nomenclatura de la EHE que equivale a un hormigón C35/45 según la nomenclatura del Eurocódigo 2. El hormigón no estructural será un hormigón

en masa utilizado para nivelación de superficies y regularización de apoyos de estructuras con una nomenclatura igual a HM-20 o C20/25 según la norma aplicada.

Las características del hormigón estructural son:

- Resistencia característica a compresión a los 28 días en probeta cilíndrica: 35 MPa.
- Resistencia característica a compresión a los 28 días en probeta cúbica: 45 MPa.
- Consistencia: Plástica
- Tamaño máximo del árido: 20mm.
- Tipo de ambiente de exposición: XC2.
- Coeficiente de seguridad: 1.5.

9.2.2. ACERO

El acero empleado para todas las armaduras pasivas que componen el armado de las distintas estructuras será acero del tipo B-500-S con las siguientes características:

- Resistencia característica: 500 MPa.
- Resistencia de cálculo: 434.78 MPa.
- Módulo de elasticidad: 210.000 MPa.
- Coeficiente de seguridad: 1.15.

9.3. ACCIONES A CONSIDERAR

A continuación se mencionan los tipos de carga que se deben tener en cuenta para el análisis tensional de una rebanada de un metro de marco bajo una altura de 6.40m de tierras. Posteriormente se atribuirán valores para este tipo de cargas según corresponda para el cálculo del marco y de las aletas.

9.3.1. ACCIONES PERMANENTES (G)

Son aquellas cargas que actúan en todo momento y son constantes en magnitud y posición. En nuestro análisis están presentes en:

- Peso propio: acción debida al peso de los elementos estructurales. El valor de la carga dependerá de las dimensiones de la pieza multiplicadas por el peso específico del hormigón armado que según normativa se toma como 25 kN/m³.
- Cargas muertas: son las inducidas por todos aquellos elementos no estructurales tales como las tierras que entierran el marco.

9.3.2. ACCIONES PERMANENTES DE VALOR NO CONSTANTE (G*)

Aquí se engloban aquellas acciones que aún actuando en todo momento su magnitud no es constante:

- Empuje activo: se define como el mínimo valor de empuje al que están sometidos los hastiales.
- Empuje al reposo: se define como el máximo valor de empuje al que están sometidos los hastiales. Es el incremento que sufre el empuje activo hasta alcanzar el empuje al reposo.

9.3.3. ACCIONES VARIABLES (Q)

Son aquellas que pueden actuar o no sobre la estructura. Entre ellas se incluyen las siguientes:

- Tren de cargas: para el análisis de estas cargas se sigue lo expuesto en la IAP-11 con las modificaciones que dispone la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera para la modificación de estas cargas al tratarse de obras enterradas. La modelización del tráfico circulante por la vía superior al marco se realiza mediante tres tipos de carga:
 - o Sobrecarga repartida: se modeliza mediante una carga uniformemente repartida de 9 KN/m² aplicada en sentido longitudinal a la dirección de circulación que en este caso es paralela a la rebanada de marco.
 - o Sobrecarga puntual: se modeliza mediante cuatro cargas puntuales a modo de las cuatro ruedas de un vehículo. La distancia entre ejes del vehículo es de 1.20m mientras que en la dirección perpendicular las ruedas de un mismo eje se separan 2.00m. Cada carga es de 150 KN por lo que el vehículo modelizado corresponde a uno de 60 Tn de peso.
 - o Sobrecarga en terraplenes adyacentes: según la IAP-11, a efectos de cálculo del empuje del terreno sobre algún elemento del marco en contacto con él, se considerará actuando en la parte superior del terraplén en la zona por donde pueda discurrir el tráfico una sobrecarga uniforme de 10 KN/m². Si bien esta carga queda fuera de la geometría del marco al ser una carga vertical aplicada fuera de la geometría del mismo, ésta se transforma en una carga repartida horizontal al multiplicarla por el coeficiente de empuje activo.
- Sobrecarga por rozamiento negativo: esta acción tiene en cuenta los asientos diferenciales entre los terrenos limítrofes con el plano del paramento vertical del hastial. Aquellas tierras que se depositan sobre el marco tendrán un asiento menor que las que se encuentran en el trasdós del hastial pues estas últimas tienen un espesor mayor y la deformabilidad de las tierras es infinitamente mayor que la del hormigón. Esto produce un efecto cuelgue que se transforma en una sobrecarga uniforme sobre la losa superior del marco de valor dependiente del espesor de tierras sobre la misma.

9.3.4. ACCIONES ACCIDENTALES (A)

Son aquellas cuya probabilidad de actuación es muy pequeña pero producen efectos significativos en la estructura en el caso de actuar. Se tendrá en cuenta en este apartado las cargas inducidas por el sismo.

Según la Norma de Construcción Sismorresistente NCSP-07, no será de aplicación en el caso de que la aceleración sísmica horizontal básica del emplazamiento a_b sea inferior a $0.4 \cdot g$ donde g es la aceleración de la gravedad. La ubicación de la obra se incluye en una zona donde sí es de necesaria aplicación las consideraciones sísmicas. El valor de cálculo de las acciones inducidas por el sismo será igual a lo expuesto en el correspondiente apartado de la norma para estructuras enterradas.

9.4. COMBINACIÓN DE ACCIONES

9.4.1. INTRODUCCIÓN

Para cada una de las situaciones estudiadas, se determinarán las posibles combinaciones de acciones. Una combinación de acciones consiste en la suma de un conjunto de acciones compatibles que se considerarán simultáneamente multiplicadas por unos coeficientes de mayoración y otros de combinación.

Estas combinaciones estarán formadas en general por la suma de las cargas permanentes más una acción variable predominante y el resto de las acciones variables concomitantes. Se deberá estudiar cuál de las acciones variables es la más desfavorable en cada caso.

9.4.2. ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS

Las combinaciones de acciones para las distintas situaciones de proyecto se definen según los siguientes criterios:

- Situación de proyecto persistente o transitoria:

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

- Situación de proyecto accidental:

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

- Situación de proyecto sísmica:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Donde:

$G_{k,j}$ Valor característico de las acciones permanentes

$Q_{k,1}$ Valor característico de la acción variable determinante

$\psi_{0,i} Q_{k,i}$ Valor representativo de combinación de las acciones variables concomitantes

$\psi_{1,1} Q_{k,1}$ Valor representativo frecuente de la acción variables determinante

A_k Valor característico de la acción accidental

$A_{E,k}$ Valor característico de la acción sísmica

9.4.3. ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO

Para el Estado Límite de Servicio se consideran únicamente las situaciones de proyecto persistentes y transitorias. En estos casos, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Combinación característica:

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

- Combinación frecuente:

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

- Combinación cuasi-permanente:

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

9.5. MODELIZACIÓN DEL MARCO

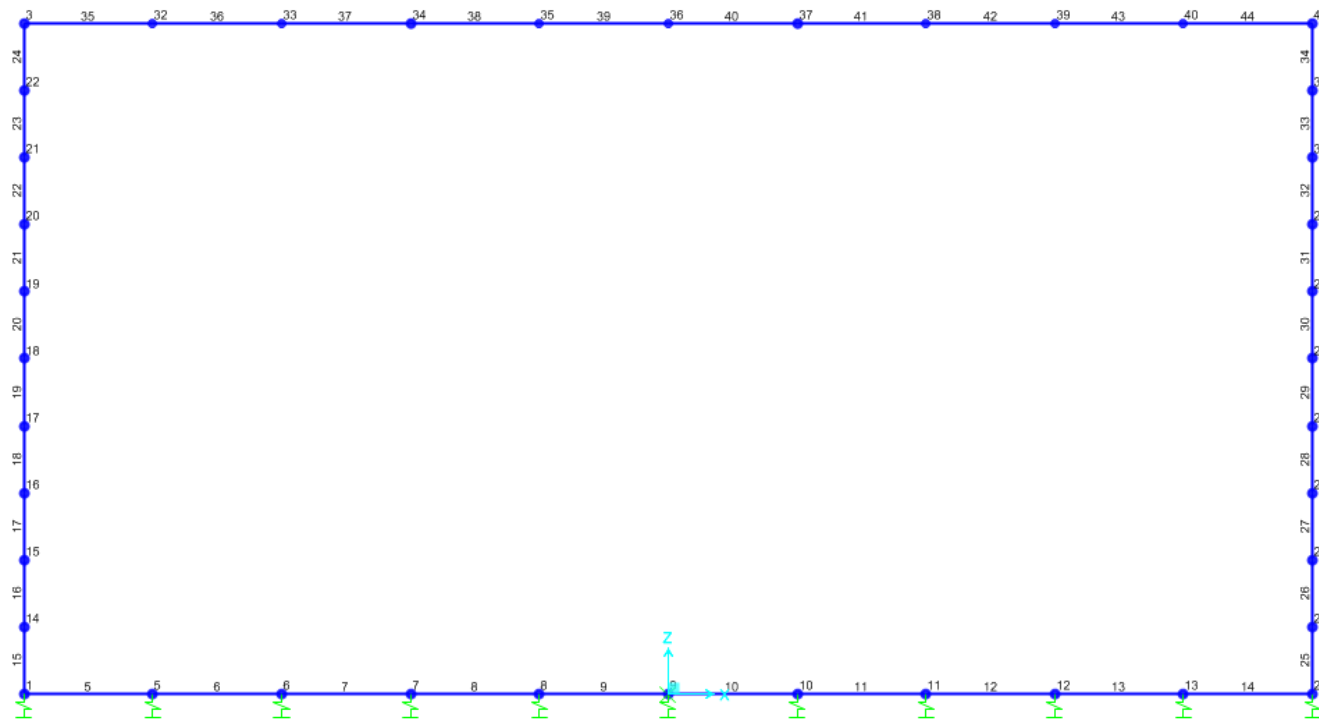
Para la realización del cálculo tensional del paso inferior se ha desarrollado un modelo 2D de barras y nudos rígidos al que se aplican las acciones que a continuación veremos.

La estructura modelizada es una sección de 1 m de marco ortogonal al desarrollo longitudinal del mismo escogiendo aquella sección con mayor espesor de tierras. En nuestro caso, la sección con más tierras dispone de 6.30 m de espesor de tierras que han sido modelizadas como 6.40 m para mayor seguridad.

El modelo de rebanada de marco se define geoméricamente por el eje medio de las secciones que define la sección tipo del marco quedando unas dimensiones de 12.90x6.70 m.

Cada barra principal se divide a su vez en otras 10 barras idénticas entre sí a las que se les asigna las características geométricas y resistentes del elemento que representan.

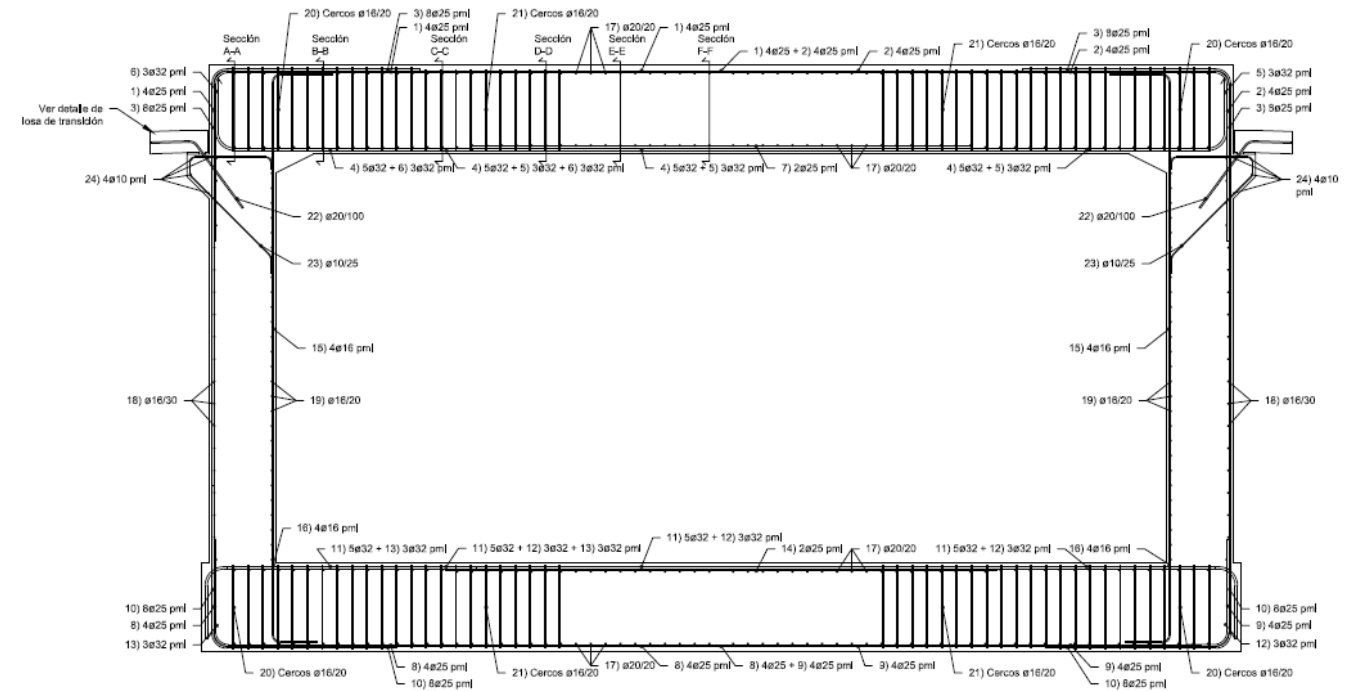
A continuación se muestra un croquis de la estructura modelizada en SAP2000:



MEMORIA. FIGURA 3: Modelización de la estructura en SAP2000. Fuente: Propia.

9.6. RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez modelizada la estructura, se introducen todas las cargas que actúan sobre ella y se realizan las combinaciones de acciones pertinentes. Con los resultados proporcionados por el programa se procede al cálculo de la armadura necesaria, obteniendo como resultado el siguiente plano de armado:



MEMORIA. FIGURA 4: Sección tipo del marco armada. Fuente: Propia.

Para su correcto visionado se recomienda acudir al plano de armado del marco.

10. DRENAJE DE LA ESTRUCTURA

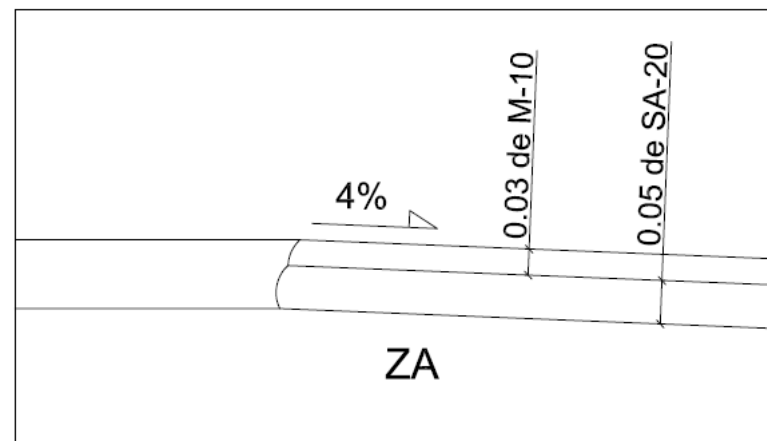
Como mejor solución para solventar el drenaje de las aletas y del marco, se ha optado por realizar en primer lugar una impermeabilización del trasdós de toda la estructura mediante la aplicación de una capa de pintura asfáltica. Posteriormente se instalará un tubo dren de PVC ranurado de 200 mm de diámetro en la unión del trasdós de la estructura con la cimentación y se dispondrá de una lámina de geotextil para una mayor impermeabilización.

Finalmente se realizará un relleno con gravas drenantes en el trasdós de las aletas, con su posterior compactación.

11. FIRMES Y PAVIMENTOS

Como parte del proyecto también se ha realizado el dimensionamiento del firme tanto del trazado principal que discurre sobre el marco como del trazado secundario que transcurre por el interior del mismo. A continuación se adjunta un croquis con la solución adoptada para cada trazado.

Para un mayor detalle, en el Anejo 7 – Firmes y pavimentos se detalla el proceso seguido hasta llegar a estas soluciones así como se describe cada una de ellas.



MEMORIA. Figura 4: Sección de firme en trazado inferior (interior marco)

12. VALORACIÓN ECONÓMICA

Estos costes se valorarán cuantificando las unidades de obra que posteriormente aparecerán listadas. Estas unidades de obra definen la ejecución de un marco de hormigón armado in situ con sus correspondientes aletas para la contención de las tierras y la reposición del trazado del camino que discurre a través de este marco.

Por tanto, no se debe entender esta valoración como el presupuesto del proyecto, cuyo objeto queda fuera del alcance de este anejo. El fin es calcular un precio aproximado del coste global de las unidades de obra utilizadas.

Los precios que se van a aplicar a las mediciones realizadas serán extraídos de bases de datos de precios actualizados para unidades de obra relativas a la ingeniería civil, concretamente del Banco BEDEC del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña cuya última revisión fue realizada en Enero de 2014.

A partir de los costes mostrados en el anejo pertinente, se obtiene que la cantidad valorada para el proyecto sin tener en cuenta los costes indirectos ni impuestos a TRES MILLONES OCHOCIENTOS DIECIOCHO MIL SEISCIENTOS VEINTISIETE EUROS con NOVENTA Y SIETE CÉNTIMOS.

NOMBRE DEL GRUPO	IMPORTE (€)
MOVIMIENTO DE TIERRAS	25203,7345
OBRA CIVIL	3718176,78
DRENAJE	21676.10
FIRMES Y PAVIMENTOS	53571,36
TOTAL	3.818.627,97

13. DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TRABAJO

Tras la memoria se adjuntan los diversos anejos que sirven de desarrollo a lo aquí expuesto. El índice de anejos que posee este proyecto es el siguiente:

- Anejo nº1: Definición de las obras
- Anejo nº2: Localización y cartografía
- Anejo nº3: Geología
- Anejo nº4: Geotecnia
- Anejo nº5: Estudio geotécnico para la cimentación de estructuras
- Anejo nº6: Cálculos estructurales
- Anejo nº7: Selección de firmes y pavimentos
- Anejo nº8: Valoración económica.

Tras los anejos que completan el Documento nº1: Memoria, se disponen los planos que conforman el Documento nº2. Estos poseen el siguiente índice:

- Plano 1: Localización
- Plano 2: Situación general
- Plano 3: Emplazamiento
- Plano 4: Planta general de las obras
- Plano 5: Sección longitudinal tipo. Sección transversal tipo.
- Plano 6: Replanteo de cajón y aletas.
- Plano 7: Movimiento de tierras.
- Plano 8: Selección de firmes y pavimentos. Drenaje de cajón y aletas

- Plano 9: Planta de situación de aletas.
- Plano 10: Definición de la geometría de las Aletas 1 y 2.
- Plano 11: Definición de la geometría de las Aletas 3 y 4.
- Plano 12: Armado de marco.
- Plano 13: Secciones para detalles de armado.
- Plano 14: Detalle de despiece de armado de marco.
- Plano 15: Armado en planta del marco.
- Plano 16: Despiece de armado de marco. Hoja 1.
- Plano 17: Despiece de armado de marco. Hoja 2.
- Plano 18: Armado de Aleta 1.
- Plano 19: Despiece de armado de Aleta 1.
- Plano 20: Armado de Aleta 2.
- Plano 21: Despiece de armado de Aleta 2.
- Plano 22: Armado de Aleta 3.
- Plano 23: Despiece de armado de Aleta 3.
- Plano 24: Armado de Aleta 4.
- Plano 25: Despiece de armado de Aleta 4.

14. CONCLUSIÓN

Tras dar todas las explicaciones aquí contenidas y sumando los desarrollos que se hacen de las mismas en los correspondientes anejos, se entiende suficientemente justificado y explicado el “Proyecto de la reposición del camino en el PK 11+557 de la A-7 tramo: Cocentaina – Muro de Alcoy” de acuerdo a las Normas Técnicas y Administrativas en vigor y se puede llevar a cabo su construcción tras ser aprobado si procede.

Autor del Trabajo Final de Grado:



D. Francesc David Blasco Cuesta

Valencia, Junio 2014