

ANEJO Nº3

DISEÑO Y COMPROBACIÓN DE LA CIMENTACIÓN Y SUBESTRUCTURAS

CURSO 2016-2017

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

TUTOR: CARLOS MANUEL LÁZARO FERNÁNDEZ

COTUTOR: JOSÉ CASANOVA COLÓN

AUTOR: CARMEN DEL MAR PÉREZ DELGADO

JUNIO 2017, VALENCIA

INDICE

ANEJO Nº3.....	1
DISEÑO Y COMPROBACIÓN DE LA CIMENTACIÓN Y SUBESTRUCTURAS.....	1
1. OBJETO Y ALCANCE.....	2
2. NORMATIVA.....	2
3. DATOS DE PARTIDA	2
4. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA.....	2
5. CÁLCULO DE SUBESTRUCTURAS	3
5.1 Comprobación frente a los estados límite últimos	3
5.1.1 Presión de hundimiento	3
5.1.2 Estabilidad frente al deslizamiento	4
5.1.3 Estabilidad frente al vuelco	4
6. DIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO	4
7. CONCLUSIONES	5
8. CONCLUSIONES	5

ANEJO Nº3

DISEÑO Y COMPROBACIÓN DE LA CIMENTACIÓN Y SUBESTRUCTURAS

1. OBJETO Y ALCANCE

El objeto de este anejo es realizar las comprobaciones geotécnicas necesarias para el correcto dimensionamiento de la cimentación y las subestructuras.

Dado que se trata de un trabajo académico a nivel de anteproyecto, se han realizado los cálculos oportunos para el dimensionamiento geométrico del estribo y se han comprobado los Estado Límite Últimos de hundimiento, deslizamiento y vuelco. El resto de comprobaciones, así como el dimensionamiento de la armadura quedan excluidos del alcance de este documento.

2. NORMATIVA

La normativa empleada en la redacción de este anejo es la que sigue:

- Guía de cimentaciones en obras de carretera, 2002.
- Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera, IAP-11.

3. DATOS DE PARTIDA

Los datos de partida empleados se han extraído del *Anejo 2.-Informe geotécnico*, adjunto en este documento. La estatigrafía de la zona donde se van a construir los estribos es la siguiente:

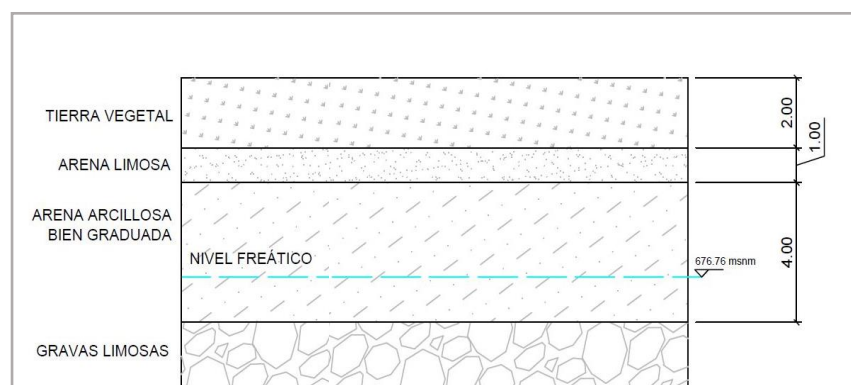


Figura 1. Estratos representativos del terreno

Y las características de cada uno de ellos son:

- Arena limosa:
 $\varphi' = 35^\circ$ $\gamma_d = 16,18 \text{ kN/m}^3$
- Arena arcillosa bien graduada:
 $\varphi' = 35^\circ$ $\gamma_d = 19,62 \text{ kN/m}^3$ $R_u = 322,42 \text{ kN/m}^2$
 $C_u = 161,21 \text{ kN/m}^2$ $E = 144,84 \text{ MPa}$ $\nu = 0,3$
- Grava limosa
 $\varphi' = 38^\circ$ $\gamma_d = 19,62 \text{ kN/m}^3$

Estos estratos son constantes en todo el perfil longitudinal del terreno, exceptuando pequeñas variaciones como puede ser la altura del estrato de tierra vegetal. En consecuencia, el estribo este y el estribo oeste de una misma pasarela presentarán las mismas dimensiones, ya que el terreno prácticamente el mismo.

Las cargas que actúan sobre la cimentación provenientes de la estructura se han obtenido del resultado del análisis del programa de cálculo estructural SAP 2000, para el Estado Límite Último más desfavorable. Los valores son los siguientes:

ESFUERZOS	PASARELA 1, L=16 m	PASARELA 2, L=33 m
F_H	41,16 kN	103,15 kN
F_V	229,82 kN	521,54 kN
M_F	49,45 kN·m	141,85 kN·m

4. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

Una vez definido el terreno sobre el que apoyará la subestructura se procede al dimensionamiento de la misma. Los Estados Límite Últimos a comprobar son hundimiento, deslizamiento y vuelco.

En primer lugar, se ha realizado el predimensionamiento de la cimentación, escogiendo unos valores coherentes con las cargas actuantes en el estribo. Acto seguido se procederá a la comprobación de los Estados Límite para verificar que la cimentación cumple todos ellos y no colapsa ante las cargas actuantes.

Las dimensiones de la cimentación para la pasarela 1, L= 16 m:

ANCHO TOTAL DE LA CIMENTACIÓN, B	ESPESOR DE LA ZAPATA, e	LONGITUD DEL ESTRIBO, L	DISTANCIA A LA COTA DE FONDO DE EXCAVACIÓN, H
3,30 m	0,50 m	3,00 m	3,00 m

En el ancho de la cimentación se incluye el ancho del talón $a = 1,3 \text{ m}$, el ancho del muro $b = 1,3 \text{ m}$ y el ancho de la punta $c = 0,7 \text{ m}$.

Las dimensiones del estribo de la pasarela 2 son:

ANCHO TOTAL DE LA CIMENTACIÓN, B	ESPESOR DE LA ZAPATA, e	LONGITUD DEL ESTRIBO, L	DISTANCIA A LA COTA DE FONDO DE EXCAVACIÓN, H
3,40 m	0,50 m	3,50 m	3,00 m

En el ancho de la cimentación se incluye el ancho del talón $a = 1,4 \text{ m}$, el ancho del muro $b = 1,3 \text{ m}$ y el ancho de la punta $c = 0,7 \text{ m}$.

La cota al fondo de la excavación se considera la misma ya que a esta profundidad es donde se encuentra el terreno que, además de ser del que más información se dispone, presenta mejores características resistentes.

En cuanto al ancho del muro, viene condicionado por el cálculo del drenaje efectuado en el *Anejo N°5.-Diseño de equipamientos*, adjunto en este documento. También lo condicionan las dimensiones de los aparatos de apoyo, calculados al final de este anejo.

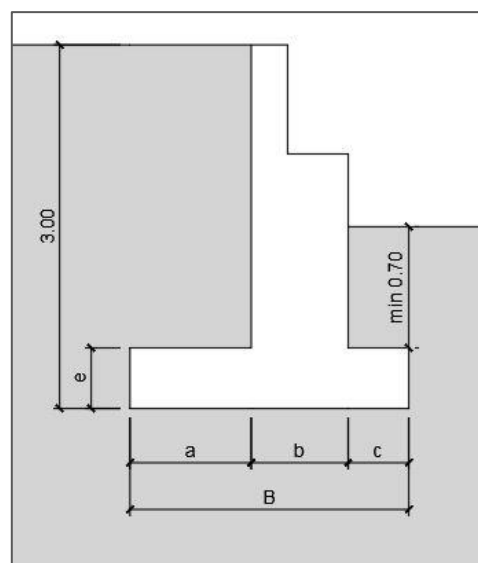


Figura 2. Croquis de dimensiones principales de los estribos

5. CÁLCULO DE SUBESTRUCTURAS

5.1 COMPROBACIÓN FRENTE A LOS ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

5.1.1 Presión de hundimiento

Los estratos sobre los que se va a cimentar son arenas y gravas con arcillas y limos, por tanto se empleará la formulación de Brinch-Hansen para la estimación de la carga de hundimiento.

La carga de hundimiento se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$q_h = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$

Los valores s_c , s_q , s_γ son los denominados factores de forma y dependen de la geometría de la zapata y del ángulo de rozamiento del terreno. Los valores d_c , d_q , d_γ son los factores de inclinación de las cargas respecto al plano de cimentación. Los factores de profundidad se definen como i_c , i_q , i_γ , pero en este caso, dado que se trata de una cimentación superficial su valor es la unidad. En lo relativo a los factores de carga N_c , N_q , N_γ dependen directamente del ángulo de rozamiento del terreno en cuestión. Por último, q es la sobrecarga actuante al nivel del plano de cimentación y B' hace referencia al ancho eficaz de la zapata, valor reducido por la presencia de momentos.

Los factores de forma tendrán también el valor de la unidad ya que los cálculos se realizan para una zapata corrida, esta tipología es la que se emplea habitualmente para los estribos de puentes. Aunque se ha definido anteriormente la longitud de la zapata, no se considera en el cálculo, quedando así del lado de la seguridad.

En cuanto a la carga q , en este cálculo no se tiene en cuenta ya que la altura de tierras por encima del plano de cimentación es diferente a uno y otro lado de la zapata. La zona más cercana al río tendrá una altura de tierras mínima, mientras que el intradós presentará una altura de 3 m de tierras. Por tanto, no se considera la actuación de esta carga en la formulación, quedando así del lado de la seguridad a la hora de calcular la carga de hundimiento y su factor de seguridad.

En cuanto al área eficaz obtenida por la reducción de la sección por la actuación de momentos a cota de cimentación, se obtiene el valor B' debido al momento producido por las cargas actuantes sobre el estribo.

Teniendo en cuenta que el tablero transmite una carga de momento a la cimentación, se ha de calcular también la longitud eficaz de la misma. Esta reducción permitirá reducir el momento a una presión uniforme sobre la cimentación.

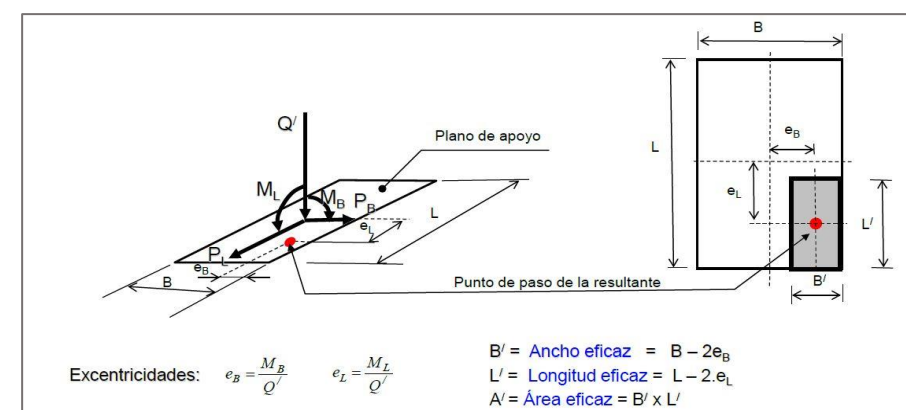


Figura 3. Dimensión área eficaz, Brinch Hansem

Dado que el material sobre el que se construye es granular, arenas y gravas, el valor de la cohesión efectiva es nulo.

Los resultados obtenidos una vez aplicada la formulación de Brinch-Hansen son:

- Pasarela 1, L = 16 m

FACTORES DE FORMA		FACTORES DE INCLINACIÓN		FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA		FACTOR DE PROFUNDIDAD	
sq	1.00	iq	0.75	Nq	33.30	dc	1.00
sc	1.00	ic	0.74	Nc	46.12	dq	1.00
sy	1.00	iy	0.651	Ny	33.92	dy	1.00

CARGA TRANSMITIDA q_t	128,18 KN/m ²
CARGA DE HUNDIMIENTO, q_h	500,2 KN/m ²
FACTOR DE SEGURIDAD F	3,9

- Pasarela 2, L = 33 m

FACTORES DE FORMA		FACTORES DE INCLINACIÓN		FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA		FACTOR DE PROFUNDIDAD	
sq	1.00	iq	0.88	Nq	33.30	dc	1.00
sc	1.00	ic	0.884	Nc	46.12	dq	1.00
sy	1.00	iy	0.837	Ny	33.92	dy	1.00

CARGA TRANSMITIDA q_t	134,30 KN/m ²
---	--------------------------

CARGA DE HUNDIMIENTO, q_h	746,4 kN/m ²
FACTOR DE SEGURIDAD F	5,50

Por tanto, se cumple la condición frente a hundimiento en ambas estructuras.

COMBINACIÓN DE ACCIONES	COEFICIENTE DE SEGURIDAD FRENTE AL HUNDIMIENTO
Casi permanente (*)	$F_1 \geq 3,00$
Característica	$F_2 \geq 2,60$
Accidental	$F_3 \geq 2,20$

Figura 4. Coeficientes de seguridad mínimos para la situación de hundimiento para zapatas superficiales.
Tabla 4.7 de la Guía de Cimentaciones

5.1.2 Estabilidad frente al deslizamiento

Este modo de fallo se da en situaciones en las que las tensiones de corte en el plano de contacto terreno-zapata igualan o superan la resistencia al corte de dicho contacto. En esta situación se producen desplazamientos inadmisibles de la cimentación respecto al terreno.

Según lo establecido en la *Guía de cimentaciones para obra de carretera*, no será necesario comprobar el fallo frente a deslizamiento para aquellas cimentaciones en las que la resultante de las cargas actuantes tenga una inclinación máxima inferior al 20% respecto al plano de cimentación.

La inclinación de la resultante en este caso es de:

$$\tan \delta = \left(\frac{H}{V} \right) = \frac{41,16}{229,82} = 0,17 < 0,2$$

Por tanto, para la Pasarela 1 no es necesario realizar esta comprobación.

$$\tan \delta = \left(\frac{H}{V} \right) = \frac{103,15}{521,54} = 0,19 < 0,2$$

Para Pasarela 2 tampoco es necesario.

5.1.3 Estabilidad frente al vuelco

Este modo de fallo ha de comprobarse en los estribos de puentes ya que suelen encontrarse sometidos a acciones horizontales importantes.

La seguridad frente al vuelco se calculará tomando momentos en la arista de la zapata donde se encuentre el eje de giro más desfavorable, el cual conducirá a la situación más crítica. Las fuerzas actuantes en la zapata podrán clasificarse en estabilizadoras y volcadoras, las primeras son las producidas por las fuerzas verticales que impiden el vuelco y el empuje pasivo de las tierras sobre la zapata, las segundas son cualquier tipo de empuje horizontal que favorezca el vuelco.

El cálculo del coeficiente de seguridad frente al vuelco se estima a través de la siguiente fórmula:

$$F_v = \frac{\sum M_{\text{estabilizadores}}}{\sum M_{\text{volcadores}}}$$

Los estribos cumplirán frente al vuelco siempre que el factor de seguridad no supera el valor mínimo establecido en la *Guía de Cimentaciones para obras de carreteras*.

COMBINACIÓN DE ACCIONES	COEFICIENTE DE SEGURIDAD AL VUELCO RÍGIDO	COEFICIENTE DE SEGURIDAD AL VUELCO PLÁSTICO
Casi permanente(*)	$F_1 \geq 2,00$	$F_1 \geq 1,50$
Característica	$F_2 \geq 1,80$	$F_2 \geq 1,30$
Accidental	$F_3 \geq 1,50$	$F_3 \geq 1,10$

Figura 5. Coeficientes de seguridad mínimos frente al vuelco para cimentaciones superficiales. Tabla 4.9 de la Guía de Cimentaciones

Los resultados obtenidos para los estribos de las pasarelas son los siguientes:

PASARELA	$M_{\text{estabilizadores}}$	$M_{\text{desestabilizadores}}$	F
PASARELA 1, L = 16 m	431,57 kN/m	113,97 kN/m	3,8
PASARELA, L = 33 m	547,12 kN/m	161,22 kN/m	3,4

Dado que la zapata es rígida, se comprueba que para ambas estructuras el factor de seguridad frente al vuelco de los estribos es suficiente. Por tanto, no se producirá este modo de fallo.

6. DIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO

Los aparatos de apoyo serán de neopreno zunchado y se dimensionarán considerando la carga vertical máxima y la deformación horizontal máxima.

Se colocarán dos apoyos en el estribo, de esta manera se coartará el vuelco por efecto del momento torsor. La carga vertical y el momento de torsión transmitido por la estructura al estribo se reducirán a cada uno de los aparatos de apoyo, de tal manera que la carga transmitida a cada uno sea la siguiente:

$$Q_1 = \frac{F_v}{2} + \frac{M_T/2}{d/2}$$

$$Q_2 = \frac{F_v}{2} - \frac{M_T/2}{d/2}$$

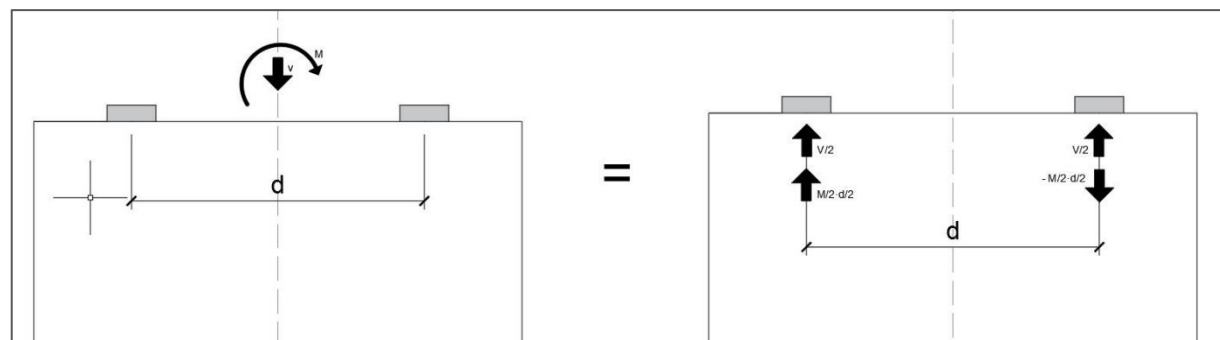


Figura 6. Esquema de los esfuerzos considerados en el dimensionamiento de los aparatos de apoyo

En cuanto al desplazamiento horizontal de la estructura, el valor se obtiene del programa de cálculo SAP 2000, donde se ha introducido el modelo estructural de las pasarelas. Por tanto, teniendo en cuenta esto los resultados para cada una de las estructuras es el siguiente:

ESTRUCTURA	Q_1	Q_2	DESPLAZAMIENTO MAXIMO HORIZONTAL
PASARELA 1	142,38 kN	87,44 kN	10,95 mm
PASARELA 2	339,57 kN	181,97 kN	23,80 mm

Por tanto, utilizando el catálogo para aparatos de apoyo de la empresa Mecanogumba, los apoyos escogidos para cada estructura son:

- Pasarela 1, L = 16 m

DIMENSIONES	CARGA ADMISIBLE	MÓDULO E	Nº DE CAPAS	DESPLAZAMIENTO ADMISIBLE	ALTURA TOTAL DEL APARRATO DE APOYO	ALTURA TOTAL DEL ELASTÓMERO
100X150 mm	225 kN	235 N/mm ²	3	14 mm	28 mm	20 mm

- Pasarela 2, L= 33 m

DIMENSIONES	CARGA ADMISIBLE	MÓDULO E	Nº DE CAPAS	DESPLAZAMIENTO ADMISIBLE	ALTURA TOTAL DEL APARRATO DE APOYO	ALTURA TOTAL DEL ELASTÓMERO
150X200 mm	450 kN	480 N/mm ²	7	25,3 mm	56 mm	40 mm

7. CONCLUSIONES

Como se puede observar, las dimensiones dadas al estribo son más que suficientes, ya que el factor de seguridad obtenido para los diferentes Estados Límite de vuelco y hundimiento cumplen el valor mínimo perfectamente, quedando así en todo momento del lado de la seguridad.

En cuanto a las características geométricas dadas al estribo, estas medidas son mínimas por lo que no se recomienda reducirlas más. No obstante, podría considerarse una pequeña disminución del espesor del muro de cimentación, de 1m a 0,75 m por ejemplo, sin embargo esto conllevaría a una disminución del factor de

seguridad frente a vuelco. Tampoco es aconsejable de cara al armado a introducir en la cimentación que las dimensiones del muro sean pequeñas.

El factor de seguridad frente a vuelco obtenido es más limitante que el de hundimiento, ya que su valor se aproxima más al mínimo establecido por la Guía de Cimentaciones para obras de carretera. Por tanto, este será el factor crítico a la hora de diseñar la cimentación.

De esta manera, se concluye que las dimensiones escogidas para el dimensionamiento del estribo son óptimas, ya que no se produce ninguno de los modos de fallo analizados. Además, se ha dejado holgura respecto a los factores de seguridad mínimos y los obtenidos, por lo que la cimentación quedará diseñada del lado de la seguridad.

8. CONCLUSIONES

Se han dimensionado las cimentaciones de los estribos de las dos pasarelas, partiendo de la premisa que el terreno es el mismo para todos los estribos.

Teniendo en cuenta las características del mismo hay datos que ya venían definidos antes de diseñar la cimentación, uno de ellos es el ancho del muro que ya había sido diseñado previamente para el cálculo del drenaje del tablero. Otro dato condicionante ha sido la altura del muro, ya que se han diseñado las subestructuras de tal manera que la cota de cimentación quede en todo momento por encima del nivel freático.

Una vez definido estos condicionantes se ha realizado un prediseño y se ha comprobado que las cimentaciones cumplían los Estados Límite Últimos de vuelco, deslizamiento y hundimiento, quedando así del lado de la seguridad.

Por último, se han definido los aparatos de apoyo a partir de las reacciones transmitidas por el tablero, estos serán de neopreno zunchado.