

INFRAESTRUCTURA - ESTRIBOS

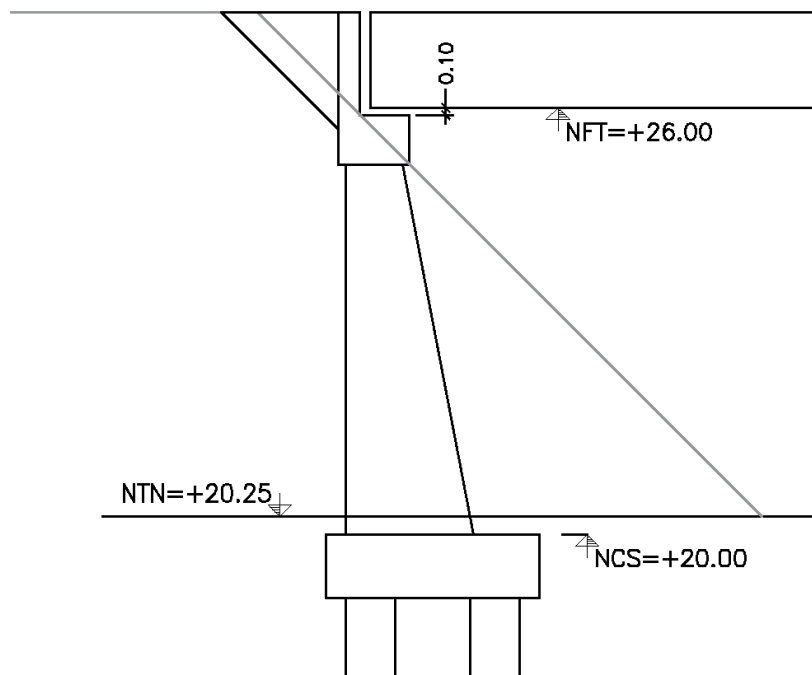
Trabajaremos con un estribo abierto conformado por una viga dintel con aletas en el sentido longitudinal del puente. Nos centraremos en el estudio del estribo izquierdo.

Definición de la geometría del estribo

Pilares pantalla

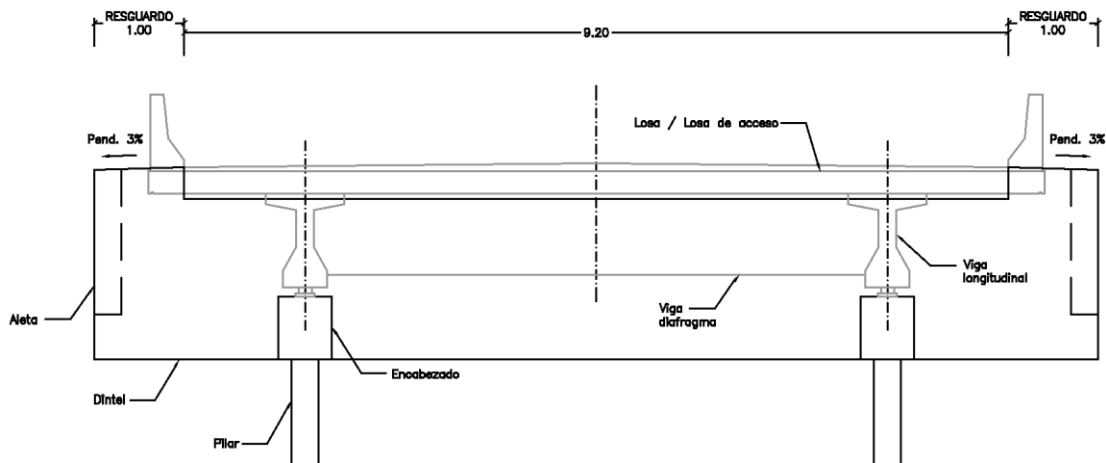
Realizaremos un encabezado de los pilares pantalla, los cuales ubicaremos debajo de cada una de las vigas longitudinales de la superestructura, de unos 60 cm de ancho y 70 cm de altura. Por encima de estos encabezados se ubicarán los neoprenos en un espacio de 6.5 cm de altura aproximadamente (esto dependerá del puente y puede llegar a mayores valores). La distancia entre el NCI de viga y NCS del encabezado será de 10 cm, para poder colocar un grout de nivelación bajo el aparato de apoyo. También habrá por delante unas ménsulas cortas para el ganeo de las vigas longitudinales con el objetivo de poder realizar el cambio de neoprenos a futuro.

Desde la cara superior del encabezado de los pilares a la cara superior del cabezal del estribo, hay 5.90 m. Como el encabezado tiene una altura de 0.70 m, la altura de la pantalla, por debajo del encabezado será 5.20 m. La pantalla tendrá un ancho variable siendo superiormente de 0.80 m y aumentando a medida que llega al cabezal con una pendiente de aproximadamente 5:1. Eso implica que el ancho inferior sea 1.80 m. El espesor de la pantalla será de 0.30 m.



Viga dintel

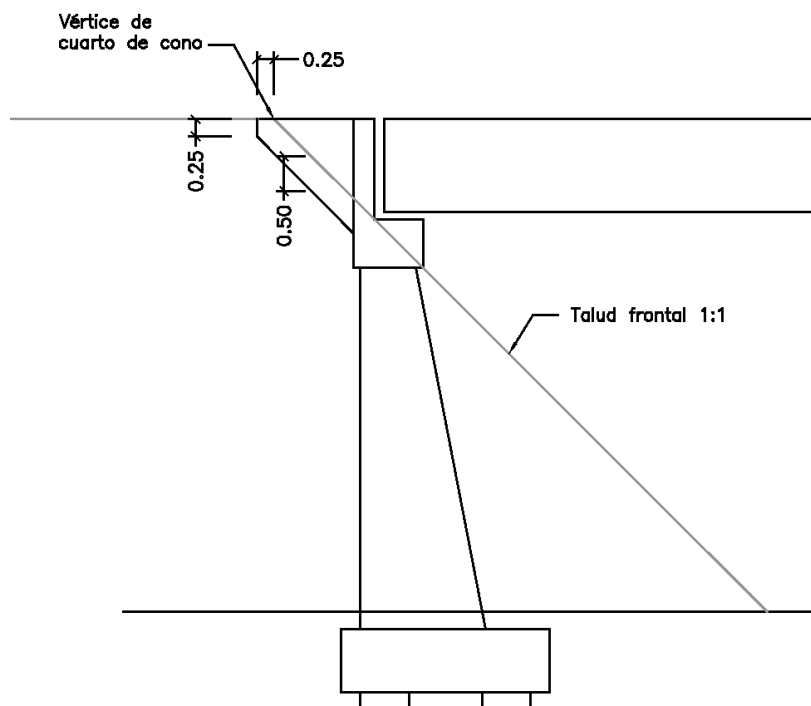
En este punto, para definir la viga dintel, tendremos que tener en cuenta las pendientes del talud frontal de 1:1. El dintel constará de un murete frontal, con los dos encabecados de los pilares ya definidos, y una aleta en dirección longitudinal al puente, que asegure que no se derramen tierras sobre él.



La cara superior de la viga dintel será horizontal en los 9.20 m centrales, y estará unos 40 cm hundida para dar apoyo a la losa de acceso del puente. Esta suele ser de unos 25 cm, con una pendiente del 1% y la carpeta de rodadura de $e=0.04$ m por encima, y se le deja un pequeño taco inferior de altura variable. A los lados de la losa de acceso se deja un resguardo de 1.00 m para la colocación de la barrera flex-beam, con una pendiente del 3% que es acompañada por la cara superior del dintel. El fondo del dintel suele estar al mismo nivel que la cara inferior del encabezado. Como se coloca una aleta longitudinal al puente, el dintel tendrá 11.20 m de ancho total. El espesor será de 30 cm.

La definición geométrica de la aleta longitudinal estará dada de forma de asegurar que no se cuele tierra sobre los encabezados. Se debe de plantear el talud frontal, de pendiente 1:1, buscando no pasar por sobre el NCS del encabezado. Se define entonces el vértice de cuarto de cono, como el punto de intersección talud – rasante.

Luego, para definir la geometría de la aleta, se plantea su cara inferior paralela al talud y enterrada 0.50 m en el mismo, y se ajusta la geometría del extremo.

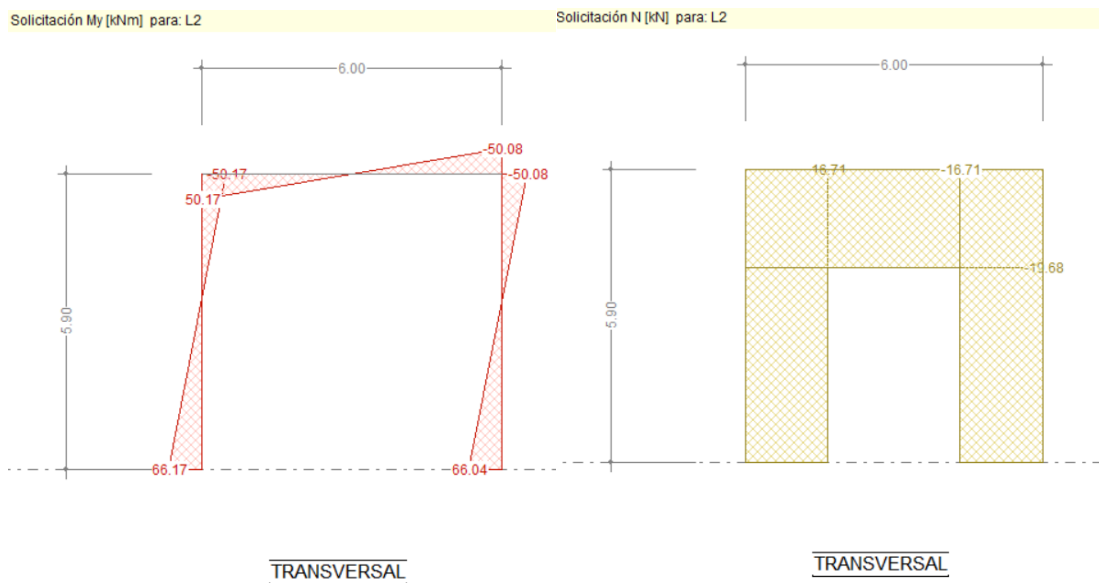
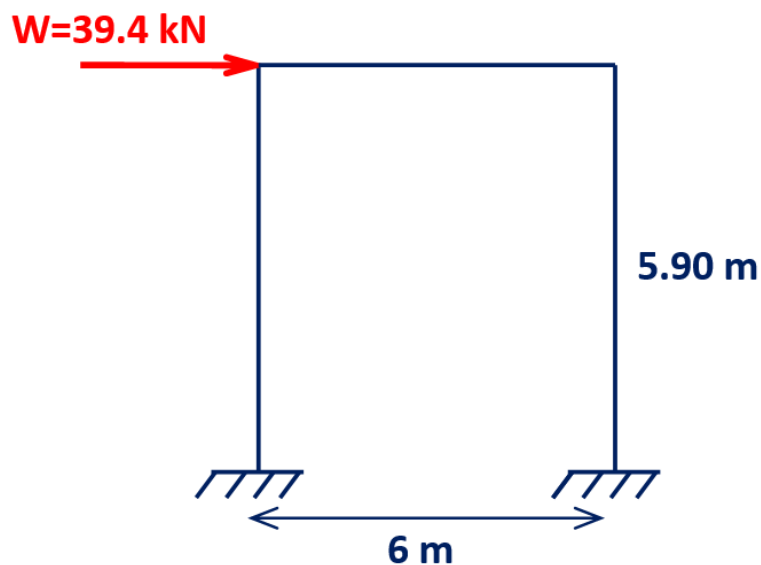


Si además fuera necesario aumentar el área de desagüe, reduciendo la zona por delante del estribo afectada por el terraplén, se podría plantear un vértice de cuarto de cono más lejano al dintel y aumentar el tamaño de la aleta. Se debe tener en cuenta que la aleta deberá empotrarse en el dintel de forma adecuada para llevar los esfuerzos de los empujes, y que la profundidad de la viga dintel debe ser tal que no quede un hueco bajo esta.

Esfuerzos horizontales

Del análisis que se hizo para determinar los esfuerzos horizontales en los pórticos intermedios, se puede ver que en los estribos la descarga por esfuerzos de viento es de 39.4 kN en el sentido transversal y 16.3 kN por esfuerzos de frenado en el sentido longitudinal por neopreno.

En el sentido transversal el modelo a adoptar es el de un pórtico, donde las pantallas están distanciadas 6 m y su altura es 5.90 m (hasta el NCS del encabezado, y aprox. al centro de la viga dintel). En el modelo se debe ingresar la viga de altura 1.74 m y espesor 0.30 m, mientras que las pantallas tienen una sección variable.



Para completar el estudio, hay que considerar el empuje de tierra. El empuje del suelo se obtiene mediante un coeficiente de empuje activo de valor $1/3$ respecto a las presiones verticales. A medida que se va aumentando en profundidad, la presión que ejerce el suelo es igual a $1/3 \cdot 18 \text{ kN/m}^3 \cdot z$, donde z es la profundidad medida desde el nivel superior de la losa de acceso. Se debe considerar que en la losa de acceso se aplica una sobrecarga vertical de 10 kN/m^2 .

- En $z=0 \text{ m}$ (N. Rasante) se tendrá $1/3 \cdot 10 \text{ kN/m}^2 = 3.3 \text{ kN/m}^2$.
- En $z=0.40 \text{ m}$ (NCS Dintel) se tendrá $3.3 \text{ kN/m}^2 + 1/3 \cdot 18 \text{ kN/m}^3 \cdot z = 5.7 \text{ kN/m}^2$.
- En $z=2.14 \text{ m}$ (NCS Pila) se tendrá $3.3 \text{ kN/m}^2 + 1/3 \cdot 18 \text{ kN/m}^3 \cdot z = 16.2 \text{ kN/m}^2$.
- En $z=7.34 \text{ m}$ (NCI Pila) se tendrá $3.3 \text{ kN/m}^2 + 1/3 \cdot 18 \text{ kN/m}^3 \cdot z = 47.4 \text{ kN/m}^2$.

Asumiremos para simplificar un empuje en la viga dintel actuando desde $z=0.40 \text{ m}$ a $z=2.14 \text{ m}$, o sea en 1.74 m de altura. El empuje del suelo en la viga dintel ($L=11.2 \text{ m}$) será entonces:

$$E_{\text{VIGA DINTEL}} = 0.5 \cdot (5.7 + 16.2) \text{ kN/m}^2 \cdot 1.74 \text{ m} \cdot 11.2 \text{ m} = 213 \text{ kN}$$

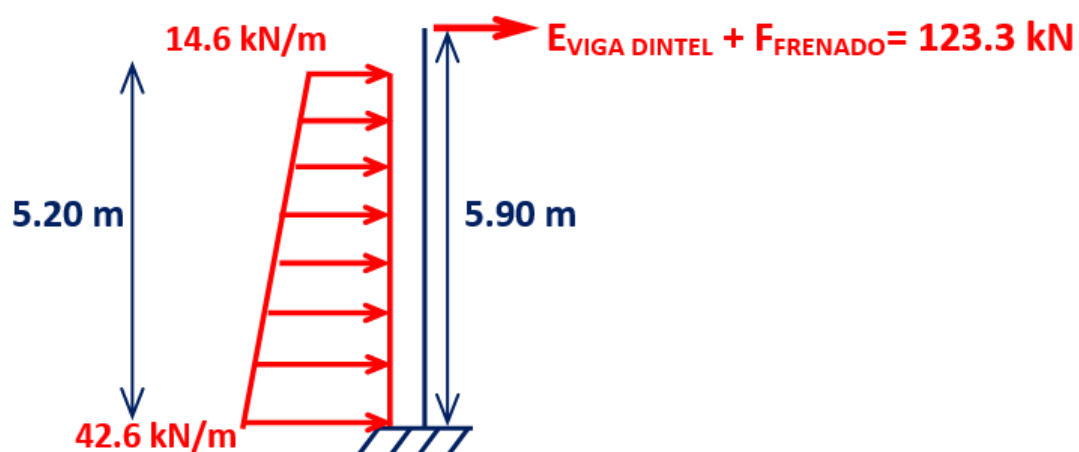
Cada pantalla recibirá entonces por el empuje de la viga dintel 107 kN .

El efecto del empuje en las pantallas será afectado por un factor igual a 3, debido a que no se puede considerar que solamente empuje el suelo en contacto con la pantalla en sus 0.30 m , sino también las partes linderas.

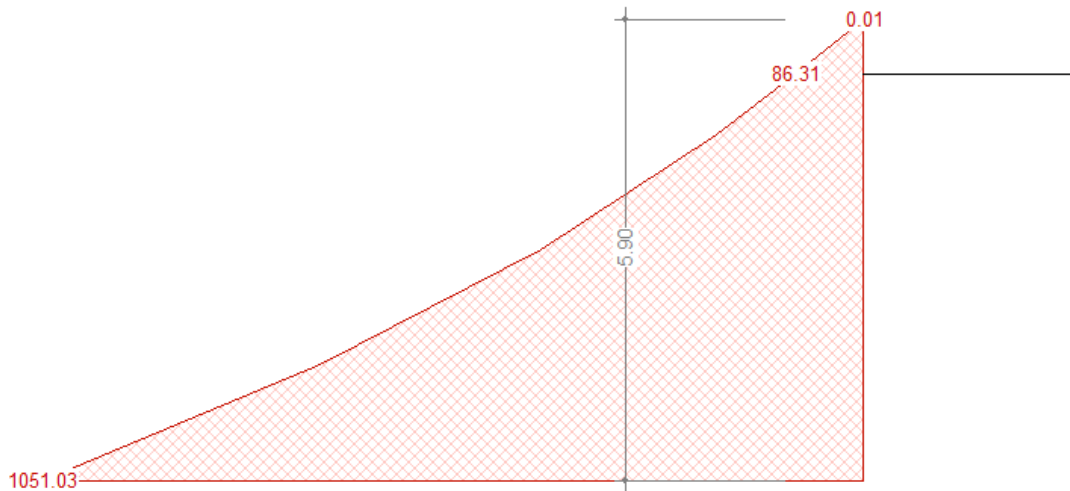
Los valores de empuje de suelo en las pantallas de espesor $e=0.30 \text{ m}$ serán:

- En $z=2.14 \text{ m}$ se tendrá $q = 3 \cdot 16.2 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.30 \text{ m} = 14.6 \text{ kN/m}$.
- En $z=7.34 \text{ m}$ se tendrá $q = 3 \cdot 47.4 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.30 \text{ m} = 42.6 \text{ kN/m}$.

En definitiva, el esquema de cálculo en el sentido longitudinal para las pantallas es:



Los 5.20 m corresponden a la zona donde la pantalla deja de estar vinculada a la viga dintel. En el diagrama de momentos se indican los valores en la base y en cabeza (a 5.20 m del NCI).



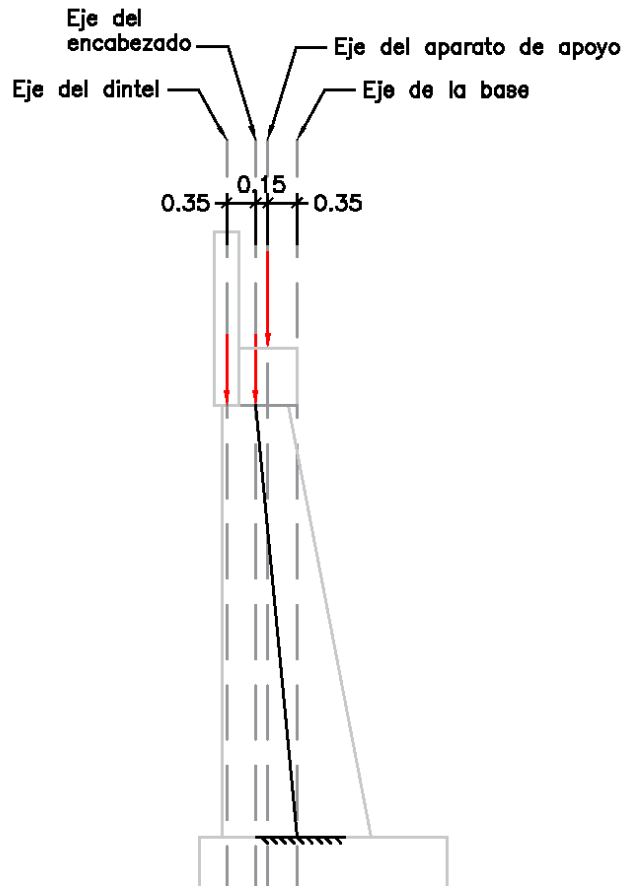
LONGITUDINAL

Esfuerzos verticales

- Descargas verticales de la superestructura por viga:
 - Cargas Permanentes: $R_{CP,SUP} = 360 \text{ kN}$;
 - Sobrecarga de Uso: $R_{SCU_SI\ MAX,SUP} = 640 \text{ kN}$; $R_{SCU_SI\ MIN,SUP} = -44 \text{ kN}$
- Descargas verticales de la losa de acceso (se asume un largo de influencia de 2.75 m):
 - Cargas Permanentes: $R_{CP,LA} = 158 \text{ kN}$;
 - Sobrecarga de Uso: $R_{SCU_SI\ MAX,LA} = 127 \text{ kN}$; $R_{SCU_SI\ MIN,LA} = 0 \text{ kN}$
- PP pilar y viga dintel superior:
 - $PP_{PILAR,SECO} = 25 \text{ kN/m}^3 * (0.80 \text{ m} + 1.80 \text{ m}) / 2 * 0.30 \text{ m} * 5.20 \text{ m} = 50.7 \text{ kN}$
 - $PP_{PILAR,HUMEDO} = 15 \text{ kN/m}^3 * (0.80 \text{ m} + 1.80 \text{ m}) / 2 * 0.30 \text{ m} * 5.20 \text{ m} = 30.4 \text{ kN}$
 - $PP_{VDINTEL} = 25 \text{ kN/m}^3 * 20.23 \text{ m}^2 * 0.30 \text{ m} = 151.7 \text{ kN}$
 - $PP_{ALETA} = 25 \text{ kN/m}^3 * 1.43 \text{ m}^2 * 0.30 \text{ m} = 11 \text{ kN}$
 - $PP_{ENCABEZADO} = 25 \text{ kN/m}^3 * 0.60 \text{ m} * 0.70 \text{ m} * 1.00 \text{ m} = 11 \text{ kN}$

La forma del estribo en alzado, hace que el eje de la pila no sea vertical. Esto, sumado a la excentricidad superior de la descarga, hacen que las descargas verticales y el peso propio de la pila generen esfuerzos longitudinales a considerar.

Estos momentos se pueden obtener a partir de las fuerzas aplicadas en cada posición, y las excentricidades entre estas y los puntos de análisis. Para maximizar los momentos longitudinales, se deben mayorar o minorar las fuerzas verticales según si la excentricidad genere un momento de igual signo que los esfuerzos horizontales o si genere un momento de signo opuesto. Estas fuerzas, de forma de maximizar los momentos longitudinales en ELU para el estudio de la pila, serán:



- En el eje del aparato de apoyo:
 - Caso 1 (máx M_{long} en cabeza): $1.35 \cdot R_{CP,SUP} + 1.5 \cdot R_{SCU_SI\ MAX,SUP} = 1.35 \cdot 360\text{ kN} + 1.5 \cdot 640\text{ kN} = 1446\text{ kN}$
 - Caso 2 (máx M_{long} en la base): $1.00 \cdot R_{CP,SUP} + 1.5 \cdot R_{SCU_SI\ MIN,SUP} = 1.00 \cdot 360\text{ kN} + 1.5 \cdot (-44\text{ kN}) = 294\text{ kN}$
- En el eje del encabezado y de la cabeza de la pila:
 - Caso 1 (máx M_{long} en cabeza): No generan momentos
 - Caso 2 (máx M_{long} en base): $1.00 \cdot (PP_{ENCABEZADO}) = 1.00 \cdot (11\text{ kN}) = 11\text{ kN}$
- En el eje del dintel:
 - Caso 1 (máx M_{long} en cabeza): $1.00 \cdot (R_{CP,LA}/2 + PP_{VDINTEL}/2 + PP_{ALETA}) = 1.00 \cdot (158\text{ kN}/2 + 152\text{ kN}/2 + 11\text{ kN}) = 166\text{ kN}$

- Caso 2 (máx M_{long} en base): $1.00 \cdot (R_{CP,LA}/2 + PP_{VDINTEL}/2 + PP_{ALETA}) = 1.00 \cdot (158\text{kN}/2 + 152\text{kN}/2 + 11\text{kN}) = 166\text{ kN}$
- Distribuida en la barra:
 - Caso 1 (máx M_{long} en cabeza): No generan momentos
 - Caso 2 (máx M_{long} en base): $1.00 \cdot PP_{PILAR,HÚMEDO}$, entonces $M=7.5\text{ kNm}$ (momento obtenido de un modelo de barras)

Considerando las excentricidades de la figura, se tiene:

- $M_{C.VERT,CAB,ELU} = 0.15\text{m} \cdot 1446\text{ kN} + (-0.35\text{m}) \cdot 166\text{ kN} = 159\text{ kNm}$
- $M_{C.VERT,BASE,ELU} = (-0.35\text{m}) \cdot 294\text{ kN} + (-0.50\text{m}) \cdot 11\text{ kN} + (-0.85\text{m}) \cdot 166\text{ kN} - 7.5\text{ kNm} = -257\text{ kNm}$

Solicitaciones en pilas de estribo

ELU PILAR EN LA BASE

- $N_{MAX,d\text{ PILAR}} = 1.35 \cdot (R_{CP,SUP} + 0.5 \cdot R_{CP,LA} + PP_{PILAR,SECO} + 0.5 \cdot PP_{VDINTEL} + PP_{ENCABEZADO}) + 1.5 \cdot (R_{SCU_SI\text{ MAX,SUP}} + 0.5 \cdot R_{SCU_SI\text{ MAX,LA}} + N_{HOR}) = 1.35 \cdot (360\text{ kN} + 0.5 \cdot 158\text{ kN} + 50.7\text{ kN} + 0.5 \cdot 151.7\text{ kN} + 11\text{ kN}) + 1.5 \cdot (640\text{ kN} + 0.5 \cdot 127\text{ kN} + 16.7\text{ kN}) = 1859\text{ kN}$
- $N_{MIN,d\text{ PILAR}} = 1 \cdot (R_{CP,SUP} + 0.5 \cdot R_{CP,LA} + PP_{PILAR,HUMEDO} + 0.5 \cdot PP_{VDINTEL} + PP_{ENCABEZADO}) + 1.5 \cdot (R_{SCU_SI\text{ MIN,SUP}} + 0.5 \cdot R_{SCU_SI\text{ MIN,LA}} - N_{HOR}) = 1 \cdot (360\text{ kN} + 0.5 \cdot 158\text{ kN} + 30.4\text{ kN} + 0.5 \cdot 151.7\text{ kN} + 11\text{ kN}) + 1.5 \cdot (-44\text{ kN} + 0 - 16.7\text{ kN}) = 465\text{ kN}$
- $M_{LONG\text{ PILAR}} = 1.5 \cdot 1051\text{ kNm} - 257\text{ kNm} = 1320\text{ kNm}$
- $M_{TRANS\text{ PILAR}} = 1.5 \cdot 66.2\text{ kNm} = 99\text{ kNm}$

ELU PILAR EN CABEZA

- $N_{MAX,d\text{ PILAR}} = N_{MAX,d\text{ PILAR,BASE}} - 1.35 \cdot (PP_{PILAR,SECO}) = 1859\text{ kN} - 1.35 \cdot (50.7\text{ kN}) = 1791\text{ kN}$
- $N_{MIN,d\text{ PILAR}} = N_{MIN,d\text{ PILAR,BASE}} - 1 \cdot (PP_{PILAR,HUMEDO}) = 465\text{ kN} - 1 \cdot (30.4\text{ kN}) = 435\text{ kN}$
- $M_{LONG\text{ PILAR}} = 1.5 \cdot 86 + 1.5 \cdot 159\text{ kNm} = 368\text{ kNm}$
- $M_{TRANS\text{ PILAR}} = 1.5 \cdot 50.2\text{ kNm} = 75\text{ kNm}$

Las acciones en ELS se calculan de forma análoga.

En el estudio de estos pilares, despreciaremos los efectos de segundo orden dado que está contenido dentro del revestimiento. Las excentricidades de primer orden son mayores que los mínimos necesarios.

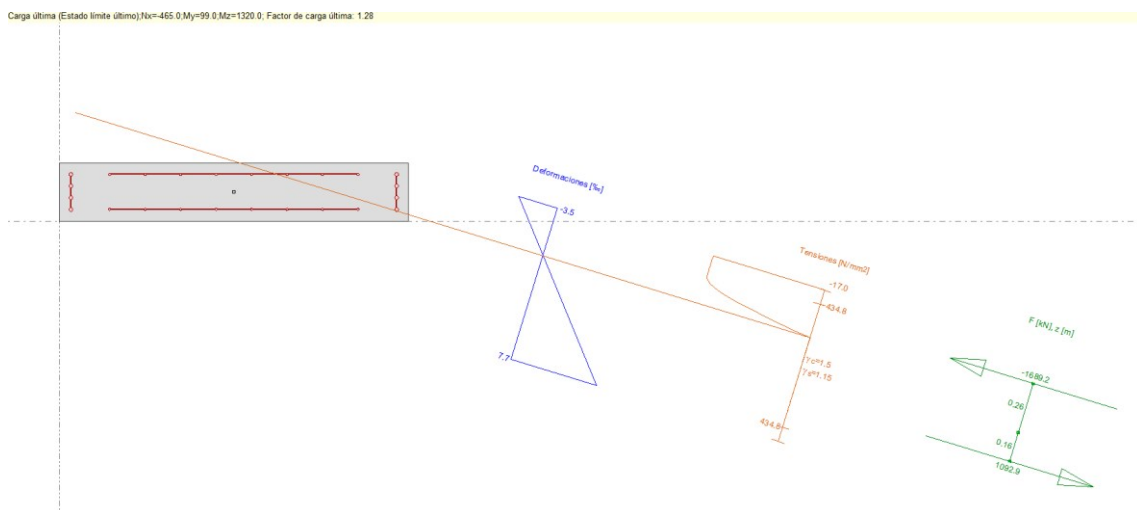
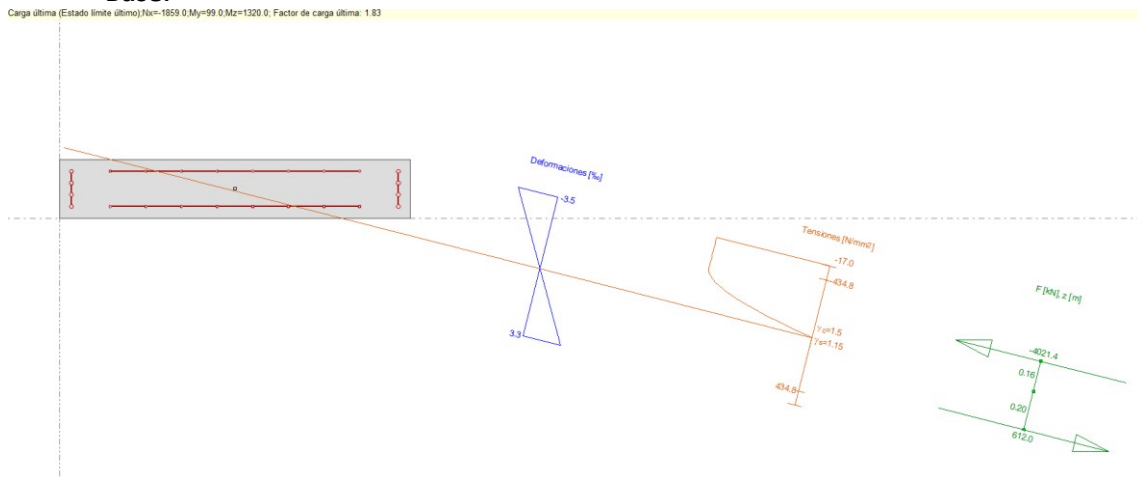
Para el análisis de la base, se considera:

Caso	Nd (kN)	M _{LONGITUDINAL} (kNm)	M _{TRANSVERSAL} (kNm)
Base - N _{MAX}	1859	1320	99
Base - N _{MIN}	465	1320	99
Cabeza - N _{MAX}	1791	368	75
Cabeza - N _{MIN}	435	368	75

Observación: El estudio realizado fue teniendo en cuenta configuraciones no estrictamente concomitantes, pero del lado de la seguridad. Se pueden estar considerando momentos flectores a los que se le están aplicando coeficientes de seguridad que no son consistentes con los de las directas asumidas. Los resultados correctos se pueden obtener fácilmente con un modelo de barras bidimensional o tridimensional, y la aplicación de combinaciones individuales.

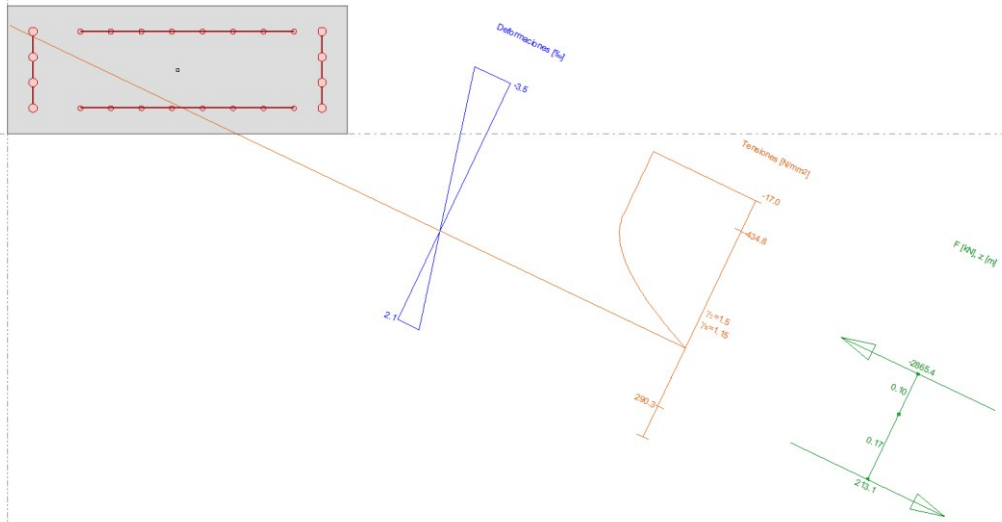
Planteando un hormigón C30/37 y una armadura ADN500 con 4φ20 en cada una de las caras de 30 cm de espesor y 8φ12 en cada una de las de 80-180 cm, se obtienen los siguientes coeficientes de seguridad:

- Base:



Cabeza:

Carga última (Estado límite último) $N_x = -1791.0$, $M_y = 75.0$, $M_z = 368.0$, Factor de carga última: 1.48



Carga última (Estado límite último) $N_x = -435.0$, $M_y = 75.0$, $M_z = 368.0$, Factor de carga última: 1.50

