

NOTA TÉCNICA

ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	CONSIDERACIONES PREVIAS	3
3	GEOMETRÍA	3
3.1	PLATAFORMA	3
3.2	ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS	9
4	CARGAS DE DISEÑO	11
4.1	CARGAS MUERTAS DE LAS ESTRUCTURAS	11
4.2	BRAZOS DE CARGA	12
4.2.1	COMBINACIONES DE DISEÑO DE BRAZOS	12
4.2.2	COEFICIENTE SÍSMICO.....	13
4.2.3	BRAZOS NUEVOS.....	14
4.2.4	BRAZOS EXISTENTES.....	15
5	COMBINACIONES	17
6	CÁLCULOS	18
6.1	HIPÓTESIS DE PARTIDA	18
6.2	MODELO DE CÁLCULO	21
6.3	COMPROBACIÓN DE LA LOSA	23
6.4	COMPROBACIÓN DE LAS VIGAS	27
7	CONCLUSIONES	29

NOTA TÉCNICA. ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

ANEXOS:

ANEXO 1. DATOS DE LOS BRAZOS DE CARGA MU1-LA-001/002

ANEXO 2. MEMORIA DE CÁLCULO DE LOS BRAZOS DE CARGA

ANEXO 3. ANCLAJE PROPUESTO

ANEXO 4. PLANOS MUELLE EXISTENTE

1 INTRODUCCIÓN

Este informe tiene como objeto la verificación de la losa existente del muelle MU1 solicitado por el EMPLEADOR y su Representante ante las nuevas cargas debidas a los nuevos brazos de carga MU1-LA-001 & 002, a instalar por El Contratista (TRT).

No ha sido posible obtener la memoria de cálculo de este muelle, por lo que se emite el presente informe como apoyo para demostrar que la losa es capaz de resistir las nuevas solicitudes.

El análisis de los pilotes queda fuera del alcance del presente informe.

2 CONSIDERACIONES PREVIAS

Para poder evaluar la resistencia de la losa ha sido necesario adoptar una serie de premisas debido a la ausencia de la memoria de cálculo del muelle y de la escasa información encontrada sobre su construcción.

No obstante, todas las hipótesis se basan en la información encontrada sobre el muelle y están explicadas a lo largo del informe. Toda la documentación de la que se ha extraído información está recogida en los correspondientes Anexos.

Con carácter general se adopta la premisa de que se el muelle se considera que está en buen estado y no sufre daños que supongan una reducción de su resistencia teórica inicial.

3 GEOMETRÍA

3.1 PLATAFORMA

Los planos sobre los que se ha deducido la geometría de la plataforma se recogen en el Anexo 4. Todos ellos indican "Plano tal como fue construido", por lo que se considera que es la geometría que tiene el muelle en la actualidad y no ha sufrido modificaciones posteriores.

Los dos nuevos brazos de carga se van a situar en el área delimitada por las alineaciones de pilotes "O" y "S".

NOTA TÉCNICA. ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

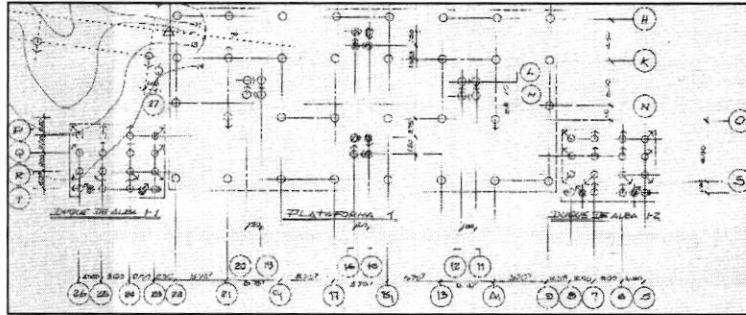


Figura 1. Alineaciones de pilotes en la plataforma y área de los brazos de carga

La plataforma está soportada por pilotes metálicos con capiteles de hormigón armado en cabeza. Sobre dichos capiteles se apoya una retícula de vigas, también de hormigón armado. Las uniones de todos estos elementos son nudos de hormigón armado, por lo que los encuentros pilote-vigas son empotramientos.

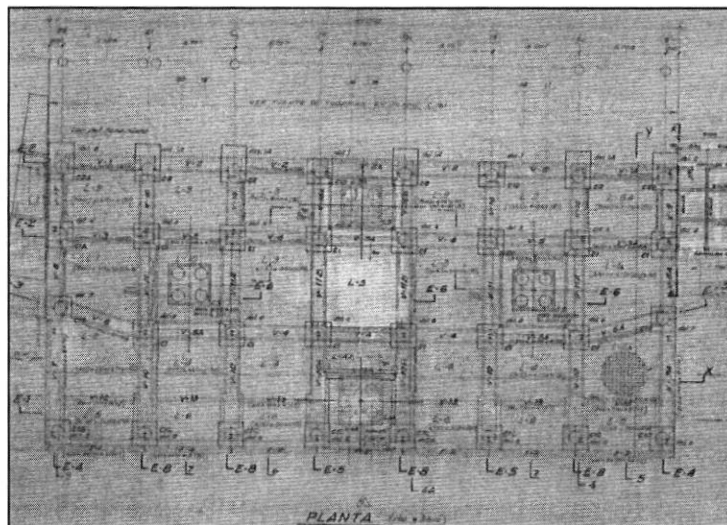


Figura 2. Disposición en planta de capiteles, vigas y losas en la plataforma

Entre las vigas hay losas prefabricadas sobre las cuales hay una capa de hormigón ejecutado in situ, de forma que el canto total es de 350 mm.

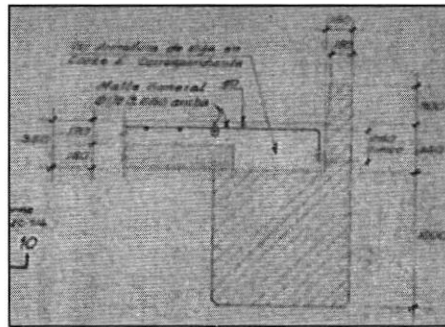


Figura 3. Detalle de la losa formada por prefabricado de 180 mm y capa in situ de 170 mm

La zona donde están situados los brazos de carga tiene un espesor mayor. La siguiente figura muestra las secciones tipo de la zona donde se ubican los brazos de carga.

NOTA TÉCNICA. ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

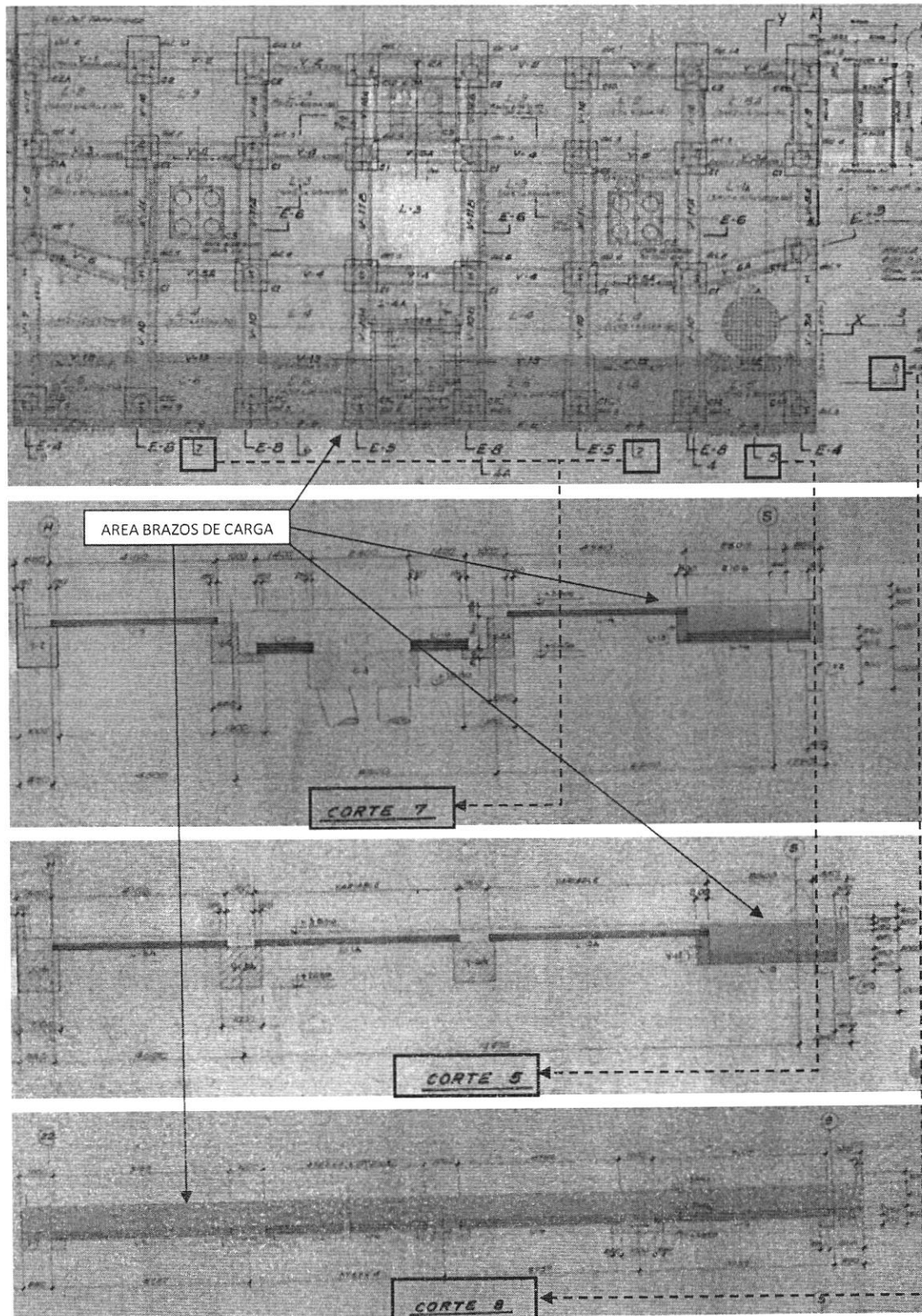


Figura 4. Secciones tipo de la losa en la zona de los brazos de carga

NOTA TÉCNICA. ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

De acuerdo al Corte 8, en la zona donde se sitúan los brazos de carga el espesor total es de $800 + 250 = 1050$ mm.

No obstante, el espesor de losa a considerar para los cálculos de la resistencia depende de la forma en que esté armado el conjunto prefabricado+hormigón in situ.

Los únicos detalles del armado de las losas prefabricadas corresponden a la zona reforzada con pilotes, por lo que se hace la hipótesis de que el armado de esa zona es igual en todo el área de los brazos (ver Figura 5).

El prefabricado en esa área tiene 250 mm de canto a juzgar por la geometría de la viga V-13A. El mismo plano indica que los cercos y la malla inferior de la parte hormigonada in situ se coloca sobre el prefabricado (ver Nota de la Figura 5), por lo que la zona de anclaje de los brazos de carga no funciona solidariamente con el prefabricado y resulta erróneo considerar un espesor de losa de 1050 mm. Debido a la disposición de la armadura la losa trabaja en realidad con un canto de 800 mm.

Este espesor se da en una anchura de 3050 mm. A falta de más información, se considera que se extiende a lo largo de todo el frente del muelle.

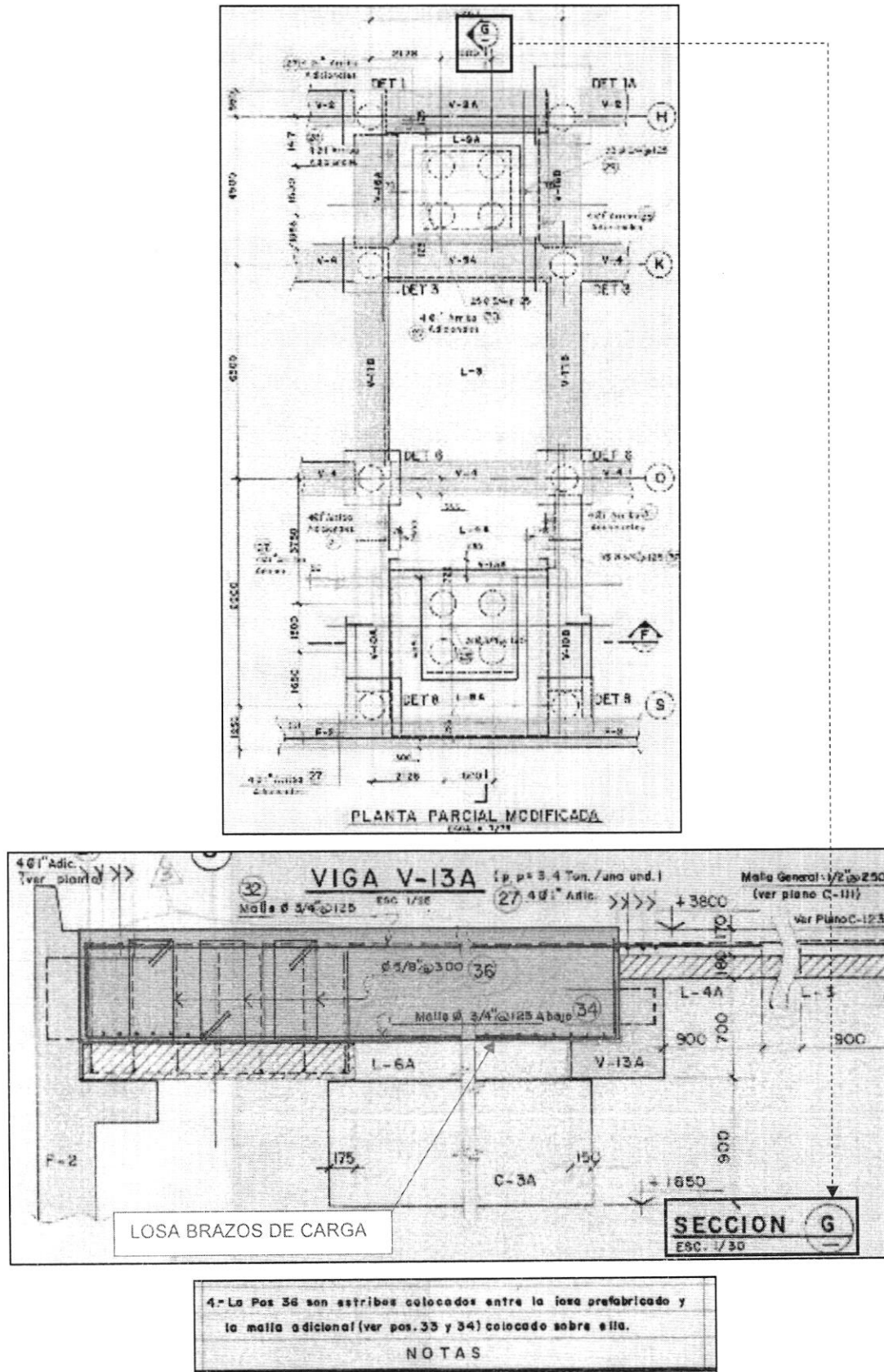


Figura 5. Detalle del armado de la losa en la zona reforzada con pilotes

NOTA TÉCNICA. ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

En cuanto a la posición de los brazos dentro de la estructura, se sabe que el brazo MU1-LA-002 se sitúa a 2,50 m del borde de la plataforma lado mar y a 7,50 m del borde lado Noreste.

Con esto y en base a la geometría descrita anteriormente se obtiene la ubicación de los brazos de carga, reflejada a continuación.

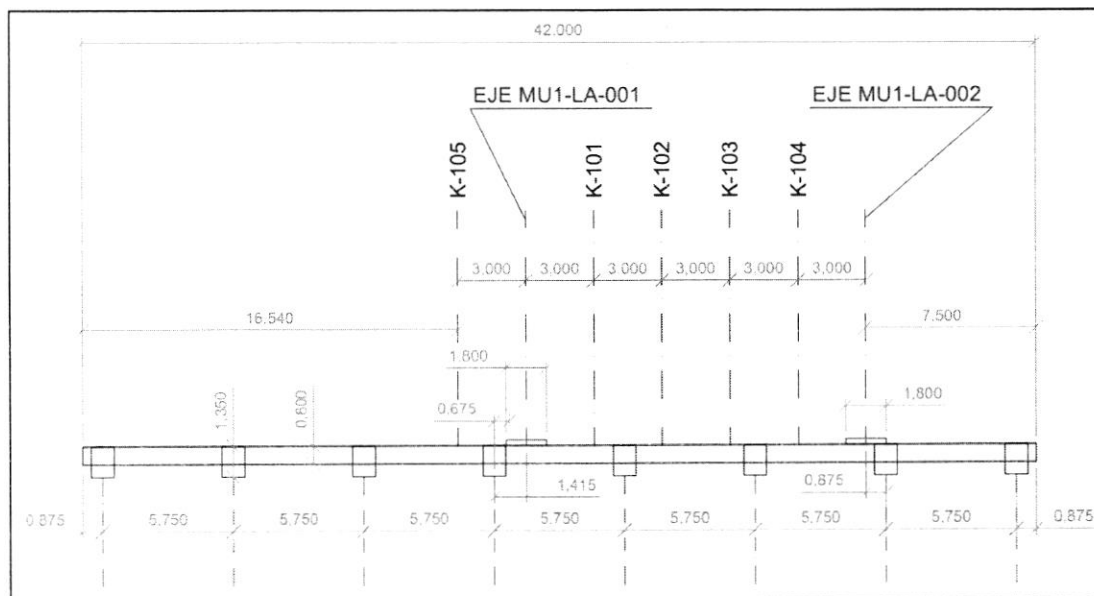


Figura 6. Sección tipo de la losa y ubicación de los brazos

3.2 ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS

La propuesta de anclaje para los nuevos brazos MU1-LA-001/002 es la reflejada en la Instrucción de Ingeniería EI-02070-MU-CIV-DRW-701-R00-0001. El Anexo 3 recoge dicha Instrucción.

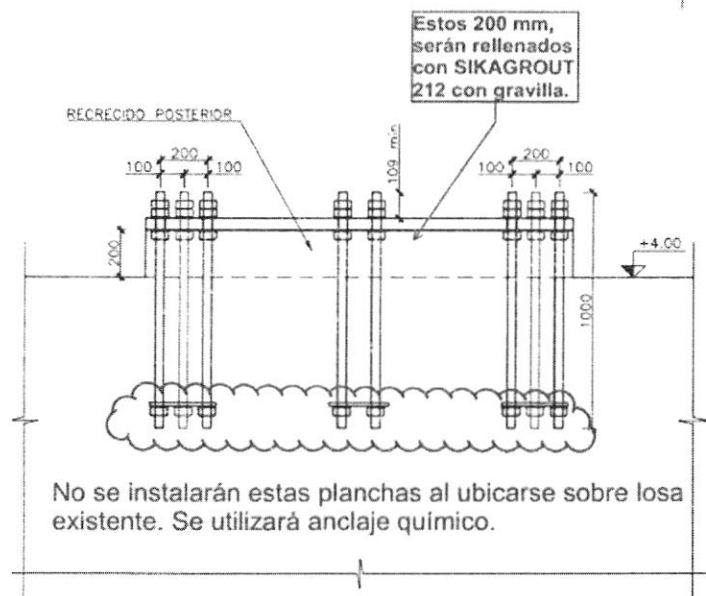
A continuación se muestra la descripción básica del anclaje de pernos.

NOTA TÉCNICA. ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

En lugar de con planchas en su parte inferior, puesto que la losa es existente, estos serán instalados mediante adhesivo epóxico, manteniendo las dimensiones y empotramiento dados en el detalle anterior. Así, la instrucción será:

"Repicar superficie de la losa existente hasta descubrir los aceros, antes de taladrar, limpiar y rellenar con resina epóxica HIT RE 500 V3 antes de insertar pernos M36 galvanizados con Lemp = 640 mm; P = 360 mm; Ltotal = 1000 mm."

Una vez colocados los pernos e instalados los brazos de carga, se realizará un recrecido posterior de 200 mm bajo la placa del brazo de carga, mediante la utilización SIKAGROUT 212 con gravilla de 10 mm de tamaño máximo, de acuerdo a lo indicado en la ficha técnica del producto (adjunta).



La aplicación del GROUT se extenderá 100 mm hacia el exterior del borde de la placa, instalando además dos conjuntos de cercos de 1/2 " alrededor de los pernos, estando el primero a 50 mm del NSP y el segundo a 100 mm.

Figura 7. Detalle de los anclajes previstos para los brazos de carga

El anclaje planteado en la Figura 7 penetra al menos 640 mm en el hormigón, por lo que, a falta de más información, la losa tiene espesor suficiente para ejecutar los anclajes propuestos.

4 CARGAS DE DISEÑO

En el muelle se sitúan varias estructuras y equipos de los cuales no se tiene apenas información, como los brazos de carga existentes, soportes de tuberías y la plataforma superior que rodea a los brazos de carga, entre otros.

Por ello la resistencia de la losa se ha estudiado considerando únicamente las siguientes cargas:

- Peso propio de la estructura de hormigón armado
- Peso propio de la plataforma metálica que rodea los brazos
- Cargas de los brazos existentes y de los nuevos

4.1 CARGAS MUERTAS DE LAS ESTRUCTURAS

Las estructuras que se consideran en los cálculos son las siguientes:

- Losa y vigas. Se adopta el peso específico del hormigón.
- Plataforma metálica. De acuerdo a los planos del Anexo 4 los pilares de la plataforma coinciden con los ejes de los pilotes, por lo que la carga se transmite directamente a éstos y no a la losa. En consecuencia, no es necesario incluirla en los cálculos de resistencia de la losa.

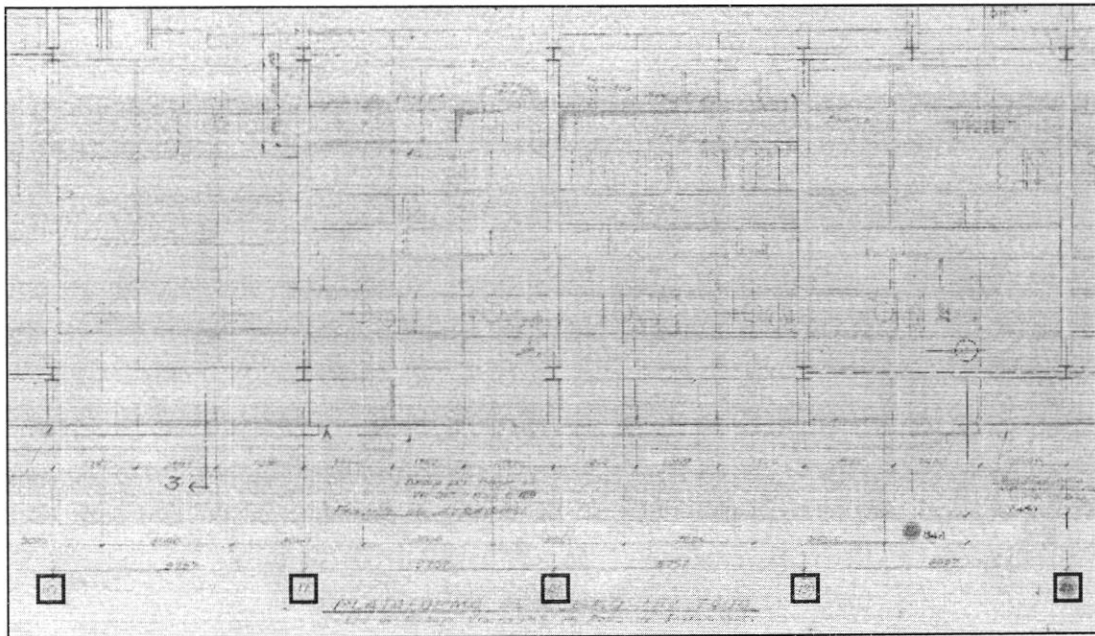


Figura 8. Planta de la plataforma metálica

4.2 BRAZOS DE CARGA

Las cargas dadas por Kanon para los dos nuevos brazos no diferencian a priori entre carga muerta, viento y sismo, por lo que es necesario obtener estos valores. Para ello se deben conocer las combinaciones de carga bajo las cuales se diseñaron los brazos y realizar un breve análisis del coeficiente sísmico.

4.2.1 COMBINACIONES DE DISEÑO DE BRAZOS

De acuerdo al documento del Anexo 2, el diseño de los brazos de carga ha seguido las indicaciones de la OCIMF, que establece que la carga sísmica sólo tiene lugar cuando el brazo está sin operar y recogido en posición de espera (stored position), por lo que únicamente se combina con la carga muerta.

Table 17 - Design Load Cases

Case No	Mode	Loading Combination	Allowable Stress (s) KxSd
1	Stored	DL + WL _S	1.2 Sd
2	Stored	DL + EL	1.2 Sd
3	Manoeuvring	DL + WL _O	0.9 Sd
4	Connected	DL + WL _O	0.8 Sd
5	Connected	DL + FL + PL + WL _O	0.8 Sd
6	Connected	DL + FL + PL + WL _O + TL	1.5 Sd
7	Emergency Release	DL + WL _O	1.1 Sd
8	Emergency Release	DL + FL + PL + WL _O	1.1 Sd
9	Maintenance	DL + WL _M	0.9 Sd
10	Hydrostatic Test	DL + FL + PL _T + WL _O	1.3 Sd

DL	=	Dead Load
EL	=	Earthquake Load
FL	=	Fluid Load
PL	=	Design Pressure Load
PL _T	=	Test Pressure Load
TL	=	Thermal Load
WL _S	=	Wind Load in Stored Mode
WL _O	=	Wind Load in Operating Mode
WL _M	=	Wind Load in Maintenance Mode

Figura 9. Combinaciones de diseño de los brazos de carga

4.2.2 COEFICIENTE SÍSMICO

Se considera que el coeficiente sísmico que se utilizó para el diseño de los brazos es de 0,72-g porque es lo que figura en los planos de ambos brazos (ver Anexo 1).

Maximum loads at the baseplate of the loading arm: - Without extra safety factors. - V [kN] deadload (DL) and fluid load (FL). - H [kN] windload (WL) worst direction and earthquake load (EL). - M [kNm] windload (WL) worst direction and earthquake load (EL).							Seismic factor: 0,72g Wind speed: 40 m/s	
Ident. no.	Tag no.	Rating	V (kN)	H (kN)	M (kNm)	MLA length (m)		
P152057A10	MU1-LA-001	10" - 150#	286	190	1525	9,75 x 10,0 x 9,5		
Revision 3 Revision 2 Revision 1			Check: 1-2-16 JH Drawn: 08-12-2015 VH Scale: 1 : 15 A2					
			Baseload diagram For MLA260					
			Drawing number: P152057A06 Revision: 0					

Maximum loads at the baseplate of the loading arm: - Without extra safety factors. - V [kN] deadload (DL) and fluid load (FL). - H [kN] windload (WL) worst direction and earthquake load (EL). - M [kNm] windload (WL) worst direction and earthquake load (EL).							Seismic factor: 0,72g Wind speed: 40 m/s	
Ident. no.	Tag no.	Rating	V (kN)	H (kN)	M (kNm)	MLA length (m)		
P152057B10	MU1-LA-002	10" - 150#	419	267	2500	9,75 x 10,0 x 9,5		
Revision 3 Revision 2 Revision 1			Check: 07-04-2016 JH Drawn: 21-03-2016 JH Scale: 1 : 15 A2					
			Drawing updated after design update Baseload diagram For MLA260					
			Drawing number: P152057B06 Revision: 1					

Figura 10. Coeficiente sísmico indicado en los planos de los brazos de carga

Cabe señalar que el documento V-020700222-K196-MU1-LA-002-0001-B (ver Anexo 2) es una breve memoria de cálculo de las cargas de diseño del brazo MU1-LA-002 que contiene un cálculo de la carga sísmica según la ASCE 7-10. Según dicho cálculo se obtiene un coeficiente sísmico de 0,315.

Sin embargo, todo indica que en el diseño final se aplicó la norma peruana E.030, que calcula la aceleración espectral S_a con la siguiente expresión:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

Donde:

- Z es el factor de zona, que se interpreta como el valor máximo de aceleración con una probabilidad del 10% de ser superado en 50 años. En las bases de diseño del proyecto se indica que $Z = 0,4$
- U es el factor de uso o importancia. Las bases de diseño del proyecto establecen que $U = 1,5$
- C es el coeficiente de amplificación sísmica, que se interpreta como el factor de amplificación de la respuesta estructural respecto de la aceleración en el suelo. En el caso del brazo de carga, ubicado sobre una estructura y no sobre el terreno, este factor no sería de aplicación, por lo que se considera un valor de 1,0.
- S es el factor de suelo. Las mencionadas bases de diseño especifican que el suelo es tipo S_2 y por tanto $S = 1,2$
- R es el coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas. La norma peruana indica expresamente que este coeficiente no se aplica a estructuras de tipo péndulo invertido, como sería el caso de los brazos de carga. Por tanto, su valor es 1,0
- g es la aceleración de la gravedad, $9,8 \text{ m/s}^2$

Así, la aceleración espectral resultante es $0,4 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot g = 0,72 \cdot g$ tal y como muestran los planos.

4.2.3 BRAZOS NUEVOS

Las cargas máximas para los brazos MU1-LA-001/002 son las indicadas por Kanon en sus planos (ver Anexo 1). Para identificar a qué hipótesis corresponden se hace un análisis de los datos de cada brazo:

- MU1-LA-001: De acuerdo al documento del Anexo 2, aproximadamente un 85% de la carga total vertical (V) corresponde a la carga muerta (DL). Así, siguiendo la carga vertical dada por Kanon (ver Figura 10), se tiene una carga muerta de $286 \cdot 0,85 = 243,1 \text{ kN}$. La carga sísmica horizontal (EL) será $243,1 \cdot 0,72 = 175 \text{ kN}$, lo que supone una carga similar a la indicada en el plano ($H = 190 \text{ kN}$, un 8% de diferencia). En base a esto se concluye que la carga sísmica es más desfavorable que el viento para el brazo MU1-LA-001.
- MU1-LA-002: Procediendo de manera análoga, se tiene una carga muerta de $419 \cdot 0,85 = 356,15 \text{ kN}$. La carga sísmica horizontal (EL) será $356,15 \cdot 0,72 = 256,4 \text{ kN}$.

NOTA TÉCNICA. ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

kN, lo que supone casi la misma carga que la indicada en el plano ($H = 267$ kN, un 4% de diferencia). Con estos resultados se concluye que la carga sísmica es más desfavorable que el viento para el brazo MU1-LA-002.

Dado que los mayores momentos y cargas horizontales se dan para el caso sísmico, es necesario diferenciar entre carga muerta (DL) y carga de operación (DL+FL), que es lo que da el fabricante en el plano. Considerando que aproximadamente el 85% de la carga vertical dada por Kanon corresponde a la carga muerta del brazo se obtienen las cargas muertas de cada brazo. Así, las cargas de los dos brazos son las siguientes:

Item	Carga muerta (kN)	Sismo. Carga horizontal (kN)	Sismo. Momento flector (kNm)
MU1-LA-001	$286 \cdot 0,85 = 243$	190	1525
MU1-LA-002	$419 \cdot 0,85 = 356$	267	2500

En cuanto a la dirección del sismo, de acuerdo a la OCIMF las cargas sísmicas se considera que actúan en dirección paralela y perpendicular al frente del muelle. Por tanto, la carga H de la tabla puede ir en las dos direcciones. El efecto de la carga vertical del sismo se considera incluida en las cargas dadas por el fabricante.

4.2.4 BRAZOS EXISTENTES

Se desconocen las cargas de los brazos existentes, por lo que se adopta la información suministrada por el Representante del EMPLEADOR, según el cual los pesos de los brazos de carga existentes son los siguientes:

Tabla N°01: Esquema de Pesos de Brazos MU1				
Brazos Actuales			Brazos Proyectados y Futuros	
Item	Peso Actual	kg	Peso estimado	kg
01	Brazo K-100 10"Ø	21,433	Brazo K-100 10"Ø	24,713
02	Brazo K-101 6"Ø	18,505	No será reemplazado	----
03	Brazo K-102 10"Ø	21,433	Brazo K-102 10"Ø	24,713
04	Brazo K-103 10"Ø	21,433	Brazo K-103 10"Ø	24,713
05	Brazo K-104 12"Ø	27,431	Brazo K-104 12"Ø	29,343
06	Brazo K-106 6"Ø GLP	18,505	Brazo K-106 6"Ø	17,384
07	-----		Brazo Nuevo TR Diesel B5	24,200
08	-----		Brazo Nuevo TR Ácido Sulfúrico	33,200
Carga Total Kg.		128,740	Carga Total Futura Kg.	178,266

Las cargas sísmicas se estiman por semejanza con los brazos de Kanon en función de su peso muerto. Como se detalla más adelante en el apartado 6.3, los brazos generan unos esfuerzos en la losa muy puntuales, de forma que los brazos situados en otros

NOTA TÉCNICA. ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

vanos no tienen apenas efecto sobre la losa de los vanos adyacentes. Por tanto, es suficiente con conocer las cargas de los brazos ubicados en el mismo vano que los nuevos: K-101 y K-104 (ver Figura 6).

El brazo K-101 tiene un peso muy parecido al peso muerto del nuevo MU1-LA-001 (185 kN frente a 175 kN), por lo que se adoptan sus mismas cargas sísmicas. El brazo K-104 tiene un peso intermedio entre el MU1-LA-001 y el MU1-LA-002, por lo que se le asignan unas cargas sísmicas intermedias.

Así, las cargas finalmente adoptadas son las siguientes:

Item	Carga muerta (kN)	Sismo. Carga horizontal (kN)	Sismo. Momento flector (mkN)
K-100 10"φ	214	-	-
K-101 6" φ	185	190	1525
K-102 10" φ	214	-	-
K-103 10" φ	214	-	-
K-104 12" φ	274	229	2013
K-106 6" φ	185	-	-
MU1-LA-001	175	190	1525
MU1-LA-002	356	267	2500

5 COMBINACIONES

Se consideran las combinaciones sísmicas establecidas por las Bases de diseño del proyecto para estado límite último, reflejadas a continuación:

8.3 Para diseño de Estructuras de Hormigón por estados límites últimos

Las combinaciones de las cargas mayoradas indicadas en la Norma E.060 Concreto Armado, apartado 9.2 de Resistencia Requerida, son las siguientes:

$$1,4 \text{ CM} + 1,7 \text{ CV}$$

$$1,25 (\text{CM} + \text{CV} \pm \text{CVi})$$

$$0,9 \text{ CM} \pm 1,25 \text{ CVi}$$

$$1,25 (\text{CM} + \text{CV}) \pm \text{CS}$$

$$0,9 \text{ CM} \pm \text{CS}$$

$$1,4 \text{ CM} + 1,7 \text{ CV} + 1,7 \text{ CE}$$

$$0,9 \text{ CM} + 1,7 \text{ CE}$$

$$1,4 \text{ CM} + 1,7 \text{ CV} + 1,4 \text{ CL}$$

$$1,05 \text{ CM} + 1,25 \text{ CV} + 1,05 \text{ CT}$$

$$1,4 \text{ CM} + 1,4 \text{ CT}$$

Donde:

CM : cargas muertas

CV : cargas vivas

CVi : cargas de viento

CS : cargas de sismo

CE : peso y empuje lateral de los suelos

CL : peso y presión de líquidos

CT : cambios de temperatura, asentamientos diferenciales, retracción ó expansión

En base a lo anterior se han considerado las siguientes combinaciones de diseño:

Comb	Carga muerta	Sismo X(+)	Sismo X(-)	Sismo Y(+)	Sismo Y(-)
101	1.25	1.0	-	-	-
102	1.25	-	1.0	-	-
103	1.25	-	-	1.0	-
104	1.25	-	-	-	1.0
105	0.9	1.0	-	-	-
106	0.9	-	1.0	-	-
107	0.9	-	-	1.0	-
108	0.9	-	-	-	1.0

6 CÁLCULOS

6.1 HIPÓTESIS DE PARTIDA

La determinación de la resistencia de la losa requiere conocer la resistencia del hormigón y los detalles de su armado. No hay muchos datos de todo ello, por lo que se han realizado varias hipótesis basándose en los planos del Anexo 4. Dichas hipótesis se explican a continuación:

- Armado de la losa. La armadura general de la losa es una malla de $\phi 1/2"$ cada 250 mm según aparece en planos.

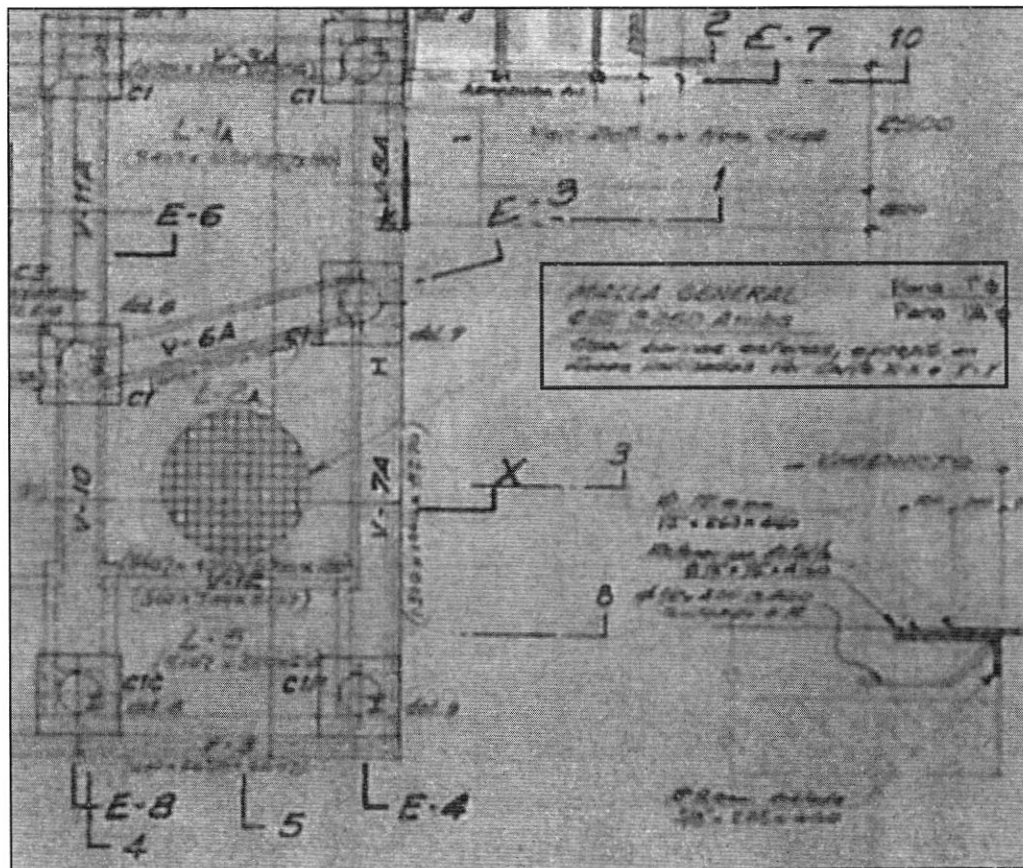


Figura 11. Detalle del armado superior de la losa

No obstante, como se ha justificado en el apartado 3.1, la zona de brazos en el vano reforzado con 4 pilotes tiene una malla de $\frac{3}{4}"$ cada 125 mm en ambas caras.

No se tiene información del armado en los demás vanos, por tanto se hace la hipótesis de que el armado en toda la zona de los brazos de carga es la misma y corresponde a una malla de $\frac{3}{4}"$ cada 125 mm en ambas caras.

NOTA TÉCNICA. ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

Para la armadura de cortante se considera, a falta de más información, la misma que la que tiene la zona reforzada con pilotes, indicada en la Figura 5: 6 ramas $\phi 5/8"$ cada 300 mm.

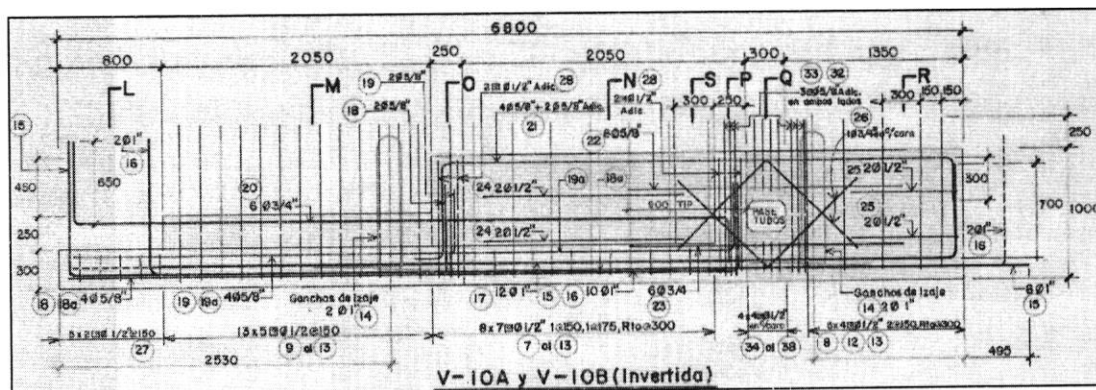
- Recubrimiento cara inferior de losa. No se tienen detalles de la zona de los brazos salvo de la zona reforzada con pilotes. A falta de más información se mantiene la hipótesis de que tiene el mismo armado y geometría en toda la zona de los brazos, por lo que el recubrimiento inferior de la losa que trabaja (800 mm) es el del diámetro de los cercos colocados directamente sobre el prefabricado, que es $5/8" = 16$ mm (ver Nota de la Figura 5).
- Recubrimiento cara superior de losa. No se tiene ninguna información, por lo que se considera el mínimo indicado por la norma E.060 en el apartado 7.7 para barras de $3/4"$, correspondiente a 50 mm:

(b) Concreto en contacto permanente con el suelo o la intemperie:		
Barras de $3/4"$ y mayores	50 mm
Barras de $5/8"$ y menores, mallas electrosoldadas	40 mm

Figura 12. Recubrimientos de la norma E.030

- Armado de vigas. Las vigas que tienen más influencia en la resistencia de la losa frente a las cargas de anclaje son las vigas V-7A, V-10, V-10A y V-10B. Las típicas son las V-10, de las que no se tiene información. Sin embargo sí se conoce el armado de las V-10A y V-10B. A falta de otra información se hace la hipótesis de que tienen el mismo armado.

Se observa que tiene cercos que salen del prefabricado para quedar embebidos tras el hormigonado in situ y arriostrar el armado superior de la losa. Esta disposición de armado hace que el prefabricado y la parte ejecutada in situ trabajen como un conjunto, con lo que, a todos los efectos, las vigas perpendiculares al frente de atraque tienen $300+250+800 = 1350$ mm de canto y 1000 mm de ancho.



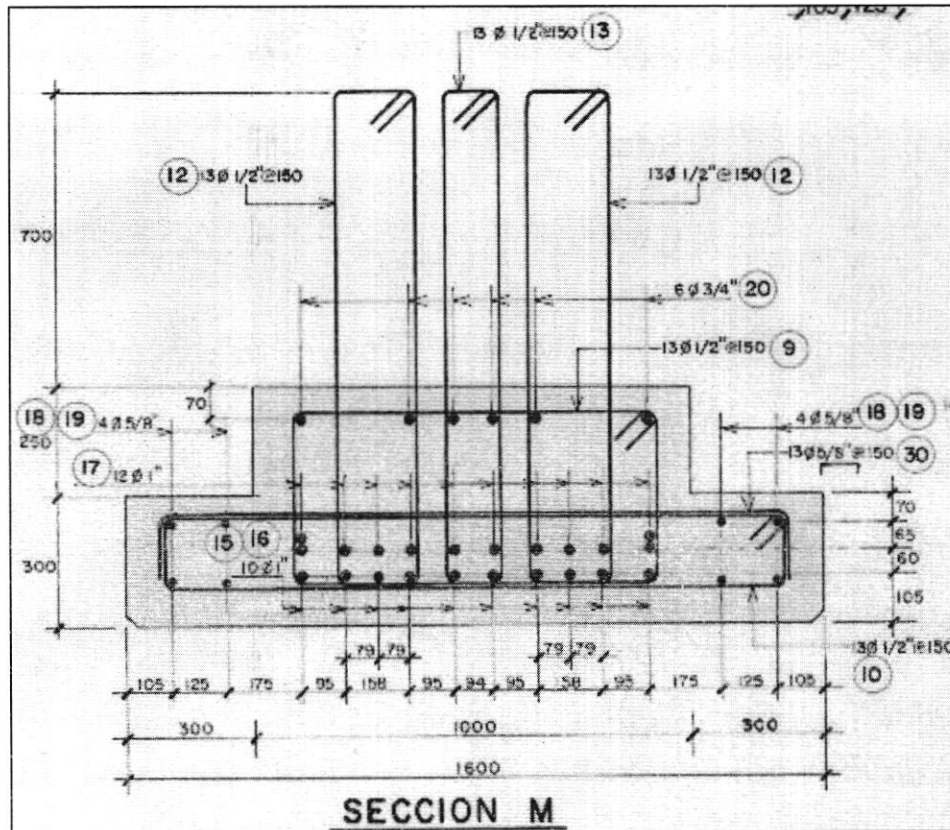


Figura 13. Detalles del armado de las vigas perpendiculares a la línea de atraque

En consecuencia, las vigas tienen un armado inferior de $22\phi 1'' + 4\phi 5/8''$ a una distancia media de la cara inferior de 135 mm, lo que da un recubrimiento inferior de $135 - 25/2 =$ con un recubrimiento de 122 mm.

El armado y recubrimiento superior corresponden a los de la losa. Considerando una anchura de viga de 1000 mm se tiene un armado de $8\phi 3/4''$ con un recubrimiento de 50 mm.

La viga está armada a cortante con 6 ramas $\phi 1/2''$ cada 150 mm.

- Calidad del acero de las armaduras. No se tiene información al respecto, por lo que se considera acero de límite elástico $F_{yd} = 420$ MPa
- Calidad del hormigón. Al igual que con el acero, tampoco se tiene información sobre este aspecto. Se adopta una resistencia del hormigón de 25 MPa

No se ha podido ver claramente la conexión de la losa con el prefabricado del cantil (ver Figura 14) por lo que no tener en cuenta la rigidez que este elemento pueda aportar a la losa de anclaje queda del lado de la seguridad.

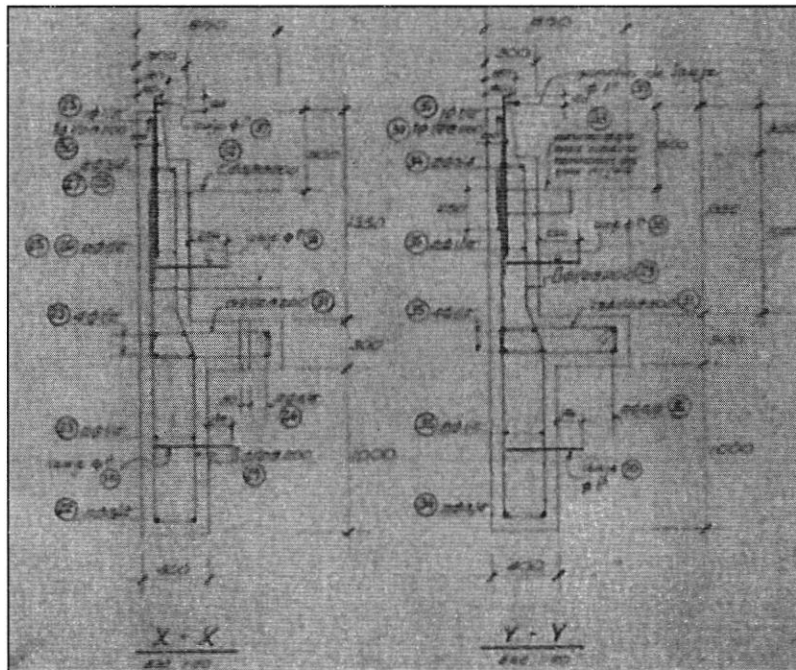


Figura 14. Detalle del prefabricado del cantil

6.2 MODELO DE CÁLCULO

El problema se simplifica a una losa de 800 mm de espesor y 3000 mm de ancho rigidizada cada 5,75 m por vigas de 1350 mm de canto y 1000 mm de ancho. El peso propio de los prefabricados se ha introducido como una carga uniforme.

Para incluir el comportamiento de las vigas y los apoyos en los pilotes se modela el resto de plataforma hasta la segunda fila de pilotes, con la losa de 350 mm de espesor y las vigas de la segunda fila.

Como se ha indicado anteriormente, al no ver claramente la conexión del prefabricado del cantil con la losa, no se tiene en cuenta su colaboración y por tanto no se modeliza.

Se modelan los vanos desde el eje C1 al eje 9, que son los que soportan los brazos.

Las cargas de los brazos se transmiten a través de vigas ficticias que se conectan a la losa mediante un marco también ficticio que coincide aproximadamente con la placa de anclaje real. Como se tienen más datos de los brazos nuevos, en estos dos se han detallado las conexiones para que coincidan con la posición de los grupos de pernos, 8 grupos en cada brazo. Las características ficticias son alta rigidez y densidad casi nula.

El modelo resultante queda como sigue:

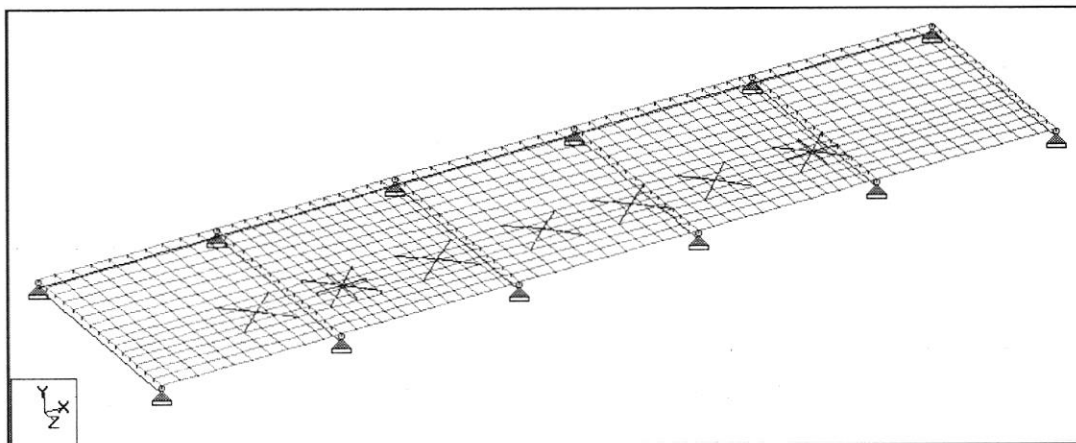


Figura 15. Modelo de cálculo

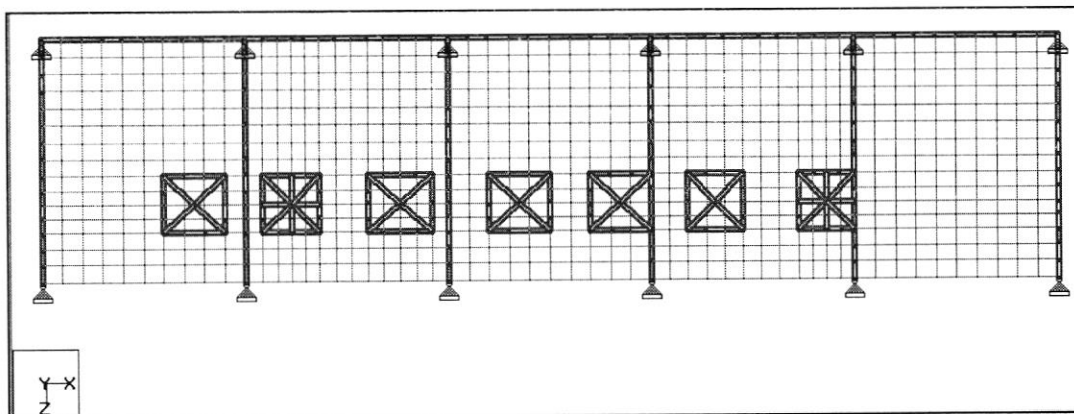


Figura 16. Modelo donde se destacan las vigas de hormigón y las ficticias

El modelo tiene las cargas descritas en el apartado 4.

Las gráficas de esfuerzos en la losa confirman que, en efecto, los esfuerzos causados por los anclajes son muy puntuales y su efecto en los vanos adyacentes es escaso.

NOTA TÉCNICA. ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

	Plate	L/C	SQX (local) kN/m2	SY (local) kN/m2	SX (local) kN/m2	SY (local) kN/m2	SXY (local) kN/m2	Mx kN-m/m	My kN-m/m	Mxy kN-m/m
Max Qx	372	101 01_(+X)	634.221	19.253	34.942	-3.415	25.211	209.620	35.180	19.474
Min Qx	372	106 02_(-X)	-571.246	-17.216	-9.566	-2.319	-17.786	-372.683	-77.611	-37.931
Max Qy	407	108 02_(-Z)	-30.075	410.084	28.682	60.354	36.262	76.959	195.771	67.310
Min Qy	407	103 01_(+Z)	-13.959	-536.518	-23.332	-63.310	-50.186	-87.023	-259.947	-89.433
Max Sx	240	104 01_(-Z)	51.294	8.894	67.468	-8.737	-7.583	20.328	2.871	-9.823
Min Sx	209	104 01_(-Z)	141.111	-20.488	-106.038	-20.339	-2.540	-18.730	-14.536	-14.892
Max Sy	407	108 02_(-Z)	-30.075	410.084	28.682	60.354	36.262	76.959	195.771	67.310
Min Sy	423	104 01_(-Z)	13.000	-11.145	-11.495	-85.870	-21.357	-4.011	-27.102	-21.313
Max Sx	362	101 01_(+X)	-45.835	155.334	-14.031	-10.928	54.873	35.237	-22.711	86.643
Min Sx	407	102 01_(-X)	29.342	-286.951	-25.139	-27.884	-63.491	-58.387	-111.618	-84.565
Max Mx	372	105 02_(+X)	623.969	18.922	30.811	-2.481	24.003	236.165	42.087	22.479
Min Mx	372	102 01_(-X)	-560.995	-16.885	-5.435	-3.253	-16.577	-399.229	-84.518	-40.936
Max My	407	108 02_(-Z)	-30.075	410.084	28.682	60.354	36.262	76.959	195.771	67.310
Min My	407	103 01_(+Z)	-13.959	-536.518	-23.332	-63.310	-50.186	-87.023	-259.947	-89.433
Max Mx	362	101 01_(+X)	-45.835	155.334	-14.031	-10.928	54.873	35.237	-22.711	86.643
Min Mx	407	103 01_(+Z)	-13.959	-536.518	-23.332	-63.310	-50.186	-87.023	-259.947	-89.433

La comprobación a momento de acuerdo a la norma ACI 318 da como resultado que la losa tiene los cercos necesarios para resistir los cortantes calculados.

Slab Thickness (t)	800 mm	Compressive Strength of Concrete (fc')	25 MPa
Base Width (bw)	1000 mm (meter strip)	Yield Strength of Secondary Rebars (fyt)	420 MPa
		Aplicable CODE:	ACI 318-14
CRITICAL SHEARING STRESS (PLATE STRESS)			
DUE TO PLATE STRESS Vu (kPa)			
	PlateNo	LC	VuX (kPa) VuY (kPa) VuX (kN/m) VuY (kN/m)
Cutting Plane @ X-Axis (SQX)	372	101 01_(+X)	634 19 507 15
Cutting Plane @ Y-Axis (SQY)	407	103 01_(+Z)	-14 -537 11 429
Combined Plane	372	101 01_(+X)	634 19 507 15
ALLOWABLE (1-WAY) SHEAR			
DUE TO CONCRETE (ACI-318-14 22.5.1.1)			
	c	d	VuX ΦVc (kN/m) η
	mm	mm	kN/m kN/m
Cutting Plane @ X-Axis (SQX)	60	740	507 472 1.08 Not ok
Cutting Plane @ Y-Axis (SQY)	80	720	429 459 0.94 Ok
Combined Plane		730	508 465 1.09 Not ok
Therefore:			
Shear reinforcement is required along X axis			
DUE TO STEEL REINFORCEMENT (ACI-318-14 22.5.10.5.3)			
Diameter	Ø16		Vs Vn
sep X	300	AswX 2Ø16/300	mm2/m kN/m kN/m
sep y	950	AswY 4Ø16/950	1340 312 784
			847 192 651
	PlateNo	LC	VuX ΦVuy η
Cutting Plane @ X-Axis (SQX)	372	101 01_(+X)	507 15 0.65 Ok
Cutting Plane @ Y-Axis (SQY)	407	103 01_(+Z)	11 429 0.66 Ok
Combined Plane	372	101 01_(+X)	507 15 0.65 Ok
$\eta = \sqrt{\left(\frac{V_{uy}}{\phi V_{ny}}\right)^2 + \left(\frac{V_{uz}}{\phi V_{nz}}\right)^2}$			
No more shear reinforcement is required			

NOTA TÉCNICA. ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

Slab X-Dimension	3,000 mm	Compressive Strength of Concrete (fc')	25 MPa
Slab Y-Dimension	28,750 mm	Yield Strength of Reinforcements (fy)	420 MPa
Slab Thickness	800 mm	Aplicable CODE:	ACI 318-14
Top Cover	50 mm	Top bars arrangement:	X on Y
Bottom Cover	50 mm	Bottom bar arrangement:	Y on X

FOUNDATION SLAB REINFORCEMENT REQUIREMENTS							
STAAD.PRO WOOD ARMER RESULTS							
	PlateNo	LC	Mx1	My1	Mx2	My2	Md
Minimum design moment along Slab x-Dim.	372	102 01_(-X)	-440	-125	-419		-440
Maximum design moment along Slab x-Dim.	366	101 01_(+X)	276	72	265		276
Minimum design moment along Slab y-Dim.	82	103 01_(+Z)	-120	-350		-399	-350
Maximum design moment along Slab y-Dim.	407	108 02_(-Z)	144	263		255	263

Negative moment --> bending on top reinforcement

FOUNDATION SLAB REINFORCEMENT PROVIDED							
	Main BarØ	Spacing	c	Add'l BarØ	Spacing	c	Asprov (mm²/m)
REINFORCEMENTS PROVIDED							
(-TOP Bars) PROVIDED along Slab X-Dim.	Ø 20	125 mm	60 mm				2513
(+BOT Bars) PROVIDED along Slab X-Dim.	Ø 20	125 mm	60 mm				2513
(-TOP Bars) PROVIDED along Slab Y-Dim.	Ø 20	125 mm	80 mm				2513
(+BOT Bars) PROVIDED along Slab Y-Dim.	Ø 20	125 mm	80 mm				2513

NOTA TÉCNICA. ANCLAJE DE LOS NUEVOS BRAZOS DE CARGA EN EL MUELLE MU-1

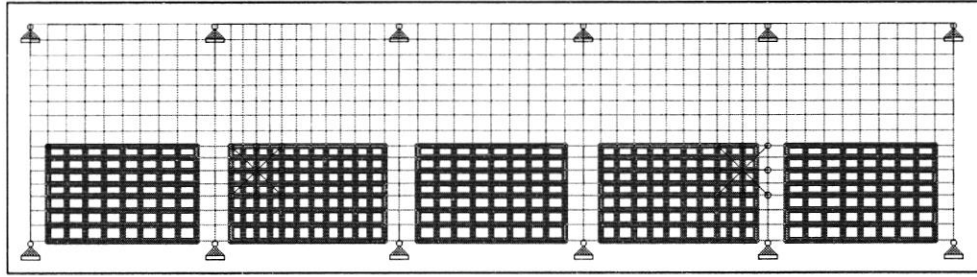


Figura 18. Área de la losa donde se analiza el máximo momento flector

Los máximos esfuerzos obtenidos en esta área se muestran en la siguiente tabla:

	Plate	L/C	SQX (local) kN/m2	SQY (local) kN/m2	SX (local) kN/m2	SY (local) kN/m2	SXY (local) kN/m2	Mx kN-m/m	My kN-m/m	Mxy kN-m/m
Max Qx	390	107 02_(+Z)	830.030	3.831	23.659	13.569	-45.519	153.837	41.830	-92.335
Min Qx	390	104 01_(-Z)	-1384.241	-36.789	-14.192	-70.537	2.238	-142.591	-71.782	132.267
Max Qy	406	108 02_(-Z)	537.017	429.801	25.213	112.839	71.649	131.480	138.579	119.204
Min Qy	82	103 01_(+Z)	-95.400	-736.365	-22.806	-115.951	-50.707	-45.134	-275.678	-74.712
Max Sx	350	106 02_(-X)	171.192	-14.194	116.049	11.744	-32.115	-26.392	-3.706	-5.698
Min Sx	350	101 01_(+X)	330.215	-84.001	-132.159	-12.859	45.567	52.548	-9.745	53.128
Max Sy	348	104 01_(-Z)	51.933	-63.686	33.890	266.536	-82.455	-8.909	-44.710	-8.509
Min Sy	348	107 02_(+Z)	10.719	-275.450	-34.545	-231.374	65.580	-9.522	-138.700	41.203
Max Sx	398	104 01_(-Z)	169.169	157.608	62.360	100.982	93.189	74.487	35.486	38.367
Min Sx	432	104 01_(-Z)	-68.750	-38.879	60.687	-43.189	-130.538	32.672	-19.919	-31.577
Max Mx	366	101 01_(+X)	337.668	15.400	71.312	34.647	-20.022	250.108	46.078	26.211
Min Mx	372	102 01_(-X)	-560.995	-16.885	-5.435	-3.253	-16.577	-399.229	-84.518	-40.936
Max My	407	108 02_(-Z)	-30.075	410.084	28.682	60.354	36.262	76.959	195.771	67.310
Min My	82	103 01_(+Z)	-95.400	-736.365	-22.806	-115.951	-50.707	-45.134	-275.678	-74.712
Max Mx	390	104 01_(-Z)	-1384.241	-36.789	-14.192	-70.537	2.238	-142.591	-71.782	132.267
Min Mx	406	103 01_(+Z)	-815.154	-549.211	-52.563	-90.429	-120.558	-68.166	-198.941	-146.190

La comprobación a momento de acuerdo a la norma ACI 318 da como resultado que la losa tiene el armado suficiente para resistir los momentos flectores transmitidos por los nuevos brazos:

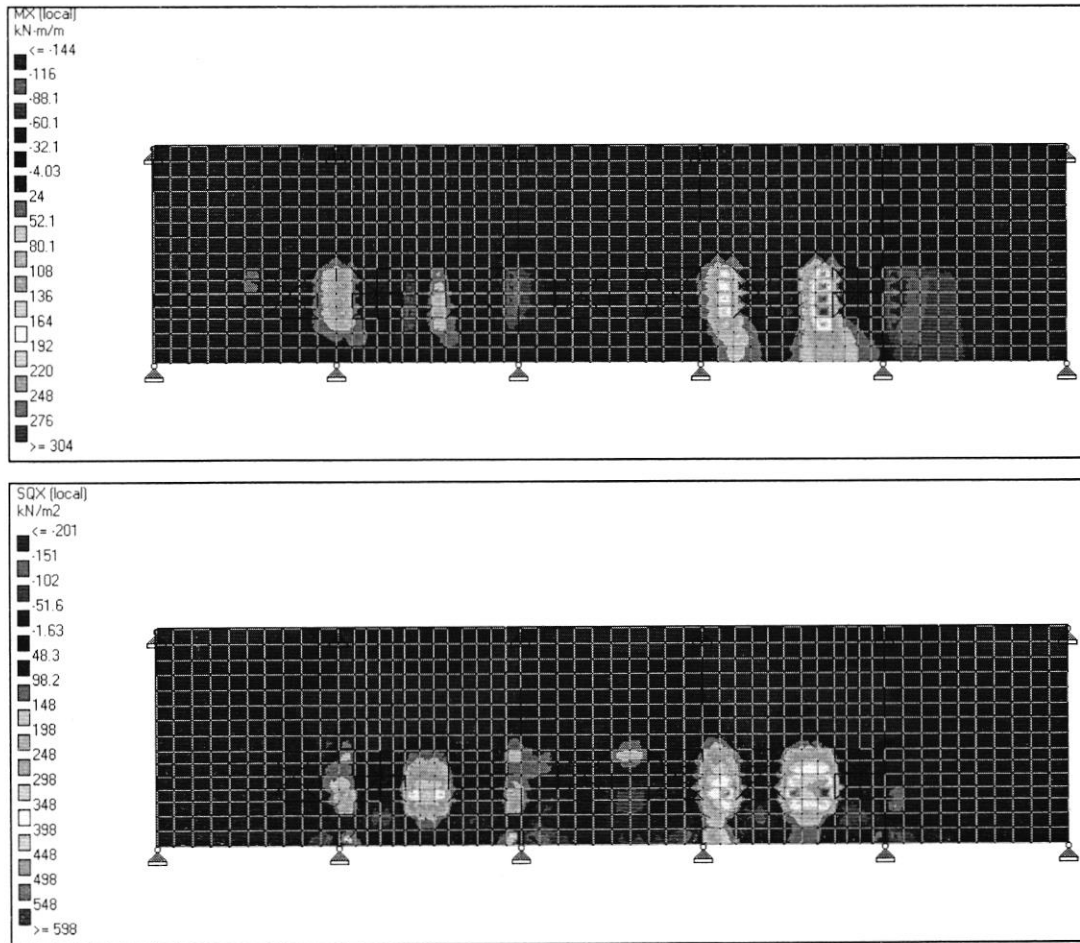


Figura 17. Esfuerzos debidos a carga sísmica en X (+). Flectores MX (arriba) y cortantes SQX (abajo)

En consecuencia se considera justificado que el modelo incluya únicamente las cargas de los brazos nuevos y de los brazos existentes que están en su mismo vano, tal y como se indicó en el apartado 4.2.4.

6.3 COMPROBACIÓN DE LA LOSA

La comprobación de la resistencia se centra en el tramo de losa de 800 mm de espesor, que es donde se anclan los brazos.

Este tramo se ha zonificado en función de los esfuerzos requeridos, considerando la anchura real de las vigas (1 m) y el canto de la losa (0,8 m). Con este criterio se comprueba la resistencia de la losa.

- Momento flector: Se consideran los valores a partir de 0,5 m del eje de las vigas, lo que corresponde a las placas marcadas en rojo en la siguiente figura:

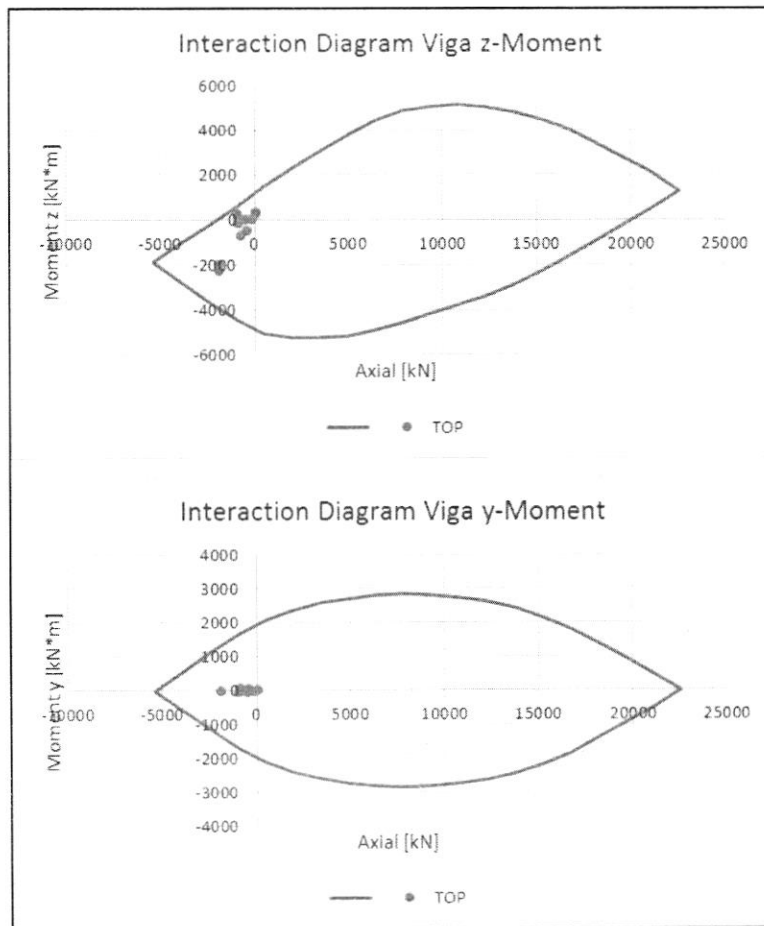
6.4 COMPROBACIÓN DE LAS VIGAS

Los máximos esfuerzos en el grupo de las vigas perpendiculares al cantil se dan en la viga donde se apoya parcialmente el brazo MU1-LA-002. Los resultados son los siguientes:

	Beam	L/C	Node	Fx kN	Fy kN	Fz kN	Mx kN-m	My kN-m	Mz kN-m
Max Fx	646	107 02_(+Z)	626	42.458	-193.736	34.869	-60.693	10.546	266.369
Min Fx	646	104 01_(-Z)	626	-1910.405	586.208	-38.536	-50.205	2.688	-1979.843
Max Fy	639	104 01_(-Z)	625	-954.495	770.242	47.308	-46.899	-41.979	291.092
Min Fy	653	101 01_(+X)	208	-855.507	-986.115	-43.765	-15.888	2.678	157.248
Max Fz	635	104 01_(-Z)	196	-150.166	-155.374	56.631	-89.697	-2.387	58.424
Min Fz	651	104 01_(-Z)	205	-905.142	-105.869	-110.256	95.887	69.923	-141.154
Max Mx	636	103 01_(+Z)	197	-401.992	-97.607	-103.969	197.602	58.027	-439.447
Min Mx	646	102 01_(-X)	626	-735.062	87.161	18.632	-184.808	24.706	-666.677
Max My	651	104 01_(-Z)	205	-905.142	-105.869	-110.256	95.887	69.923	-141.154
Min My	639	102 01_(-X)	625	-475.888	319.642	53.933	-146.608	-54.872	50.667
Max Mz	646	107 02_(+Z)	201	42.458	-207.692	34.869	-60.693	27.545	364.217
Min Mz	646	104 01_(-Z)	201	-1910.405	566.825	-38.536	-50.205	-16.099	-2260.895

Las vigas se comprueban con la ACI 318, dando los siguientes resultados:

Summary of checks	LC	Ed	Rd	η
Normal tension check	104	1	100	58%
Concrete check in shear along y direction (local)	101	986	2483	40%
Concrete check in shear along z direction (local)	104	110	1147	10%
Reinforcement ratios		1	1	94%
Separations		50	40	125%
Maximum spacing between stirrups check		150.00	400.00	38%
Minimum shear reinforcement check		1	1	66%
Shear check in section core y-direction	101	420	1057	40%
Shear check in section core z-direction	104	63	659	10%
Shear check in cortex y-direction	101	286	713	40%
Shear check in cortex z-direction	103	49	244	20%



Se observa que la armadura de la viga es suficiente, aunque de forma muy ajustada, para soportar los esfuerzos calculados bajo las hipótesis del presente informe.

7 CONCLUSIONES

De acuerdo a los datos analizados se concluye que:

- La carga sísmica con la que se han diseñado los brazos de carga MU1-LA-001/002 se calculó finalmente siguiendo la norma peruana, con un coeficiente sísmico de 0,72·g, lo que es consecuente con las bases de diseño de proyecto.
- El sismo sólo se combina con la carga muerta del brazo de carga y cuando éste se encuentra plegado en posición de espera (stored position). El sismo no se combina ni con las cargas de operación ni con la carga de viento. De acuerdo a los cálculos realizados, el sismo es la carga que genera los mayores esfuerzos en los anclajes de los nuevos brazos.
- De acuerdo a los planos de que se dispone, la losa donde se ubican los brazos de carga tiene un espesor efectivo de 800 mm ya descontado el espesor del prefabricado, por lo que hay distancia suficiente para ejecutar la longitud de perforación que requieren los pernos de anclaje, de 640 mm.
- Se ha analizado la resistencia de la losa y de las vigas perpendiculares al cantil frente a las cargas de anclaje indicadas por el fabricante. Para ello se han debido realizar algunas hipótesis referentes al armado, geometría y calidades de hormigón y acero, así como a las cargas de los brazos existentes. Bajo dichas hipótesis se ha obtenido como resultado que tanto la losa como las vigas resisten los esfuerzos de los nuevos brazos.