



DOCUMENTO N°2.2

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. ALTERNATIVA I: HORMIGÓN CONVENCIONAL.....	4
2.1. <i>Alternativa I.I: Canto $h = 0,800$ m.</i>	<i>4</i>
2.2. <i>Alternativa I.II: Canto $h = 0,700$ m.</i>	<i>5</i>
2.3. <i>Alternativa I.III: Canto $h = 0,600$ m.</i>	<i>5</i>
2.4. <i>Alternativa I.IV: Canto $h = 0,500$ m.</i>	<i>5</i>
2.5. <i>Solución con hormigón armado convencional.....</i>	<i>5</i>
3. ALTERNATIVA II: HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS (HRF)	6
3.1. <i>Alternativa II.I: Fibras de acero.....</i>	<i>6</i>
3.2. <i>Solución con hormigón reforzado con fibras</i>	<i>8</i>

1. INTRODUCCIÓN

En este segundo anejo a la memoria del trabajo fin de grado, se pretende exponer las diferentes propuestas alternativas a la construcción del nuevo muelle de contenedores de la ampliación norte del puerto de Valencia, en lo que a la construcción de los cajones flotantes de hormigón se refiere, y concretamente a la zona de la solera de estos.

Entre las propuestas, se pueden diferenciar entre las de utilización del hormigón convencional con armadura pasiva y las de utilización de hormigón reforzado con fibras, objeto de estudio del presente trabajo. Asimismo, se diferenciará dentro de estos dos campos la propuesta de reducción del canto de la solera, con el fin de evaluar en función del canto el material necesario, ya sea de fibras o de acero pasivo convencional en forma de barras (así como el volumen de hormigón), a utilizar para la construcción de los cajones flotantes.

Cabe decir también que el cálculo desarrollado introduciendo las variaciones en las distintas alternativas se ha realizado idénticamente a la solución original, aunque con, obviamente, otros resultados finales, y cumpliendo, todas las alternativas, lo demandado por la normativa frente al cumplimiento de los estados límite de la estructura.

Así pues, y como conclusión a este trabajo, se pretende exponer y realizar una comparativa de las distintas soluciones alternativas con el fin de evaluar en qué medida cada una de ellas podría suponer un ahorro económico en cuanto a materiales y mano de obra, estableciendo finalmente una solución final buscando el óptimo de realización de esta obra de gran magnitud.

2. Alternativa I: Hormigón convencional

En primer lugar, se expone la solución original con un canto $h = 0,800$ m, y posteriormente se expondrán las alternativas a esta con distintas variaciones (reduciéndolo) del canto. Dentro de cada una de ellas se expondrán las diversas soluciones en función del diámetro de barras a utilizar para la disposición del armado pasivo, estableciendo una comparativa entre ellas y realizando una conclusión que muestre con una valoración tanto objetiva como subjetiva, cuál podría ser la solución óptima recomendable.

Puesto que, en todo momento, el armado a disponer es el mínimo geométrico, se dispone un doble emparrillado de armado en cara superior e inferior de la sección de hormigón.

2.1. Alternativa I.I: Canto $h = 0,800$ m.

En primer lugar, en lo que respecta a la solución original con un canto de 0,800 m, se descartan las propuestas de armado con barras $\phi 12$ y $\phi 10$, puesto que conducen a una disposición de barras en las que la separación entre ellas podría suponer una problemática a la hora de realizar un correcto vibrado del hormigón.

Así pues, las dos disposiciones viables desde el punto de vista de cumplimiento de separación entre barras y de cuantía de armado mínimo geométrico, serían disponer $5\phi 20$ por cada metro lineal de losa, o en su lugar utilizar $7\phi 16/m$. Con la disposición de $\phi 20$ se obtiene un valor de 30,7 kg de acero por cada metro cúbico de hormigón, siendo más rentable económicamente la solución con barras del $\phi 16$ que resultaría en 27,5 kg de acero por metro cúbico.

Por tanto, para la solución original con el canto de 0,800 m, la solución óptima de armado sería la disposición de $7\phi 16/m$, formando un doble emparrillado de armado en cara superior e inferior de la solera del cajón.

2.2. Alternativa I.II: Canto $h = 0,700$ m.

Siguiendo con la segunda propuesta de solución con hormigón armado convencional, se descarta en primer lugar la solución con $\phi 10$ por la misma razón comentada anteriormente, y también se descarta la utilización de barras $\phi 20$ por conducir a una separación entre barras que supera el umbral máximo de 30 cm dictado por el manual.

Por lo que las dos únicas soluciones viables frente al cumplimiento normativo son la disposición de barras $\phi 16$ o $\phi 12$, que serían un total de 6 y 10 barras por metro lineal, respectivamente. De entre las dos posibles soluciones, la que resultaría en un mayor ahorro económico sería la disposición de $10\phi 12/m$ con una cuantía de acero de 25,2 kg por cada metro cúbico de hormigón frente a los 26,9 kg con barras del $\phi 16$.

2.3. Alternativa I.III: Canto $h = 0,600$ m.

Con la propuesta de canto 0,600 m, se descartan las propuestas de armado con $\phi 10$ y $\phi 20$ por idénticas razones a las expuestas en la alternativa I.II.

Siendo otra vez viable únicamente la disposición de barras del $\phi 16$ o $\phi 12$, entre las que, ante una variación entre ambas tan pequeña de cuantía de acero (26,2 con $\phi 16$ frente a 26,5 con $\phi 12$) sería razonable económicamente disponer cualquiera de las dos opciones.

2.4. Alternativa I.IV: Canto $h = 0,500$ m.

Respecto a la alternativa de reducir el canto de la solera hasta los 0,500 m, las únicas disposiciones de armado viables para no exceder el límite de separación entre barras son las relativas a emparrillados de armado con $\phi 12$ o $\phi 10$, puesto que se descartan en primera instancia las soluciones con $\phi 20$ y $\phi 16$.

Y entre las dos soluciones viables, en ambas se obtiene una cuantía de armado por metro cúbico de hormigón que supera en varios casos a las alternativas anteriores con canto 0,700 o 0,600 metros (28,3 kg/m³ con $\phi 12$ y 27,0 kg/m³ con $\phi 10$). Así, aunque supondría un ahorro económico por disponer menor volumetría de hormigón para la construcción de cada cajón, se ha decidido que una reducción tan significativa de canto podría poner en riesgo la estructura, minimizando su resistencia significativamente al reducir el canto de la solera prácticamente a la mitad de la solución original propuesta, razón por la que implica disponer una mayor cuantía de armado por metro cúbico de hormigón frente a las otras alternativas.

2.5. Solución con hormigón armado convencional

Así pues, con todo lo expuesto anteriormente y en la tabla resumen final en la que aparece el dinero que habría que gastar en barras de armado, se ha tomado la decisión final de que la alternativa que podría suponer un mayor ahorro en lo económico, en lo que a cuantías de material se refiere, sin poner en riesgo la integridad de la estructura frente a las acciones actuantes sobre ella, sería la alternativa I.III, disponiendo un cajón de hormigón con una solera de canto $h = 0,600$

m, por suponer una menor cantidad de hormigón a utilizar respecto a la alternativa I.II, escogiendo esta solución disponiendo barras del $\phi 16$ al suponer una cuantía menor de armado, y de menor número total de barras frente a la solución con barras $\phi 12$, aunque como ya se ha comentado, ambas soluciones serían viables y la diferencia final sería mínima.

Canto h	ϕ/m	$8 < s < 30$	kg Acero/m ³	€/m ³ Acero (1,10 €/kg)	€/m ³ (114,32 €/m ³)	Acero	Acero + Hormigón
0.800	5fi20	22.50	30.7	33.7	148.1	31,692.00 €	139,047 €
	7fi16	14.80	27.5	30.2	144.6	28,396.78 €	135,752 €
	12fi12	7.78					
	fi10	<8					
0.700	4fi20	30.67					
	6fi16	18.08	26.9	29.6	143.9	24,341.02 €	118,276 €
	10fi12	9.78	25.2	27.8	142.1	22,813.49 €	116,749 €
	fi10	<8					
0.600	4fi20	30.67					
	5fi16	23.00	26.2	28.8	143.1	20,282.68 €	100,799 €
	9fi12	11.15	26.5	29.2	143.5	20,538.34 €	101,054 €
	13fi10	7.25					
0.500	3fi20	>30					
	4fi16	31.20					
	8fi12	12.91	28.3	31.1	145.4	18,251.57 €	85,348 €
	11fi10	8.90	27.0	29.7	144.0	17,431.64 €	84,528 €

Tabla 2.5.1. Resumen soluciones con hormigón armado convencional

(Fuente: Elaboración propia)

3. Alternativa II: Hormigón reforzado con fibras (HRF)

Y a continuación, de la misma forma, se muestran las distintas soluciones, pero ahora con la sustitución de los emparillados de armado por la utilización de fibras en el hormigón, lo que ya en primera instancia puede suponer una mayor facilidad de ejecución, así como una reducción de mano de obra a la hora de la fabricación de los cajones.

3.1. Alternativa II.I: Fibras de acero

Las diversas alternativas planteadas a continuación son soluciones de aplicación al hormigón de fibras Dramix de la empresa Bekaert, multinacional líder en fabricación de fibras de acero para hormigón. La estimación de las dosificaciones de fibras a añadir a la masa de hormigón se ha realizado siguiendo lo dictado en las fichas técnicas de producto de la empresa fabricante de las fibras.

Se comparan, por tanto, según el valor de canto de solera a disponer, las diversas soluciones con diversos tipos de fibras, entre las que se tiene:

- ◆ Dramix RC-65/60-BN, con valor de esbeltez (longitud/diámetro) de 65, longitud 60 milímetros y acero normal (BN). Con un precio de mercado de 0,80 €/kg.
- ◆ Dramix RC-65/60-CN, con valor de esbeltez (longitud/diámetro) de 65, longitud 60 milímetros y acero galvanizado (CN) que aumenta su calidad, lo que implica un aumento del precio hasta 1,30 €/kg.
- ◆ Dramix RC-80/60-BN, con valor de esbeltez (longitud/diámetro) de 80, longitud 60 milímetros y acero normal (BN). A priori, las que resultaran en conclusión las más rentables, con un precio un 5% mayor que las de la familia 65/60, con 0,84 €/kg.
- ◆ Dramix RC-80/60-CN, con valor de esbeltez (longitud/diámetro) de 80, longitud 60 milímetros y acero galvanizado (CN). Con un valor, también 5% mayor en comparativa a las de esbeltez 65, de 1,37 €/kg.

Así, en función del tipo de fibras a disponer, se tiene un valor de dosificación en kilogramos de fibras por metro cúbico de hormigón para cumplir con la resistencia demandada para la total sustitución del armado pasivo convencional por la adición de fibras al hormigón.

Por tanto, queda resumido el proceso seguido y el precio final que supondría la adición de fibras al hormigón con el que se construiría los cajones flotantes para el nuevo muelle de contenedores en la tabla 3.1.1.

h (m)	TIPO FIBRAS	DOSIFICACIÓN kg/m3	Precio (€/kg)	€ fibras/m3 HM	Fibras + hormigón
0.800	65/60 BN	65	0.80	52.00	156,187 €
	65/60 CN	50	1.30	65.00	168,395 €
	80/60 BN	55	0.84	46.20	150,741 €
	80/60 CN	40	1.37	54.60	158,629 €
0.700	65/60 BN	65	0.80	52.00	136,664 €
	65/60 CN	50	1.30	65.00	147,346 €
	80/60 BN	55	0.84	46.20	131,898 €
	80/60 CN	40	1.37	54.60	138,800 €
0.600	65/60 BN	65	0.80	52.00	117,141 €
	65/60 CN	50	1.30	65.00	126,297 €
	80/60 BN	55	0.84	46.20	113,056 €
	80/60 CN	40	1.37	54.60	118,972 €
0.500	65/60 BN	65	0.80	52.00	97,617 €
	65/60 CN	50	1.30	65.00	105,247 €
	80/60 BN	55	0.84	46.20	94,213 €
	80/60 CN	40	1.37	54.60	99,143 €

*Tabla 3.1.1 Resumen soluciones con hormigón reforzado con fibras
(Fuente: Elaboración propia)*

Puesto que ha resultado en conclusión que la solera se arma por mínimos, a menor canto, menor cantidad de fibras a disponer ya que la resistencia mínima de las fibras demandada no depende del canto de la pieza, por lo que se reduce con el canto el precio total de las fibras a disponer (a menor volumen de hormigón, menos fibras).

Entre los diversos tipos de fibras, queda plasmado que como se había comentado la solución óptima sería disponer las fibras Dramix RC-80/60-BN, ya que la disminución de cantidad de fibras al disponer de la misma esbeltez, pero con acero galvanizado (mayor calidad) no se traduce en última instancia en un ahorro económico puesto que su precio es considerablemente mayor dada la mayor resistencia que ofrecen.

Y en la comparativa con las fibras de esbeltez 65 se observa que, aunque sean más económicas, la reducción de esbeltez se traduce en una disminución de resistencia que conlleva a la necesidad de disponer mayor cantidad de fibras por metro cúbico de hormigón, resultando finalmente en un gasto mayor.

3.2. Solución con hormigón reforzado con fibras

En conclusión, dado que una reducción tan significativa de canto hasta los 0,500 metros resultaría alejarse del lado de la seguridad estructural, tal y como se ha explicado anteriormente, se decide que la solución óptima utilizando el hormigón reforzado con fibras como material de la solera de los cajones flotantes sería la de disponer una solera de canto 0,600 metros con hormigón reforzado con fibras de la familia Dramix RC-80/60-BN de la empresa Bekaert.