

## ANEXO I. RESULTADOS Y MODELIZACIÓN (MRLM) DE SISTEMA CONSTRUCTIVO ESTRUCTURAL

En el anexo presente se introducen los resultados obtenidos del cálculo de estructuras para los distintos materiales estudiados, así como la totalidad de las gráficas con los resultados en cuanto a costes, tiempos y seguridad se refiere, para cada solución constructiva analizada en el sistema constructivo estructura. Además, se muestran los cálculos realizados para obtener un modelo de regresión lineal múltiple para cada solución estudiada y para cada aspecto considerado. Estos modelos permiten predecir el comportamiento de las distintas soluciones constructivas bajo condiciones que difieran de las analizadas, permiten encontrar la significación de cada variable de entrada estudiada para cada caso concreto, y permiten conocer la bondad del ajuste realizado para detectar posibles omisiones de variables explicativas. Finalmente se introducen los resultados gráficos del ACV para las distintas soluciones constructivas consideradas del sistema estructural.

### I.1. Resultados de cálculos de estructuras y determinación de distancia óptima entre pórticos

Se adjuntan los resultados obtenidos de los cálculos estructurales realizados para los pórticos y correas de los materiales analizados, así como los cálculos necesarios para la determinación de la distancia óptima entre pórticos para cada tipología de material. Se han realizado los cálculos estructurales para dimensionar pórticos de 10, 15, 20, 25 y 30m de ancho, 6, 7.5 y 9m de alto y 6, 8 y 10m de distancia entre pórticos para los tres materiales estudiados. Los resultados obtenidos se indican en las tablas de la I.1 a la I.9).

Tabla I.1. Resultados de cálculos estructurales para pórtico de estructura metálica con  $d = 6m$ .

Distancia entre pórticos  $d = 6m$

altura (h) / ancho (A)		10m	15m	20m	25m	30m
6m	Perfil Viga	IPN 280	IPN 380	IPN 450	IPN 550	IPN 600
	Perfil Pilares	IPN 280	IPN 360	IPN 450	IPN 500	IPN 600
	Peso Viga (kg)	480	1260	2300	4175	5970
	Peso Pilares (kg)	576	914,4	1380	1692	2388
	Peso Pórtico (kg)	1056	2174,4	3680	5867	8358
7,5m	Perfil Viga	IPN 280	IPN 380	IPN 450	IPN 550	IPN 600
	Perfil Pilares	IPN 300	IPN 380	IPN 500	IPN 550	HEB 600
	Peso Viga (kg)	480	1260	2300	4175	5970
	Peso Pilares (kg)	813	1260	2115	2505	3180
	Peso Pórtico (kg)	1293	2520	4415	6680	9150
9m	Perfil Viga	IPN 320	IPN 400	IPN 500	IPN 550	HEB 600
	Perfil Pilares	IPN 340	IPN 400	IPN 500	IPN 600	HEB 600
	Peso Viga (kg)	611	1389	2820	4175	6360
	Peso Pilares (kg)	1225,8	1666,8	2538	3582	3816
	Peso Pórtico (kg)	1836,8	3055,8	5358	7757	10176

Tabla I.2. Resultados de cálculos estructurales para pórtico de estructura metálica con  $d = 8m$ .*Distancia entre pórticos  $d = 8m$* 

altura (h) / ancho (A)		10m	15m	20m	25m	30m
<b>6m</b>	Perfil Viga	IPN 300	IPN 400	IPN 500	IPN 600	HEB 600
	Perfil Pilares	IPN 300	IPN 400	IPN 450	IPN 550	HEB 600
	Peso Viga (kg)	542	1389	2820	4975	6360
	Peso Pilares (kg)	650,4	1111,2	1380	2004	2544
	Peso Pórtico (kg)	1192,4	2500,2	4200	6979	8904
<b>7,5m</b>	Perfil Viga	IPN 320	IPN 400	IPN 500	IPN 600	IPN 650
	Perfil Pilares	IPN 320	IPN 450	IPN 500	IPN 550	IPN 650
	Peso Viga (kg)	611	1389	2820	4975	7029,99
	Peso Pilares (kg)	916,5	1725	2115	2505	3514,995
	Peso Pórtico (kg)	1527,5	3114	4935	7480	10544,985
<b>9m</b>	Perfil Viga	IPN 340	IPN 400	IPN 500	IPN 600	IPN 700
	Perfil Pilares	IPN 360	IPN 450	IPN 550	IPN 600	IPN 650
	Peso Viga (kg)	681	1389	2820	4975	8095,14
	Peso Pilares (kg)	1371,6	2070	3006	3582	4217,994
	Peso Pórtico (kg)	2052,6	3459	5826	8557	12313,134

Tabla I.3. Resultados de cálculos estructurales para pórtico de estructura metálica con  $d = 10m$ .*Distancia entre pórticos  $d = 10m$* 

altura (h) / ancho (A)		10m	15m	20m	25m	30m
<b>6m</b>	Perfil Viga	IPN 320	IPN 450	IPN 550	IPN 600	IPN 700
	Perfil Pilares	IPN 320	IPN 400	IPN 500	IPN 600	IPN 650
	Peso Viga (kg)	611	1725	3340	4975	8095,14
	Peso Pilares (kg)	733,2	1111,2	1692	2388	2811,996
	Peso Pórtico (kg)	1344,2	2836,2	5032	7363	10907,136
<b>7,5m</b>	Perfil Viga	IPN 340	IPN 450	IPN 550	HEB 600	IPN 700
	Perfil Pilares	IPN 340	IPN 450	IPN 500	IPN 600	IPN 700
	Peso Viga (kg)	681	1725	3340	5300	8095,14
	Peso Pilares (kg)	1021,5	1725	2115	2985	4047,57
	Peso Pórtico (kg)	1702,5	3450	5455	8285	12142,71
<b>9m</b>	Perfil Viga	IPN 360	IPN 450	IPN 550	IPN 650	IPN 700
	Perfil Pilares	IPN 400	IPN 450	IPN 550	IPN 650	IPN 750
	Peso Viga (kg)	762	1725	3340	5857,5	8095,14
	Peso Pilares (kg)	1666,8	2070	3006	4217,4	5552,982
	Peso Pórtico (kg)	2428,8	3795	6346	10074,9	13648,122

Tabla I.4. Resultados de cálculos estructurales para pórtico de estructura de hormigón prefabricado con  $d = 6m$ .*Distancia entre pórticos  $d = 6m$* 

altura (h) / ancho (A)		10m	15m	20m	25m	30m
<b>6m</b>	Perfil Viga	Delta	Delta	Delta	Delta	Delta
	Perfil Pilares	40x40	40x40	40x40	40x40	50x40
	Peso Viga (t)	2770	4410	9070	12340	17040
	Peso Pilares (kg)	4800	4800	4800	4800	6000
	Peso Pórtico (kg)	7570	9210	13870	17140	23040
<b>7,5m</b>	Perfil Viga	Delta	Delta	Delta	Delta	Delta
	Perfil Pilares	50x40	50x40	50x40	50x40	50x40
	Peso Viga (kg)	2770	4410	9070	12340	17040
	Peso Pilares (kg)	7500	7500	7500	7500	7500
	Peso Pórtico (kg)	10270	11910	16570	19840	24540
<b>9m</b>	Perfil Viga	Delta	Delta	Delta	Delta	Delta
	Perfil Pilares	60x40	60x40	60x40	60x40	60x40
	Peso Viga (kg)	2770	4410	9070	12340	17040
	Peso Pilares (kg)	10800	10800	10800	10800	10800
	Peso Pórtico (kg)	13570	15210	19870	23140	27840

Tabla I.5. Resultados de cálculos estructurales para pórtico de estructura de hormigón prefabricado con  $d = 8m$ .*Distancia entre pórticos  $d = 8m$* 

altura (h) / ancho (A)		10m	15m	20m	25m	30m
<b>6m</b>	Perfil Viga	Delta 1	Delta 2	Delta 2	Delta 3 - 50	Delta 4
	Perfil Pilares	40x40	40x40	40x40	50x40	50x40
	Peso Viga (kg)	2770	6640	9070	12340	26390
	Peso Pilares (kg)	4800	4800	4800	6000	6000
	Peso Pórtico (kg)	7570	11440	13870	18340	32390
<b>7,5m</b>	Perfil Viga	Delta 1	Delta 2	Delta 2	Delta 3 - 50	Delta 4
	Perfil Pilares	50x40	50x40	50x40	60x40	60x40
	Peso Viga (kg)	2770	6640	9070	12340	26390
	Peso Pilares (kg)	7500	7500	7500	9000	9000
	Peso Pórtico (kg)	10270	14140	16570	21340	35390
<b>9m</b>	Perfil Viga	Delta 1	Delta 2	Delta 2	Delta 3 - 50	Delta 4
	Perfil Pilares	60x40	60x40	60x40	60x50	60x50
	Peso Viga (kg)	2770	6640	9070	12340	26390
	Peso Pilares (kg)	10800	10800	10800	13500	13500
	Peso Pórtico (kg)	13570	17440	19870	25840	39890

Tabla I.6. Resultados de cálculos estructurales para pórtico de estructura de hormigón prefabricado con  $d = 10m$ .Distancia entre pórticos  $d = 10m$ 

altura (h) / ancho (A)		10m	15m	20m	25m	30m
<b>6m</b>	Perfil Viga	Delta 1	Delta 2	Delta 2	Delta 3 - 60	Delta 4
	Perfil Pilares	40x40	40x40	50x40	50x40	50x40
	Peso Viga (kg)	2770	4410	9070	14190	26390
	Peso Pilares (kg)	4800	4800	6000	6000	6000
	Peso Pórtico (kg)	7570	9210	15070	20190	32390
<b>7,5m</b>	Perfil Viga	Delta 1	Delta 2	Delta 2	Delta 3 - 60	Delta 4
	Perfil Pilares	50x40	60x40	60x40	60x40	60x50
	Peso Viga (kg)	2770	4410	9070	14190	26390
	Peso Pilares (kg)	7500	9000	9000	9000	11250
	Peso Pórtico (kg)	10270	13410	18070	23190	37640
<b>9m</b>	Perfil Viga	Delta 1	Delta 2	Delta 2	Delta 3 - 60	Delta 4
	Perfil Pilares	60x40	60x50	60x50	70x50	70x50
	Peso Viga (kg)	2770	4410	9070	14190	26390
	Peso Pilares (kg)	10800	13500	13500	15750	15750
	Peso Pórtico (kg)	13570	17910	22570	29940	42140

Tabla I.7. Resultados de cálculos estructurales para pórtico de estructura de material compuesto ERM con  $d = 6m$ .Distancia entre pórticos  $d = 6m$ 

altura (h) / ancho (A)		10m	15m	20m	25m	30m
<b>6m</b>	Perfil Viga	ERM 600	ERM 750	ERM 900	ERM 1050	ERM 1150
	Perfil Pilares	ERM 550	ERM 700	ERM 850	ERM 1000	ERM 1150
	Peso Viga (kg)	304,7	714,15	1371,2	2333	3358,2
	Peso Pilares (kg)	307,2	497,64	733,8	1015,68	1343,28
	Peso Pórtico (kg)	611,9	1211,79	2105	3348,68	4701,48
<b>7,5m</b>	Perfil Viga	ERM 600	ERM 750	ERM 950	ERM 1050	ERM 1200
	Perfil Pilares	ERM 600	ERM 750	ERM 900	ERM 1050	ERM 1150
	Peso Viga (kg)	304,7	714,15	1527,8	2333	3656,4
	Peso Pilares (kg)	457,05	714,15	1028,4	1399,8	1679,1
	Peso Pórtico (kg)	761,75	1428,3	2556,2	3732,8	5335,5
<b>9m</b>	Perfil Viga	ERM 600	ERM 750	ERM 950	ERM 1100	ERM 1200
	Perfil Pilares	ERM 650	ERM 800	ERM 950	ERM 1100	ERM 1250
	Peso Viga (kg)	304,7	714,15	1527,8	2560,25	3656,4
	Peso Pilares (kg)	643,68	975,06	1375,02	1843,38	2380,5
	Peso Pórtico (kg)	948,38	1689,21	2902,82	4403,63	6036,9

Tabla I.8. Resultados de cálculos estructurales para pórtico de estructura de material compuesto ERM con  $d = 8m$ .Distancia entre pórticos  $d = 8m$ 

altura (h) / ancho (A)		10m	15m	20m	25m	30m
<b>6m</b>	Perfil Viga	ERM 650	ERM 800	ERM 950	ERM 1100	ERM 1250
	Perfil Pilares	ERM 600	ERM 800	ERM 950	ERM 1100	ERM 1200
	Peso Viga (kg)	357,6	812,55	1527,8	2560,25	3967,5
	Peso Pilares (kg)	365,64	650,04	916,68	1228,92	1462,56
	Peso Pórtico (kg)	723,24	1462,59	2444,48	3789,17	5430,06
<b>7,5m</b>	Perfil Viga	ERM 650	ERM 850	ERM 1000	ERM 1150	ERM 1300
	Perfil Pilares	ERM 650	ERM 800	ERM 950	ERM 1100	ERM 1250
	Peso Viga (kg)	357,6	917,25	1692,8	2798,5	4291,2
	Peso Pilares (kg)	536,4	812,55	1145,85	1536,15	1983,75
	Peso Pórtico (kg)	894	1729,8	2838,65	4334,65	6274,95
<b>9m</b>	Perfil Viga	ERM 650	ERM 850	ERM 1000	ERM 1150	ERM 1300
	Perfil Pilares	ERM 700	ERM 850	ERM 1000	ERM 1200	ERM 1300
	Peso Viga (kg)	357,6	917,25	1692,8	2798,5	4291,2
	Peso Pilares (kg)	746,46	1100,7	1523,52	2193,84	2574,72
	Peso Pórtico (kg)	1104,06	2017,95	3216,32	4992,34	6865,92

Tabla I.9. Resultados de cálculos estructurales para pórtico de estructura de material compuesto ERM con  $d = 10m$ .Distancia entre pórticos  $d = 10m$ 

altura (h) / ancho (A)		10m	15m	20m	25m	30m
<b>6m</b>	Perfil Viga	ERM 650	ERM 850	ERM 1050	ERM 1200	ERM 1350
	Perfil Pilares	ERM 650	ERM 850	ERM 1000	ERM 1150	ERM 1300
	Peso Viga (kg)	357,6	917,25	1866,4	3047	4627,8
	Peso Pilares (kg)	429,12	733,8	1015,68	1343,28	1716,48
	Peso Pórtico (kg)	786,72	1651,05	2882,08	4390,28	6344,28
<b>7,5m</b>	Perfil Viga	ERM 700	ERM 900	ERM 1050	ERM 1200	ERM 1350
	Perfil Pilares	ERM 650	ERM 850	ERM 1050	ERM 1200	ERM 1350
	Peso Viga (kg)	414,7	1028,4	1866,4	3047	4627,8
	Peso Pilares (kg)	536,4	917,25	1399,8	1828,2	2313,9
	Peso Pórtico (kg)	951,1	1945,65	3266,2	4875,2	6941,7
<b>9m</b>	Perfil Viga	ERM 700	ERM 900	ERM 1050	ERM 1250	ERM 1400
	Perfil Pilares	ERM 750	ERM 900	ERM 1100	ERM 1250	ERM 1400
	Peso Viga (kg)	414,7	1028,4	1866,4	3306,25	4976,7
	Peso Pilares (kg)	856,98	1234,08	1843,38	2380,5	2986,02
	Peso Pórtico (kg)	1271,68	2262,48	3709,78	5686,75	7962,72

De la misma manera se ha procedido al cálculo de las correas necesarias para cada material y para cada distancia entre pórticos considerada. Los resultados se indican en la tabla I.10.

Tabla I.10. Resultados de cálculos estructurales para correas entre pórticos.

Material / distancia entre pórticos (d)		d = 6	d = 8	d = 10
<b>Acero</b>	Perfil Correa	IPE 180	IPE 220	IPE 270
	Peso por metro de correa (kg / m)	18,8	26,2	36,1
	Peso total (kg) correas pórtico para:			
	A = 10	902,4	1676,8	2888
	A = 15	1240,8	2305,6	3971
	A = 20	1692	3144	5415
<b>Hormigón prefabricado</b>	Perfil Correa	VT 20	VT25	VT 30
	Peso por metro de correa (kg / m)	64	74	84
	Peso total (kg) correas pórtico para:			
	A = 10	3456	4736	6720
	A = 15	4992	6512	9240
	A = 20	6528	8880	12600
<b>ERM</b>	Perfil Correa	ERM 340	ERM 420	ERM 500
	Peso por metro de correa (kg / m)	8,67	14,93	21,16
	Peso total (kg) correas pórtico para:			
	A = 10	416,16	955,52	1692,8
	A = 15	572,22	1313,84	2327,6
	A = 20	780,3	1791,6	3174
	A = 25	936,36	2149,92	3808,8
	A = 30	1092,42	2508,24	4443,6

Con el dimensionado de los pórticos y las correas correspondientes se obtiene el peso total de material necesario para resistir las cargas correspondientes a la zona de afectación de un pórtico del intervalo de dimensiones analizado. De la misma manera, conociendo el ancho (A) y la distancia entre pórticos (d) de la zona de afectación, se calcula el peso total de los elementos estructurales por m<sup>2</sup> de superficie cubierta por estos (tablas I.11, I.12, I.13). La distancia óptima entre pórticos para cada caso de ancho, altura y material, es aquella que presente menor valor de peso por m<sup>2</sup> entre pórticos.

Tabla I.11. Peso total de pórtico con correas y repercusión por m2 cubierto para estructura de acero.

**Material: ACERO**

<b>A = 10</b>												
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)						Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)						
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	
d = 6	1958,4	2195,4	2739,2	d = 6	32,64	36,59	45,65	d = 6	32,64	36,59	45,65	
d = 8	2869,2	3204,3	3729,4	d = 8	35,87	40,05	46,62	d = 8	35,87	40,05	46,62	
d = 10	4232,2	4590,5	5316,8	d = 10	42,32	45,91	53,17	d = 10	42,32	45,91	53,17	
<b>A = 15</b>												
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)						Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)						
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	
d = 6	3415,2	3760,8	4296,6	d = 6	37,95	41,79	47,74	d = 6	37,95	41,79	47,74	
d = 8	4805,8	5419,6	5764,6	d = 8	40,05	45,16	48,04	d = 8	40,05	45,16	48,04	
d = 10	6807,2	7421	7766	d = 10	45,38	49,47	51,77	d = 10	45,38	49,47	51,77	
<b>A = 20</b>												
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)						Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)						
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	
d = 6	5372	6107	7050	d = 6	44,77	50,89	58,75	d = 6	44,77	50,89	58,75	
d = 8	7344	8079	8970	d = 8	45,90	50,49	56,06	d = 8	45,90	50,49	56,06	
d = 10	10447	10870	11761	d = 10	52,24	54,35	58,81	d = 10	52,24	54,35	58,81	
<b>A = 25</b>												
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)						Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)						
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	
d = 6	7897,4	8710,4	9787,4	d = 6	52,65	58,07	65,25	d = 6	52,65	58,07	65,25	
d = 8	10751,8	11252,8	12329,8	d = 8	53,76	56,26	61,65	d = 8	53,76	56,26	61,65	
d = 10	13861	14783	16572,9	d = 10	55,44	59,13	66,29	d = 10	55,44	59,13	66,29	
<b>A = 30</b>												
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)						Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)						
d/h	6	7,5	9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	
d = 6	10726,8	11518,8	12544,8	d = 6	59,59	63,99	69,69	d = 6	59,59	63,99	69,69	
d = 8	13305,6	14946,585	16714,734	d = 8	55,44	62,28	69,64	d = 8	55,44	62,28	69,64	
d = 10	18488,136	19723,71	21229,122	d = 10	61,63	65,75	70,76	d = 10	61,63	65,75	70,76	

Tabla I.12. Peso total de pórtico con correas y repercusión por m2 cubierto para estructura de hormigón prefabricado.

**Material: HORMIGÓN PREFABRICADO**

<b>A = 10</b>												
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)						Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)						
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	
d = 6	11026	13726	17026	d = 6	183,77	228,77	283,77	d = 6	183,77	228,77	283,77	
d = 8	12306	15006	18306	d = 8	153,83	187,58	228,83	d = 8	153,83	187,58	228,83	
d = 10	14290	16990	20290	d = 10	142,90	169,90	202,90	d = 10	142,90	169,90	202,90	
<b>A = 15</b>												
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)						Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)						
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	
d = 6	14202	16902	20202	d = 6	157,80	187,80	224,47	d = 6	157,80	187,80	224,47	
d = 8	17952	20652	23952	d = 8	149,60	172,10	199,60	d = 8	149,60	172,10	199,60	
d = 10	18450	22650	27150	d = 10	123,00	151,00	181,00	d = 10	123,00	151,00	181,00	
<b>A = 20</b>												
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)						Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)						
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	
d = 6	20398	23098	26398	d = 6	169,98	192,48	219,98	d = 6	169,98	192,48	219,98	
d = 8	22750	25450	28750	d = 8	142,19	159,06	179,69	d = 8	142,19	159,06	179,69	
d = 10	27670	30670	35170	d = 10	138,35	153,35	175,85	d = 10	138,35	153,35	175,85	
<b>A = 25</b>												
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)						Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)						
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	
d = 6	25204	27904	31204	d = 6	168,03	186,03	208,03	d = 6	168,03	186,03	208,03	
d = 8	28996	31996	36496	d = 8	144,98	159,98	182,48	d = 8	144,98	159,98	182,48	
d = 10	35310	38310	45060	d = 10	141,24	153,24	180,24	d = 10	141,24	153,24	180,24	
<b>A = 30</b>												
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)						Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)						
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	
d = 6	33024	34524	37824	d = 6	183,47	191,80	210,13	d = 6	183,47	191,80	210,13	
d = 8	44822	47822	52322	d = 8	186,76	199,26	218,01	d = 8	186,76	199,26	218,01	
d = 10	50030	55280	59780	d = 10	166,77	184,27	199,27	d = 10	166,77	184,27	199,27	



Tabla I.13. Peso total de pórtico con correas y repercusión por m2 cubierto para estructura de ERM.

**Material: PRFV - ERM**

<b>A = 10</b>							
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)				Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)			
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	6	7,5	9
d = 6	1028	1178	1365	d = 6	17,13	19,63	22,74
d = 8	1679	1850	2060	d = 8	20,98	23,12	25,74
d = 10	2480	2644	2964	d = 10	24,80	26,44	29,64

<b>A = 15</b>							
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)				Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)			
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	6	7,5	9
d = 6	1784	2001	2261	d = 6	19,82	22,23	25,13
d = 8	2776	3044	3332	d = 8	23,14	25,36	27,76
d = 10	3979	4273	4590	d = 10	26,52	28,49	30,60

<b>A = 20</b>							
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)				Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)			
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	6	7,5	9
d = 6	2885	3337	3683	d = 6	24,04	27,80	30,69
d = 8	4236	4630	5008	d = 8	26,48	28,94	31,30
d = 10	6056	6440	6884	d = 10	30,28	32,20	34,42

<b>A = 25</b>							
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)				Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)			
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	6	7,5	9
d = 6	4285,04	4669,16	5339,99	d = 6	28,57	31,13	35,60
d = 8	5939,09	6484,57	7142,26	d = 8	29,70	32,42	35,71
d = 10	8199,08	8684	9495,55	d = 10	32,80	34,74	37,98

<b>A = 30</b>							
Peso total pórtico con correas correspondientes (kg)				Peso por m2 entre pórticos (kg/m2)			
d/h	h = 6	h = 7,5	h = 9	d/h	6	7,5	9
d = 6	5793,9	6427,92	7129,32	d = 6	32,19	35,71	39,61
d = 8	7938,3	8783,19	9374,16	d = 8	33,08	36,60	39,06
d = 10	10787,88	11385,3	12406,32	d = 10	35,96	37,95	41,35

Los resultados del estudio realizado para encontrar la distancia entre pórticos óptima para cada material estudiado se adjuntan en las tablas I.14, I.15 y I.16 para cada caso.

**Tabla I.14. Distancias entre pórticos óptimas para estructuras de acero.**

Material: ACERO	h = 6	h = 7,5	h = 9
A = 10	6 - 7m		
A = 15			
A = 20	6 - 7m	7 - 8m	
A = 25	6 - 7m	7 - 8m	
A = 30	7 - 8m		

**Tabla I.15. Distancias entre pórticos óptimas para hormigón prefabricado.**

Material: HORMIGÓN	h = 6	h = 7,5	h = 9
A = 10	9-10m		
A = 15			
A = 20			
A = 25			
A = 30			

**Tabla I.16. Distancias entre pórticos óptimas para ERM.**

Material: ERM	h = 6	h = 7,5	h = 9
A = 10	6 - 7m		
A = 15			
A = 20			
A = 25			
A = 30	6 - 7m	7 - 8m	

Del estudio se extrae que para estructura prefabricada de hormigón siempre se optimiza la cantidad de material (a utilizar en pórtico y correas de cubierta) distanciando los pórticos entre 9 y 10m, independientemente del ancho y la altura de los mismos. Para los ERM la separación óptima entre pórticos es de 6 a 7m menos en el caso de A=30 i h=9 donde es mejor correas más largas para reducir el número de pórticos total. Por último, para el acero la distancia óptima es de 6 a 7m para anchos pequeños (A=10 y A=15), así como para altura de 6 m para A=20 y A=25. Para ancho de pórticos grande (A=30) y para A=20 y A=25 con alturas elevadas (h=7,5 y h=9), la separación más adecuada es de 7 a 8m.

## I.2. Gráficos comparativos de resultados obtenidos

### I.2.1. Gráficos de resultados para tiempos

#### *Tiempos de Construcción*

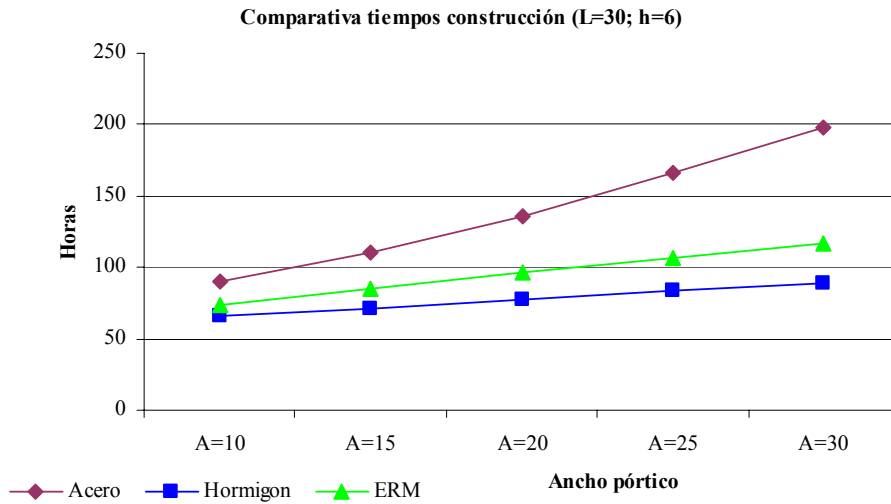


Figura I.1. Gráfico comparativo de tiempos de construcción para estructuras con L=30 y h=6,5.

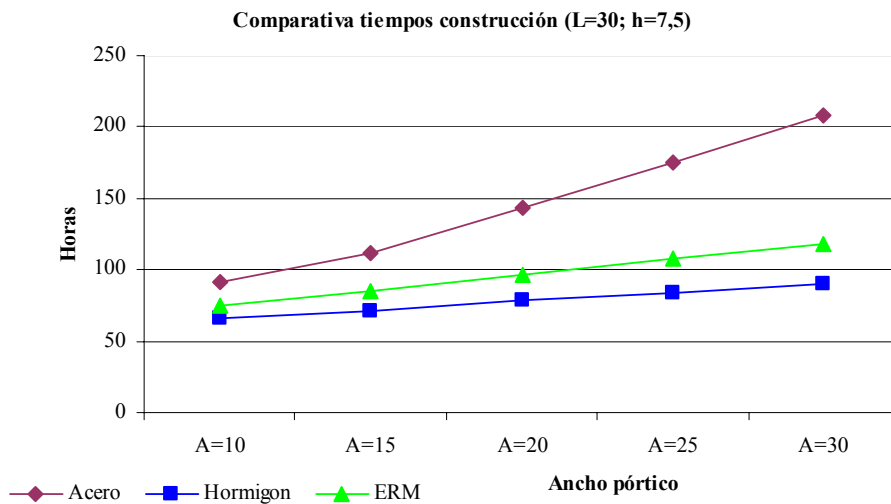


Figura I.2. Gráfico comparativo de tiempos de construcción para estructuras con L=30 y h=7,5.

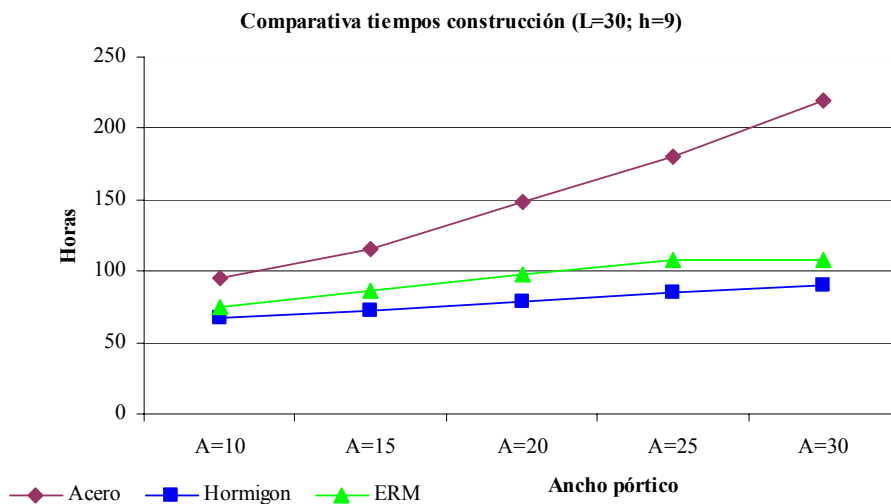


Figura I.3. Gráfico comparativo de tiempos de construcción para estructuras con L=30 y h=9.

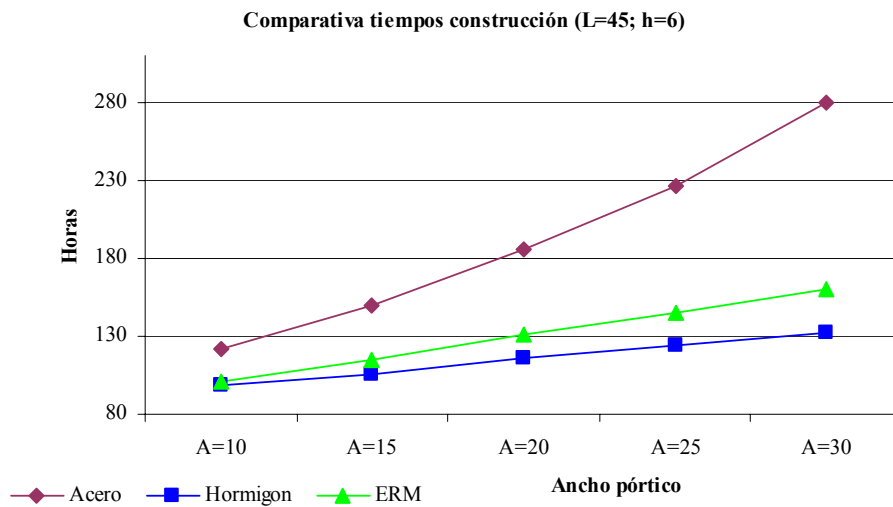


Figura I.4. Gráfico comparativo de tiempos de construcción para estructuras con L=45 y h=6.

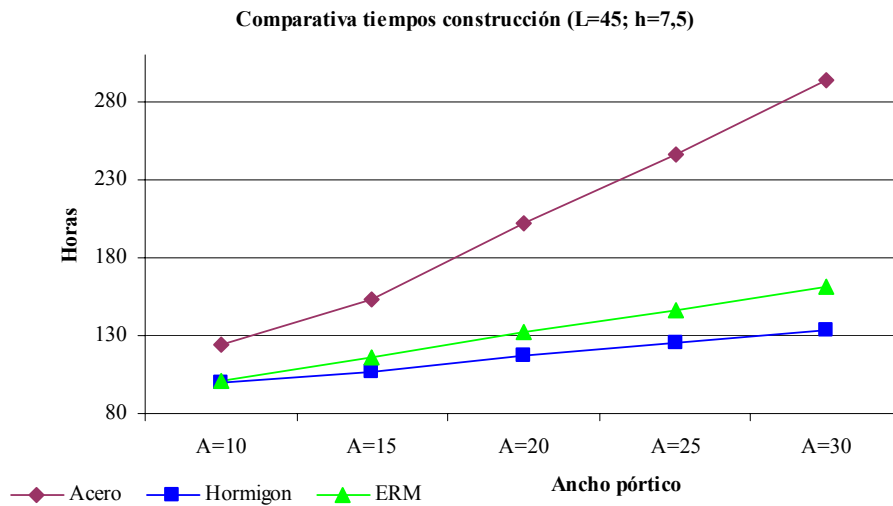


Figura I.5. Gráfico comparativo de tiempos de construcción para estructuras con L=45 y h=7,5.

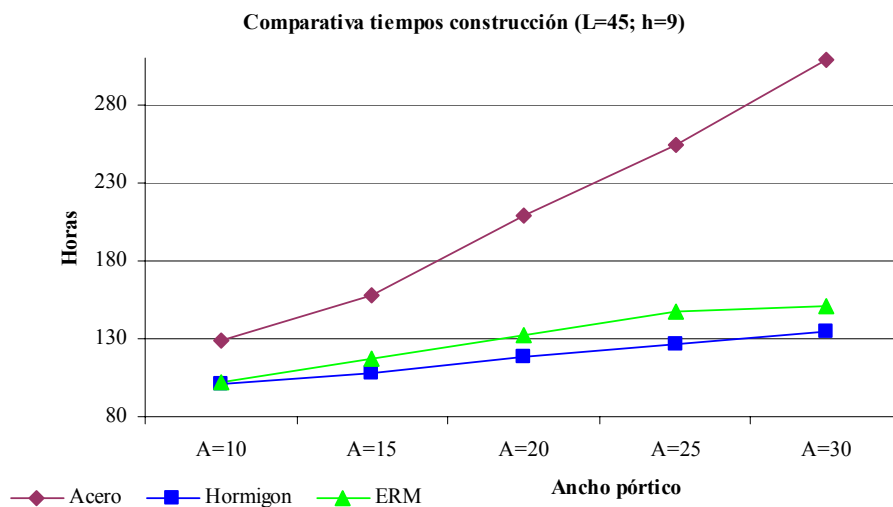


Figura I.6. Gráfico comparativo de tiempos de construcción para estructuras con L=45 y h=9.

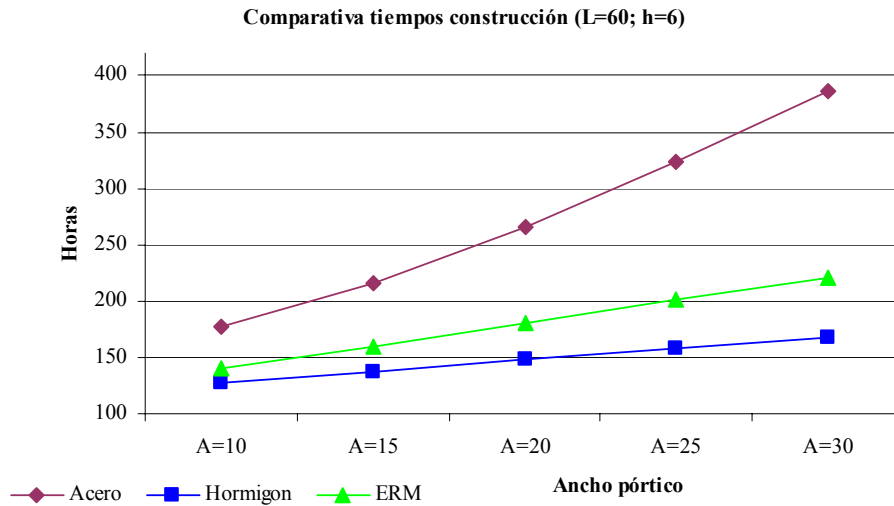


Figura I.7. Gráfico comparativo de tiempos de construcción para estructuras con L=60 y h=6.

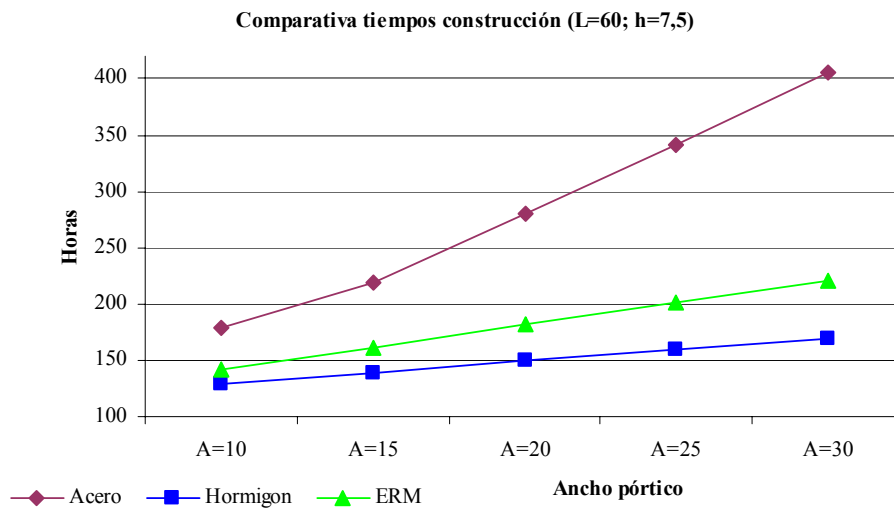


Figura I.8. Gráfico comparativo de tiempos de construcción para estructuras con L=60 y h=7,5.

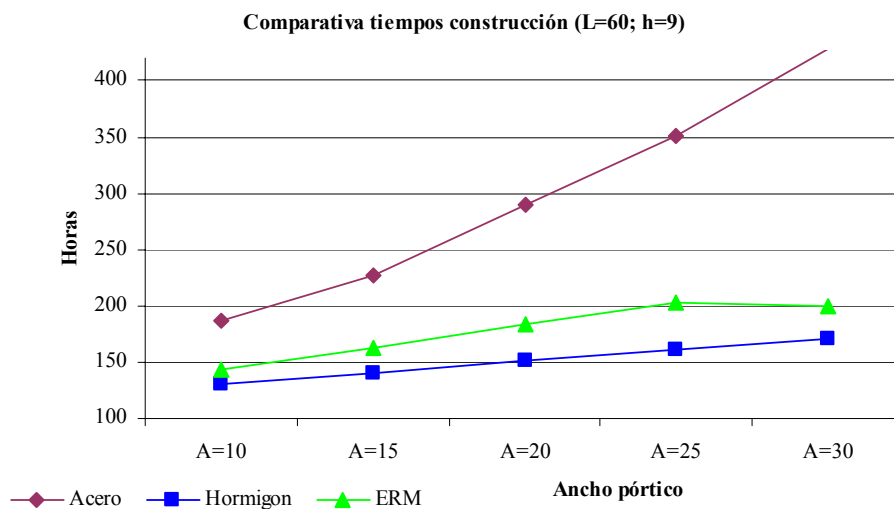


Figura I.9. Gráfico comparativo de tiempos de construcción para estructuras con L=60 y h=9.

Tiempos Totales (Construcción+ Desconstrucción)

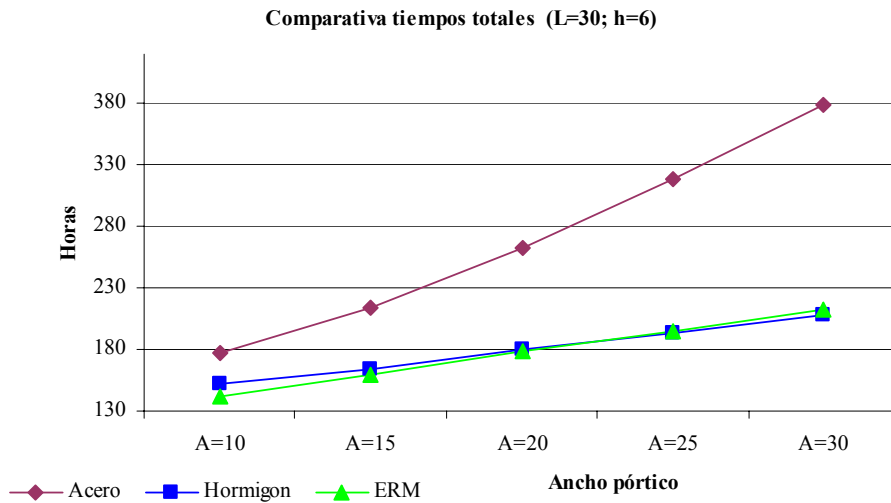


Figura I.10. Gráfico comparativo de tiempos totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=30 y h=6.

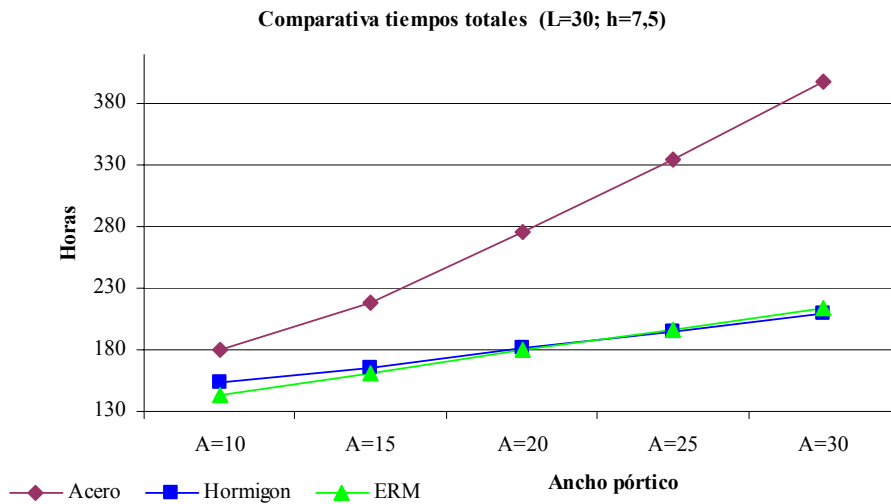


Figura I.11. Gráfico comparativo de tiempos totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=30 y h=7,5.

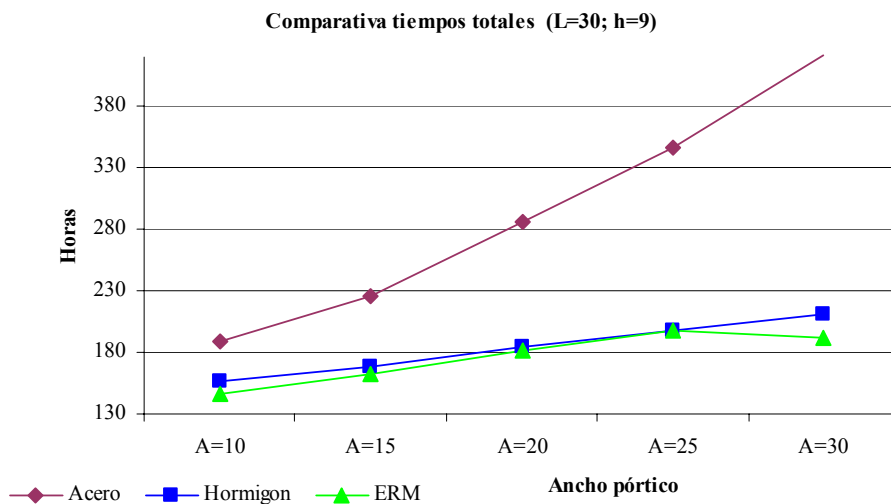


Figura I.12. Gráfico comparativo de tiempos totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=30 y h=9.

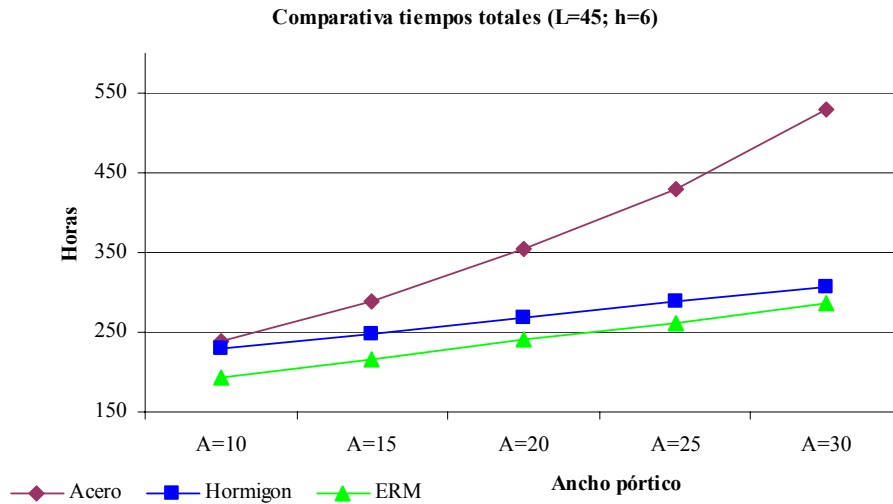


Figura I.13. Gráfico comparativo de tiempos totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=45 y h=6.

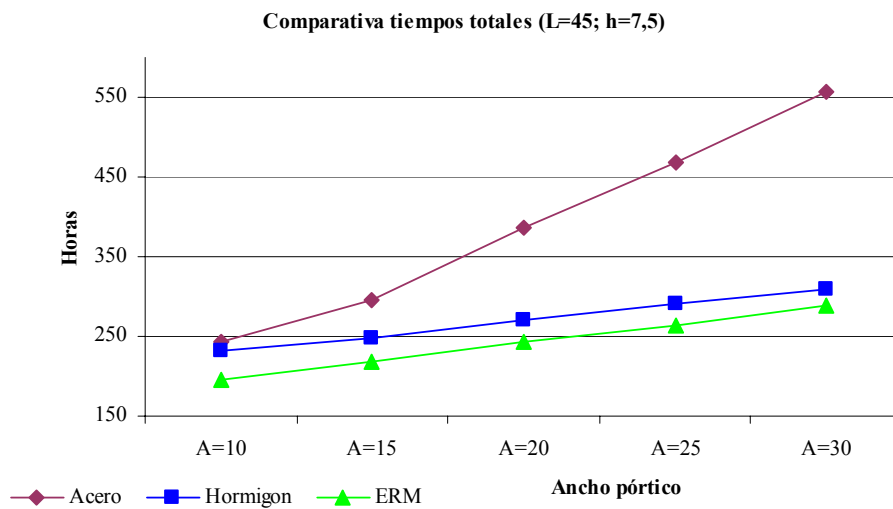


Figura I.14. Gráfico comparativo de tiempos totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=45 y h=7,5.

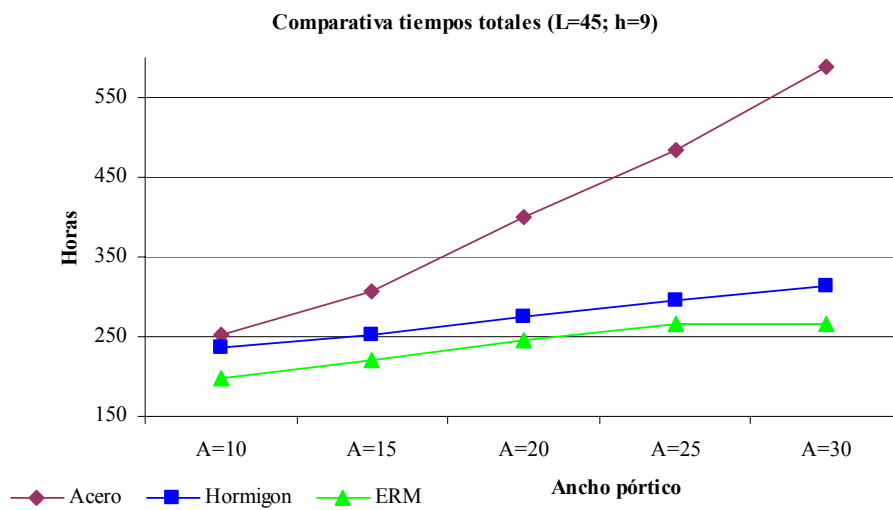


Figura I.15. Gráfico comparativo de tiempos totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=45 y h=9.

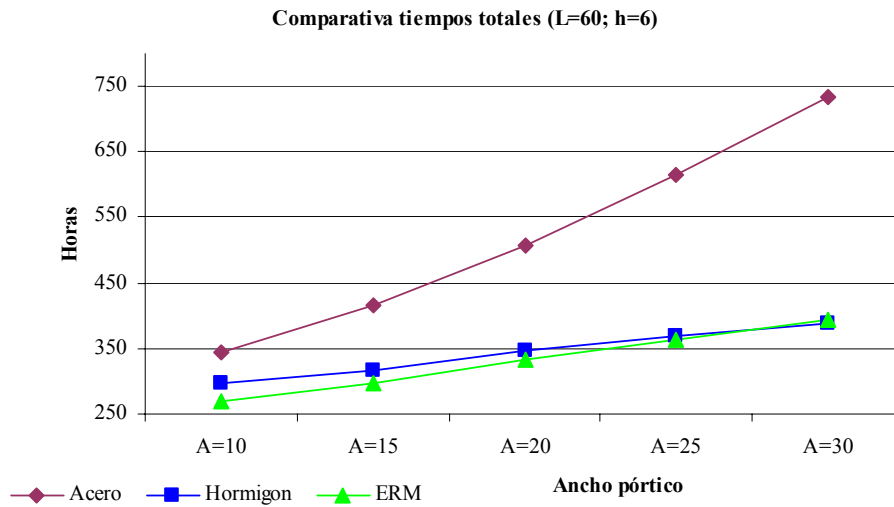


Figura I.16. Gráfico comparativo de tiempos totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=60 y h=7,5.

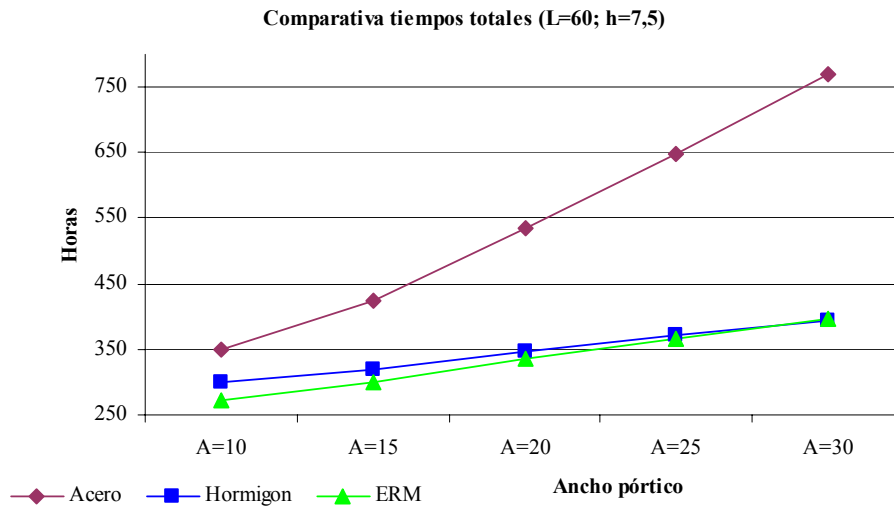


Figura I.17. Gráfico comparativo de tiempos totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=60 y h=9.

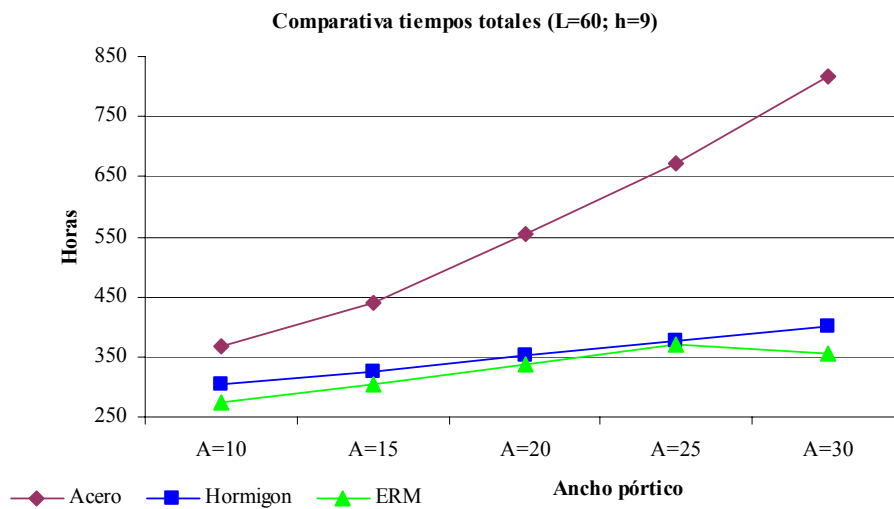


Figura I.18. Gráfico comparativo de tiempos totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=60 y h=9.



### I.2.2. Gráficos de resultados para costes

#### Costes de Construcción

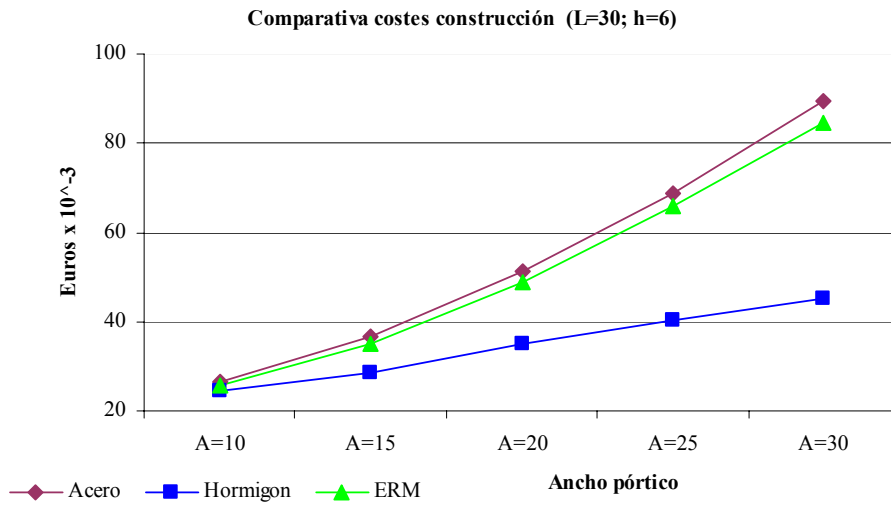


Figura I.19. Gráfico comparativo de costes de construcción para estructuras con L=30 y h=6.

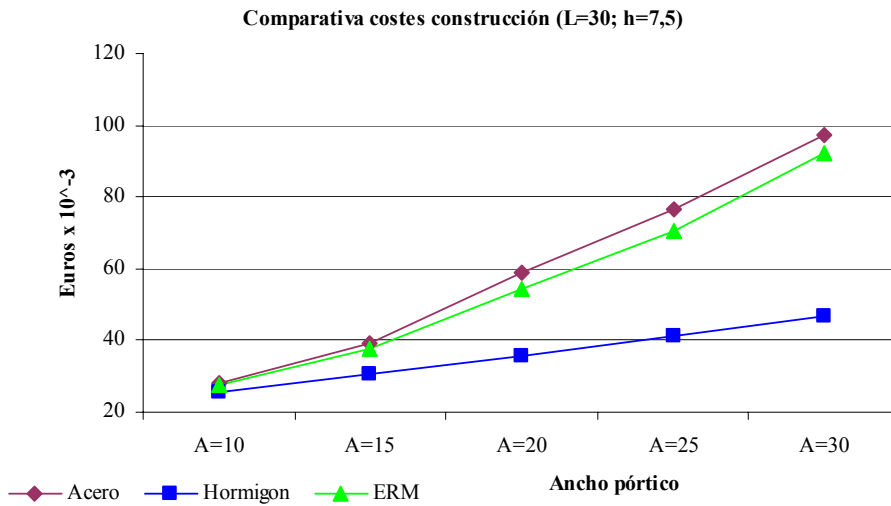


Figura I.20. Gráfico comparativo de costes de construcción para estructuras con L=30 y h=7,5.

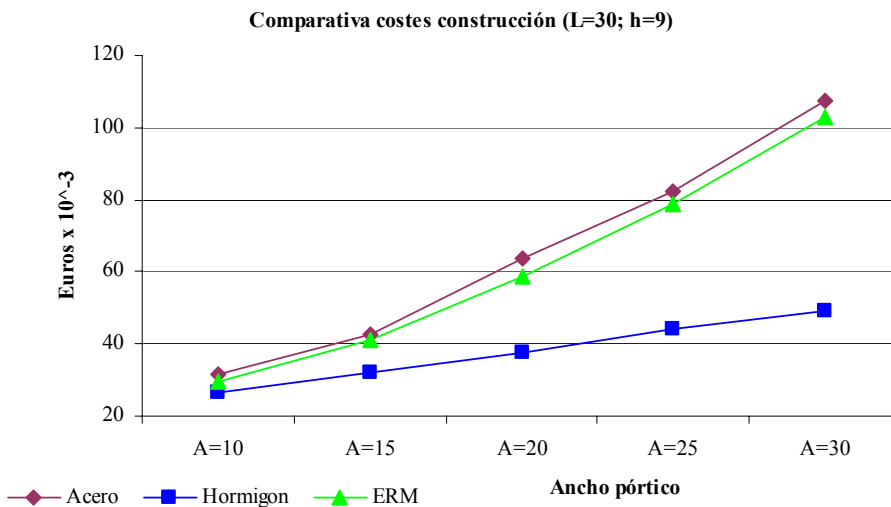


Figura I.21. Gráfico comparativo de costes de construcción para estructuras con L=30 y h=9.

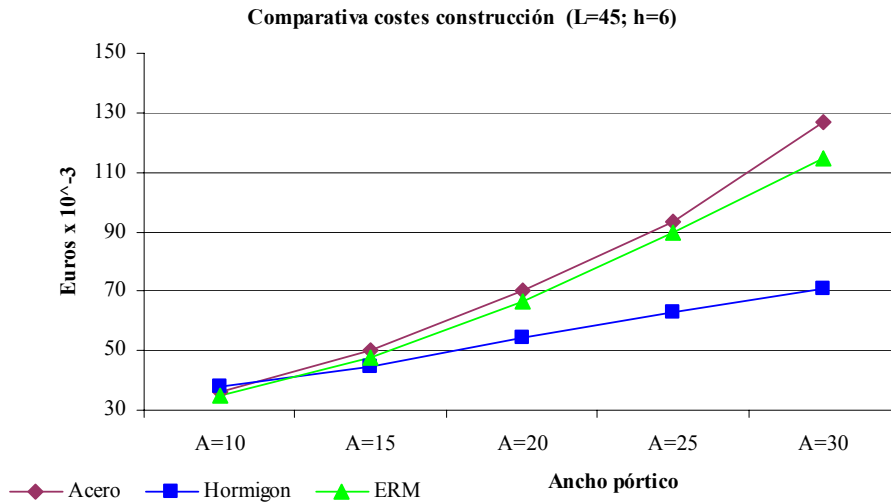


Figura I.22. Gráfico comparativo de costes de construcción para estructuras con L=45 y h=6.

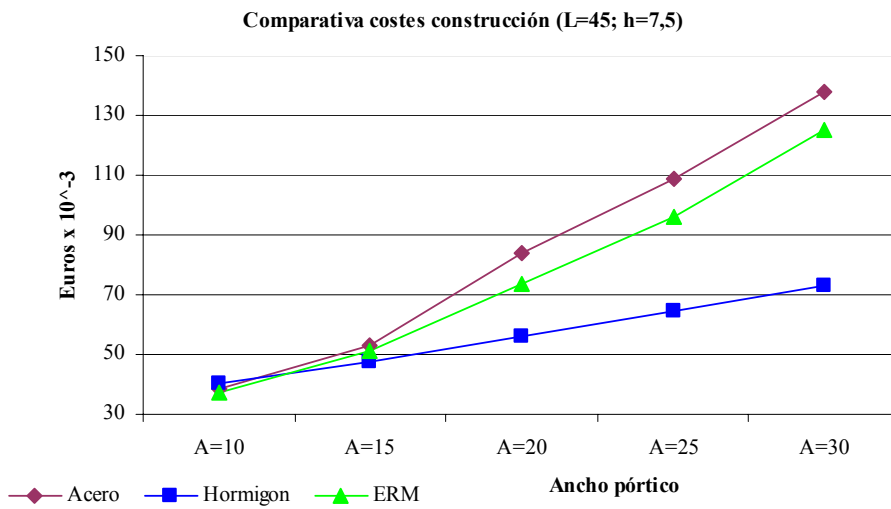


Figura I.23. Gráfico comparativo de costes de construcción para estructuras con L=45 y h=7,5.

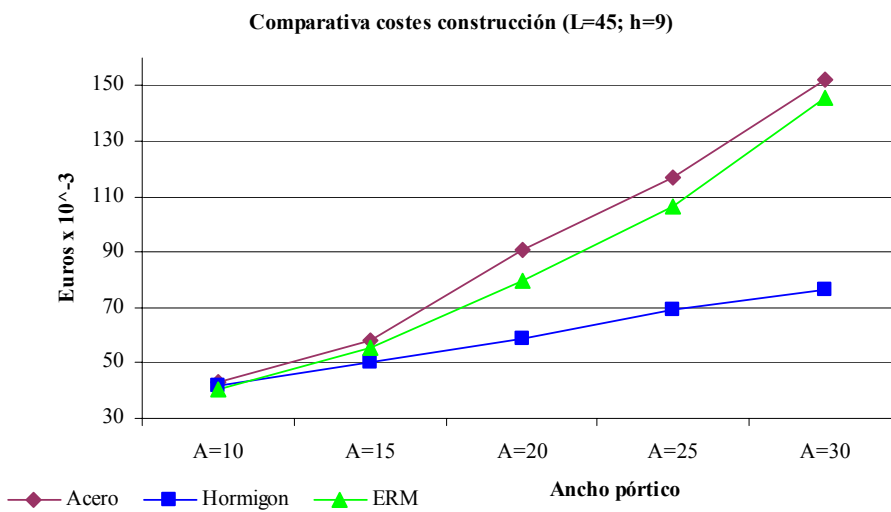


Figura I.24. Gráfico comparativo de costes de construcción para estructuras con L=45 y h=9.

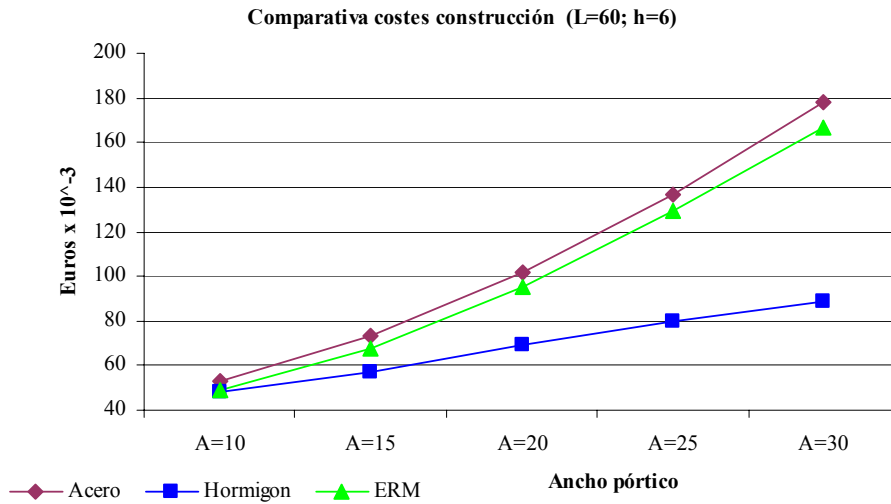


Figura I.25. Gráfico comparativo de costes de construcción para estructuras con L=60 y h=6.

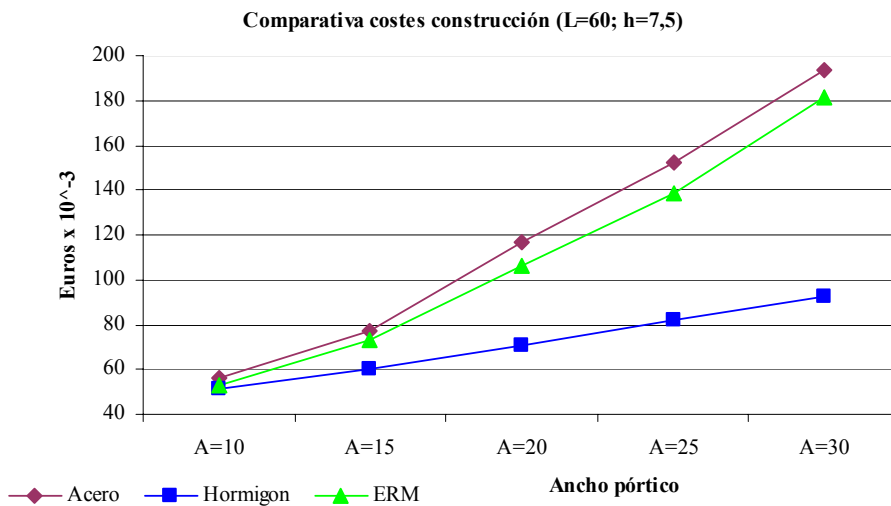


Figura I.26. Gráfico comparativo de costes de construcción para estructuras con L=60 y h=7,5.

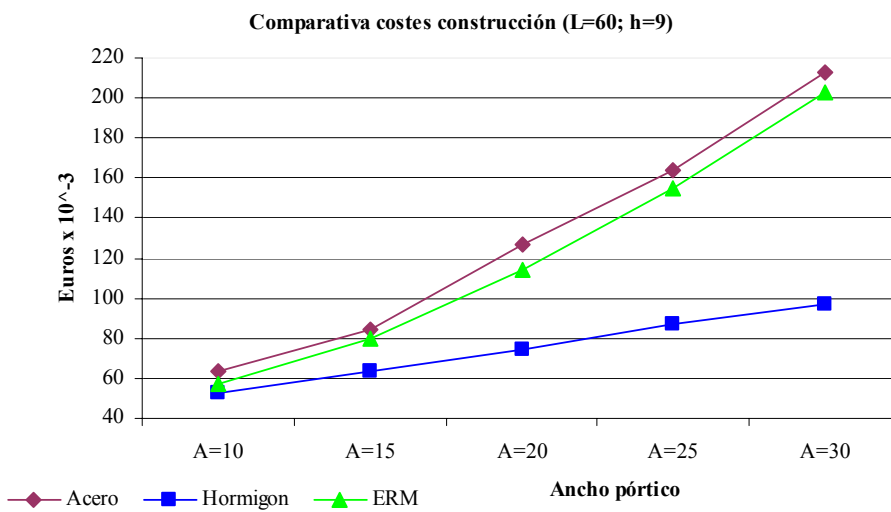


Figura I.27. Gráfico comparativo de costes de construcción para estructuras con L=60 y h=9.

Costes Totales (Construcción+ Desconstrucción)

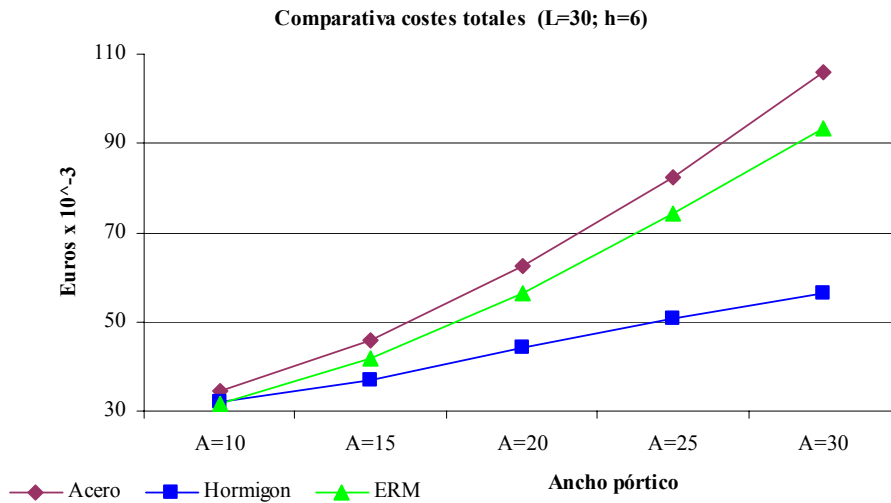


Figura I.28. Gráfico comparativo de costes totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=30 y h=6.

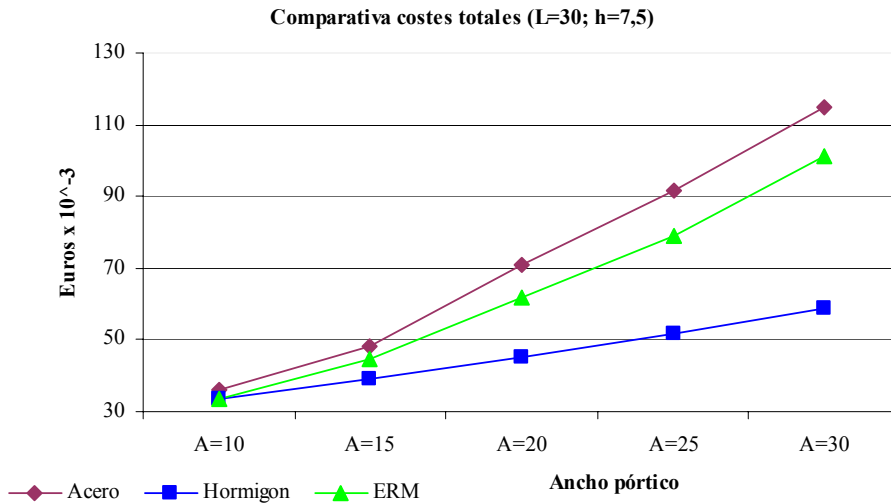


Figura I.29. Gráfico comparativo de costes totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=30 y h=7,5.

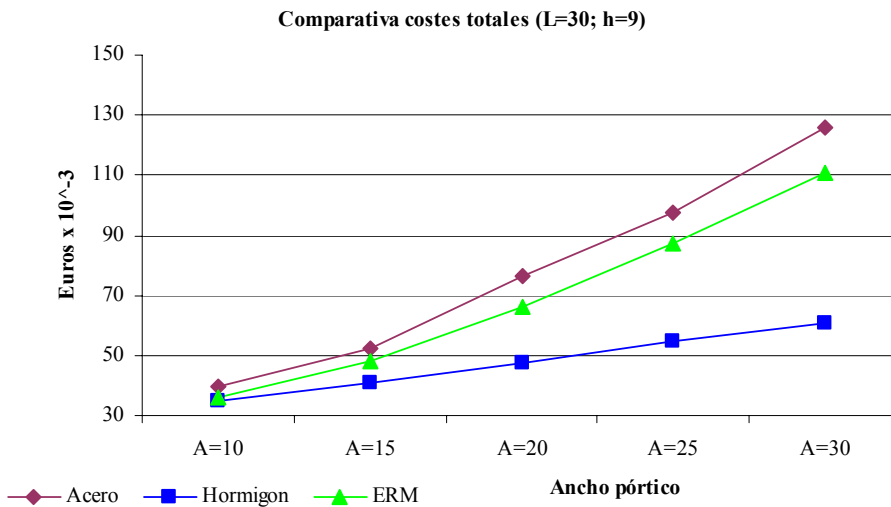


Figura I.30. Gráfico comparativo de costes totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=30 y h=9.

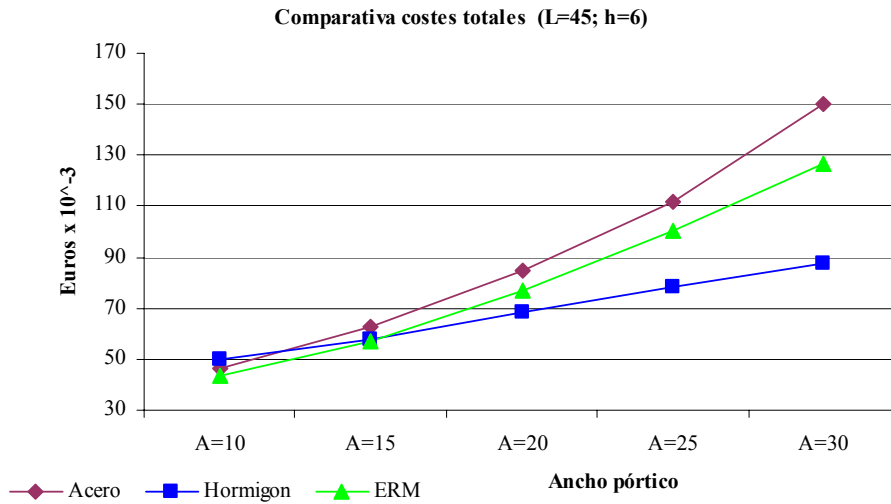


Figura I.31. Gráfico comparativo de costes totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=45 y h=6.

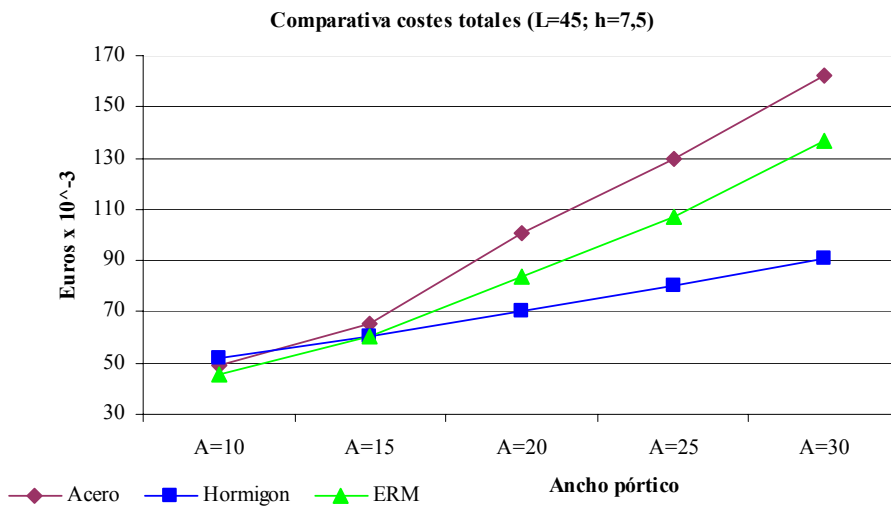


Figura I.32. Gráfico comparativo de costes totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=45 y h=7,5.

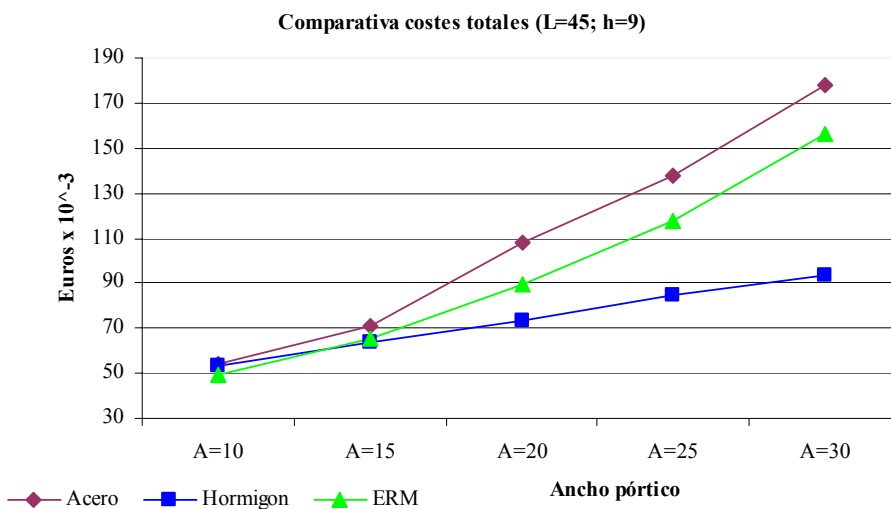


Figura I.33. Gráfico comparativo de costes totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=45 y h=9.

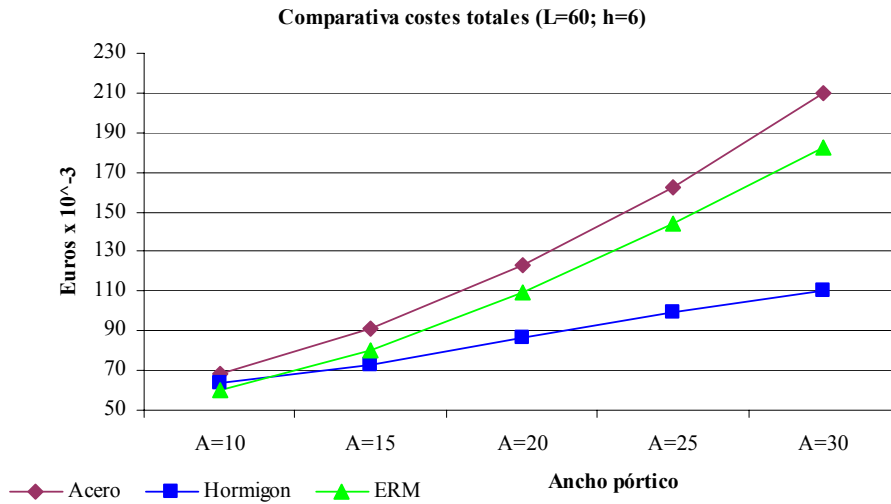


Figura I.34. Gráfico comparativo de costes totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=60 y h=6.

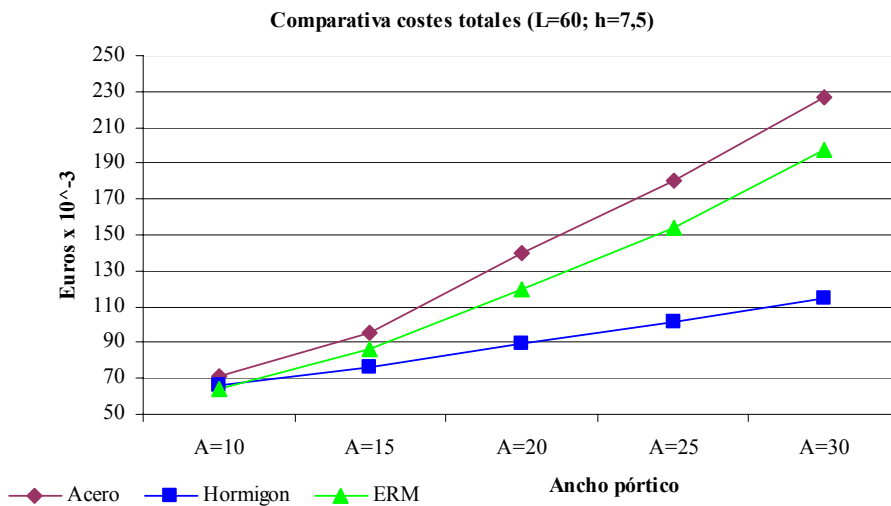


Figura I.35. Gráfico comparativo de costes totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=60 y h=7,5.

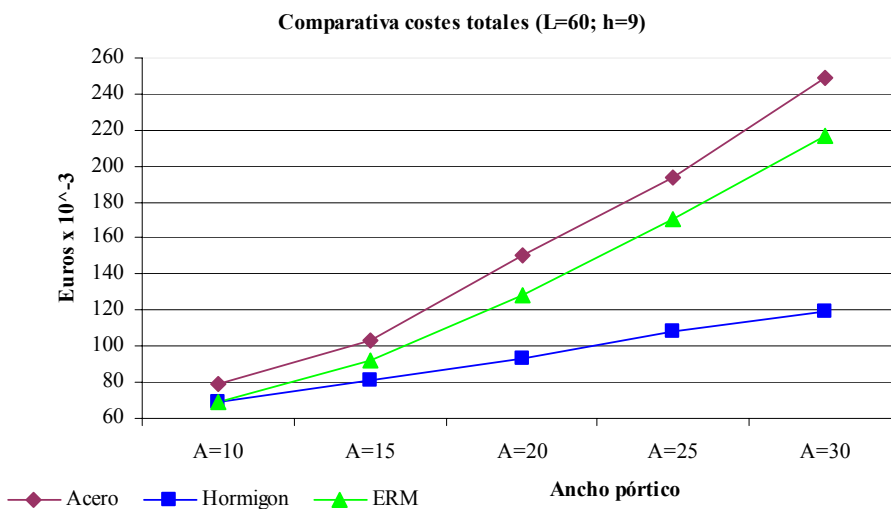


Figura I.36. Gráfico comparativo de costes totales (construcción+desconstrucción) para estructuras con L=60 y h=9.

**I.2.3. Gráficos de resultados para magnitud de riesgo**

*Seguridad de Construcción*

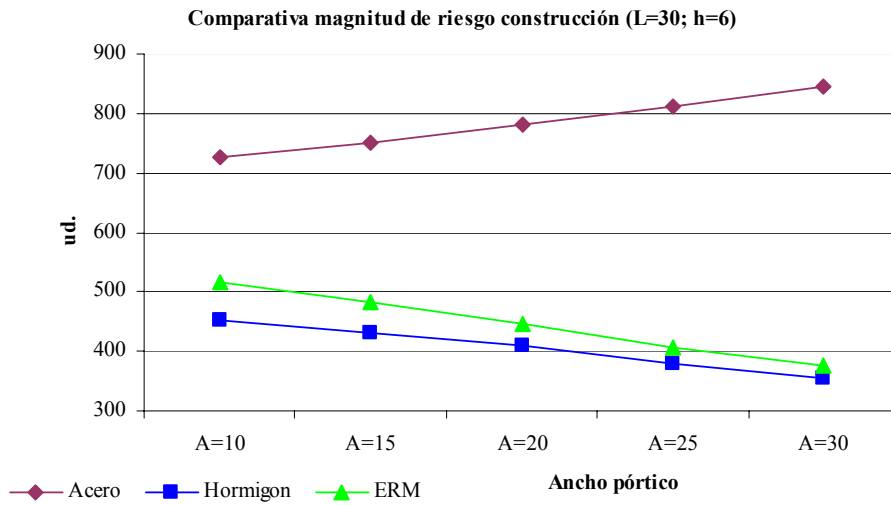


Figura I.37. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo de construcción para estructuras con L=30 y h=6.

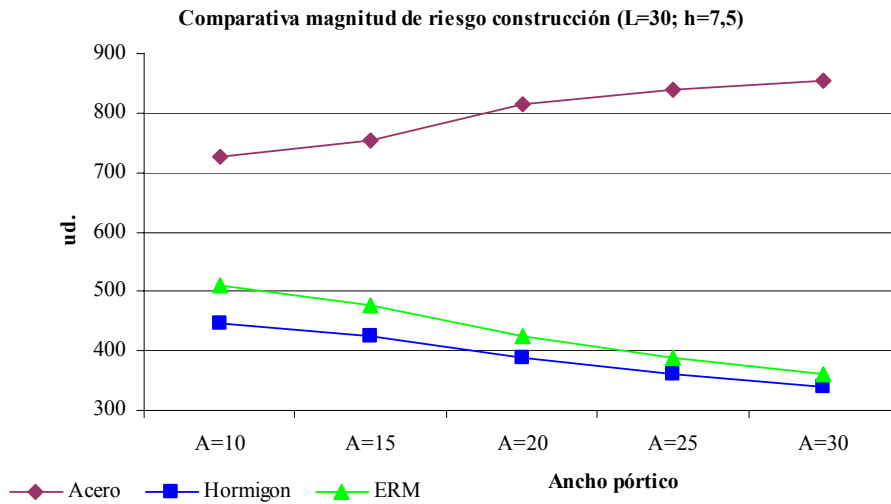


Figura I.38. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo de construcción para estructuras con L=30 y h=7,5.

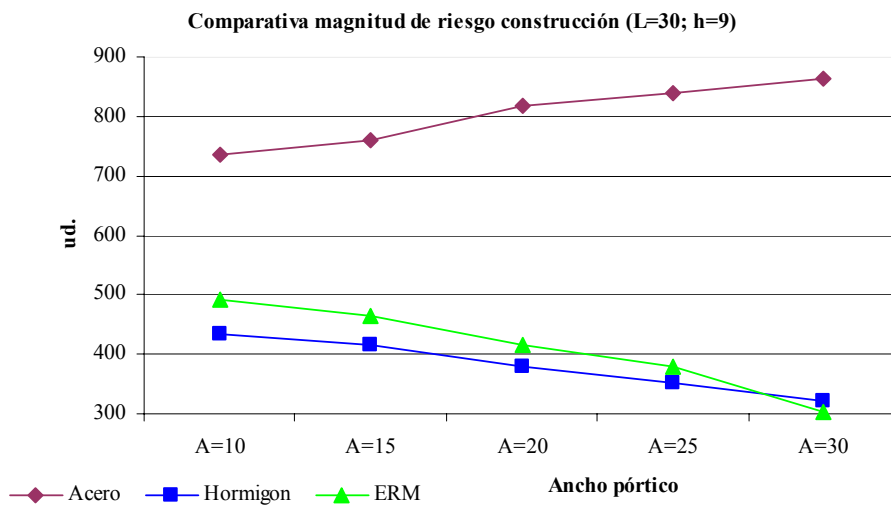


Figura I.39. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo de construcción para estructuras con L=30 y h=9.

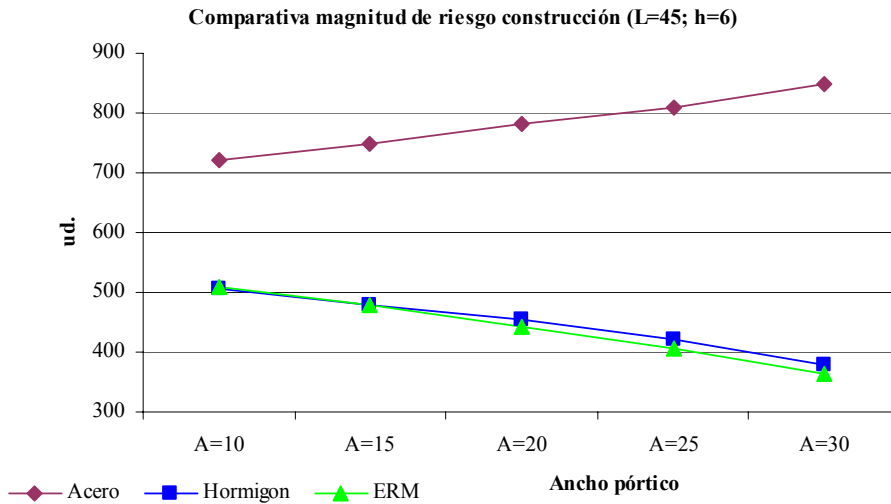


Figura I.40. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo de construcción para estructuras con L=45 y h=6.

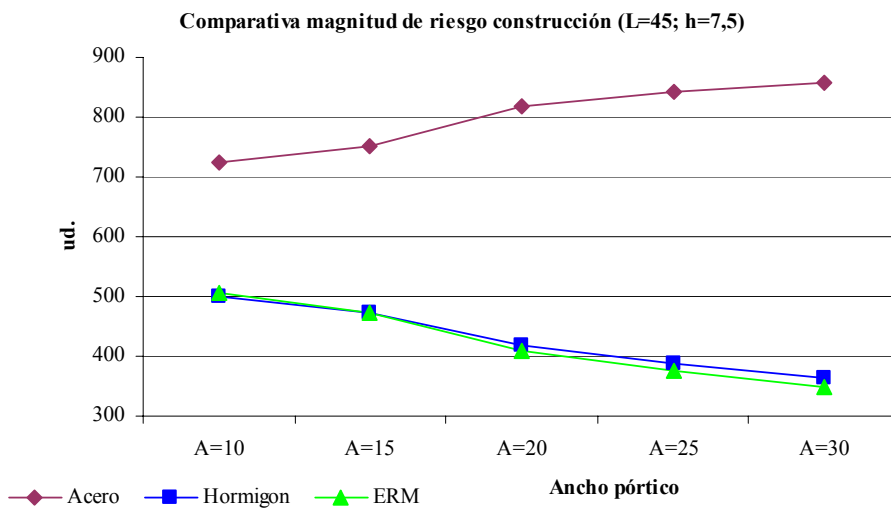


Figura I.41. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo de construcción para estructuras con L=45 y h=7,5.

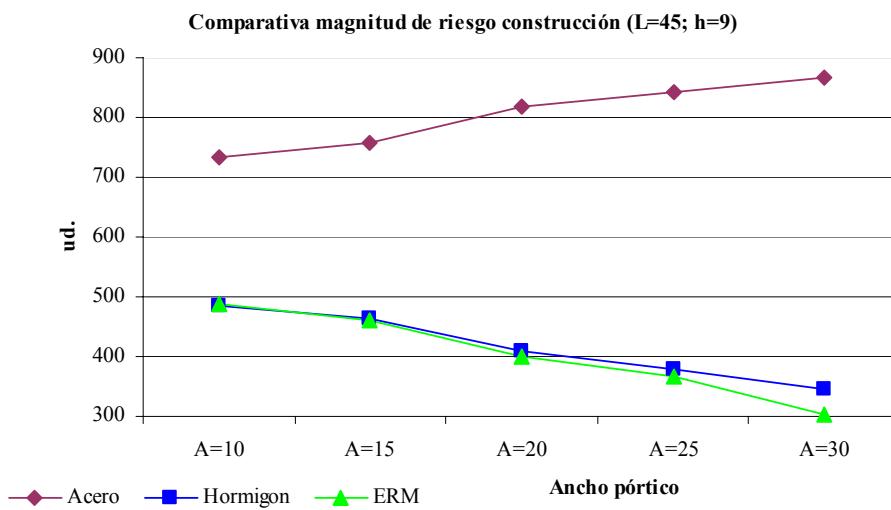


Figura I.42. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo de construcción para estructuras con L=45 y h=9.



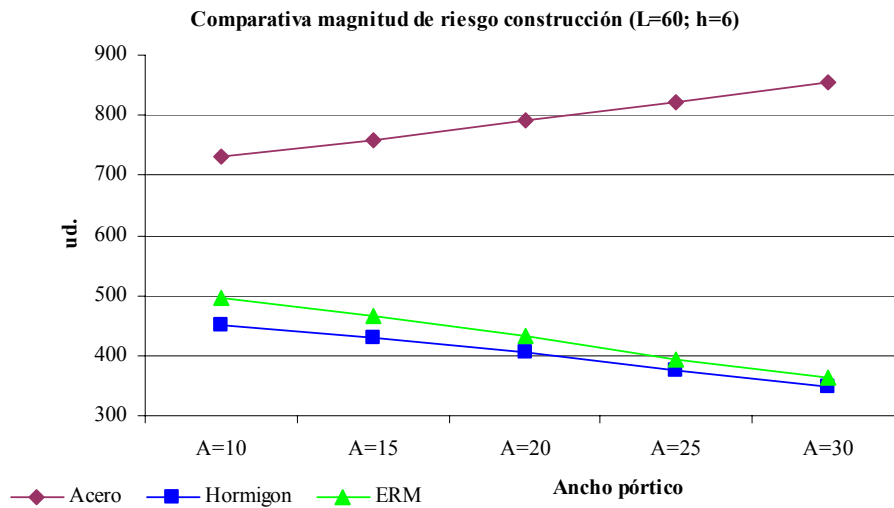


Figura I.43. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo de construcción para estructuras con L=60 y h=6.

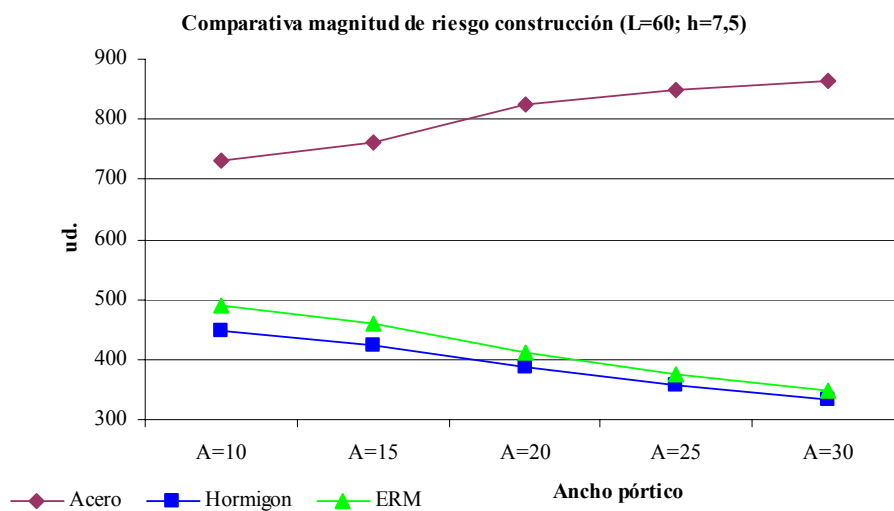


Figura I.44. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo de construcción para estructuras con L=60 y h=7,5.

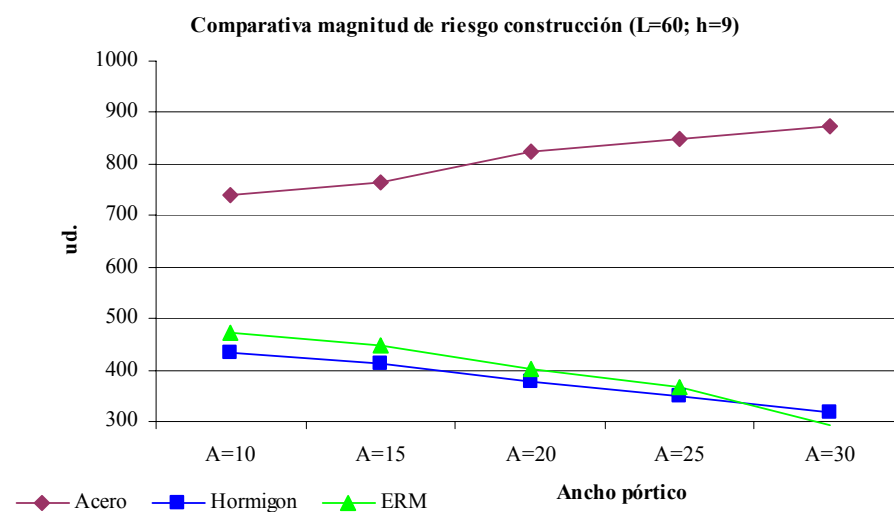


Figura I.45. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo de construcción para estructuras con L=60 y h=9.

Seguridad Total (Construcción+ Desconstrucción)

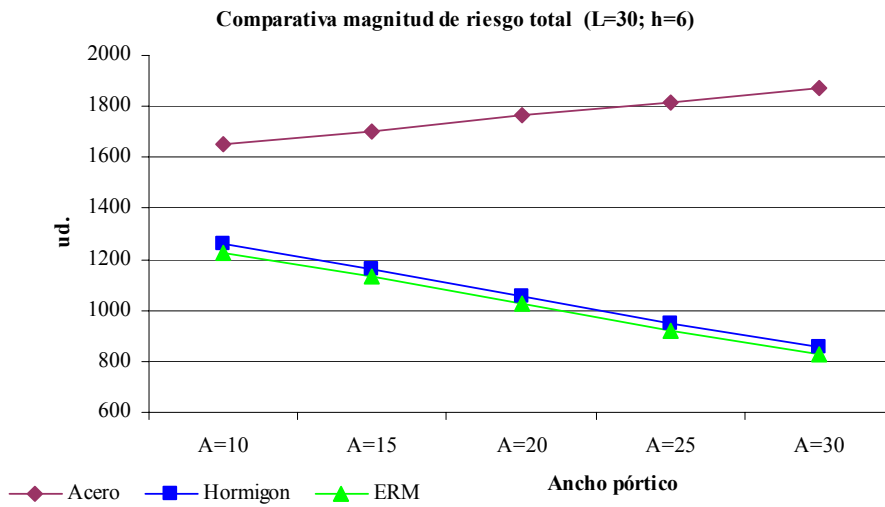


Figura I.46. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo construcción+desconstrucción para estructuras con L=30 y h=6.

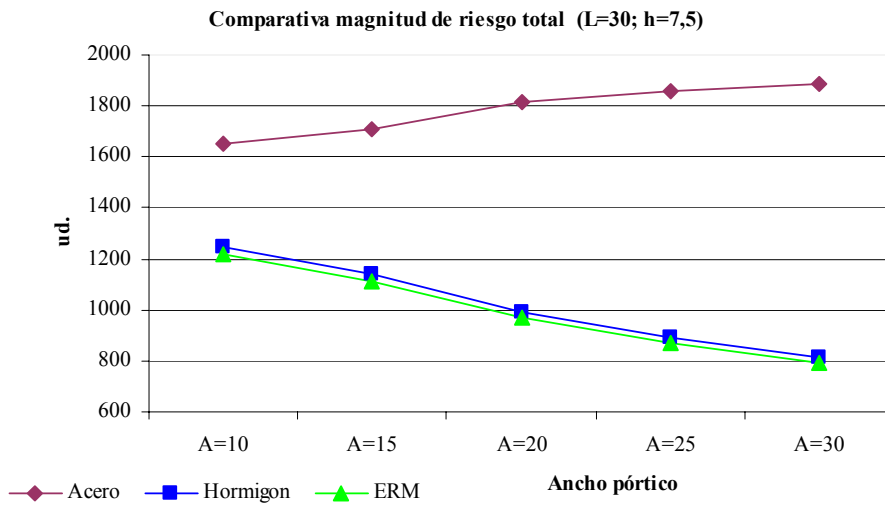


Figura I.47. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo construcción+desconstrucción para estructuras con L=30 y h=7,5.

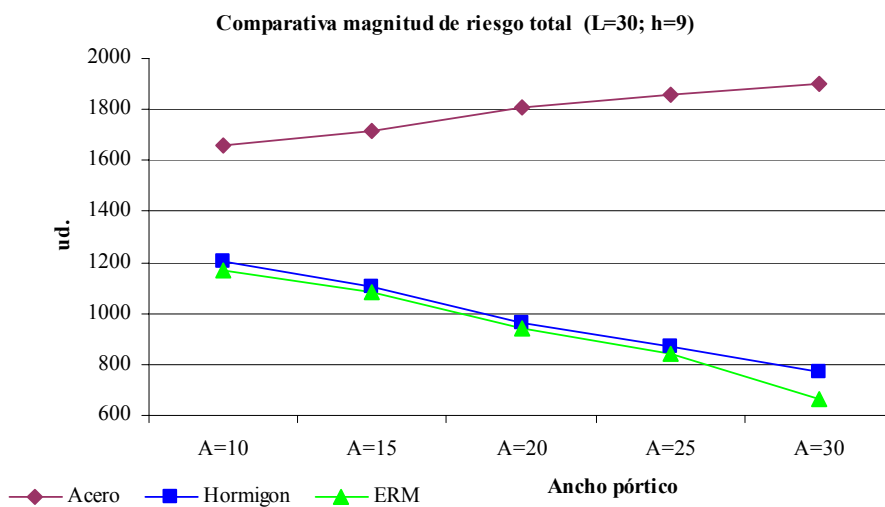


Figura I.48. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo construcción+desconstrucción para estructuras con L=30 y h=9.

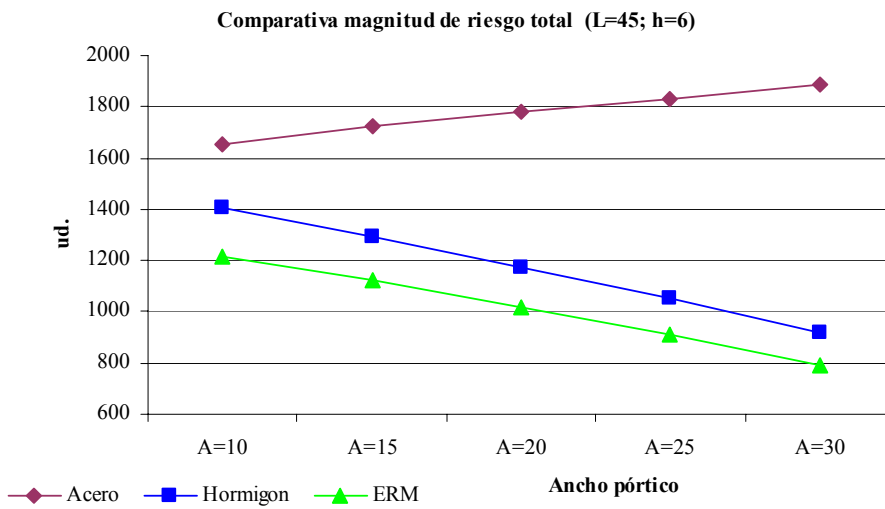


Figura I.49. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo construcción+desconstrucción para estructuras con L=45 y h=6.

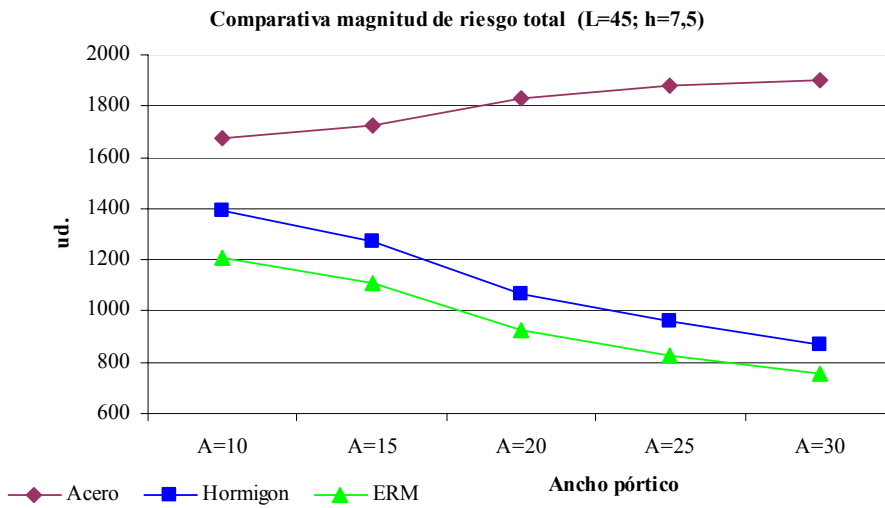


Figura I.50. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo construcción+desconstrucción para estructuras con L=45 y h=7,5.

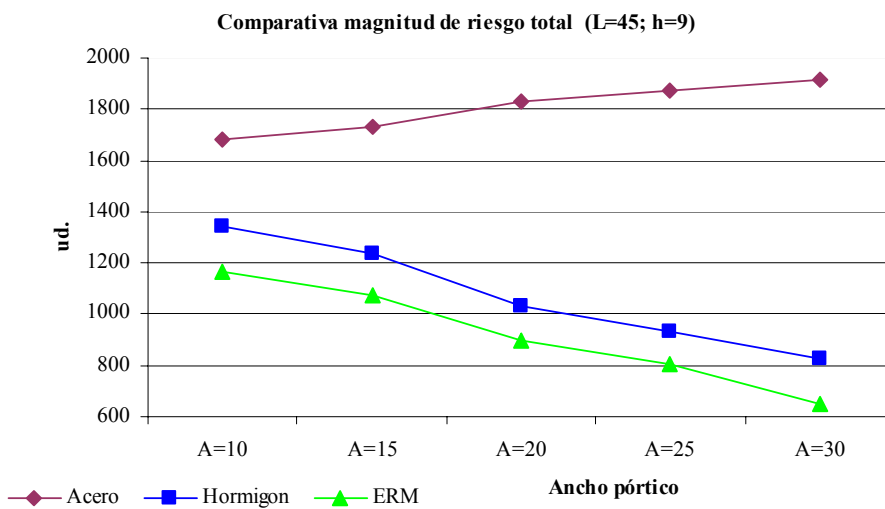


Figura I.51. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo construcción+desconstrucción para estructuras con L=45 y h=9.

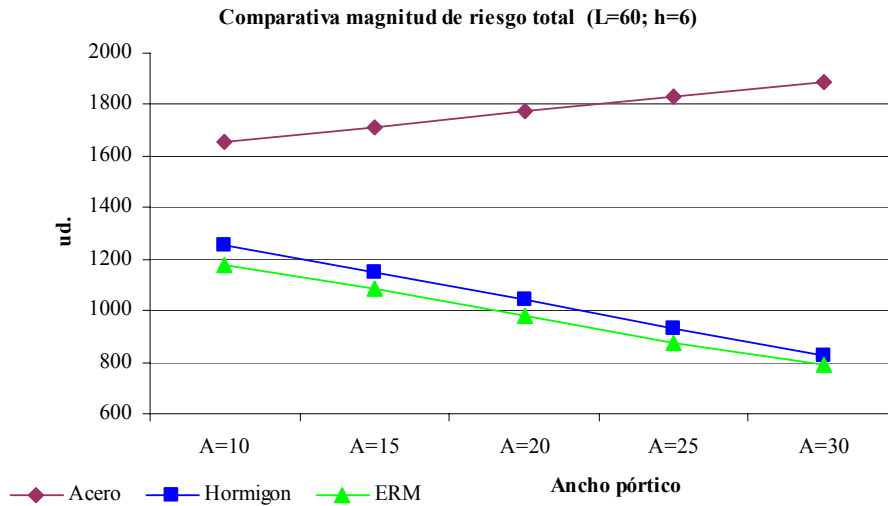


Figura I.52. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo construcción+desconstrucción para estructuras con L=60 y h=6.

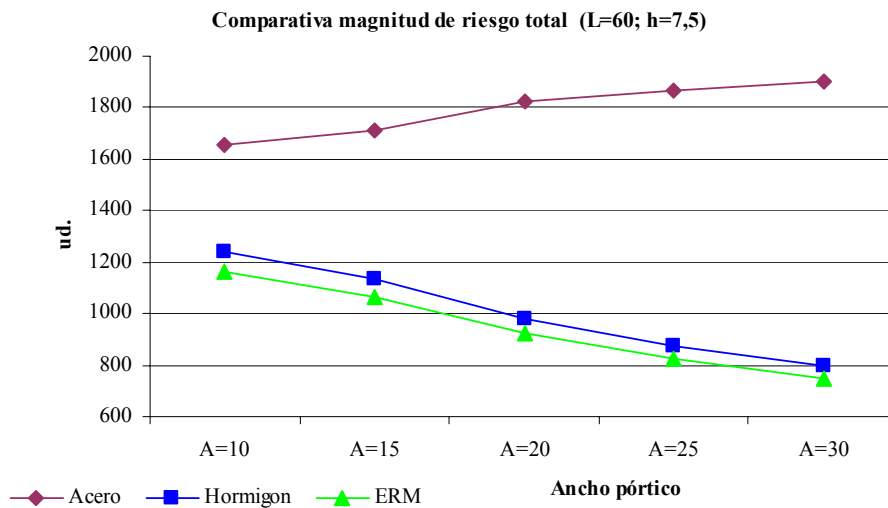


Figura I.53. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo construcción+desconstrucción para estructuras con L=60 y h=7,5.

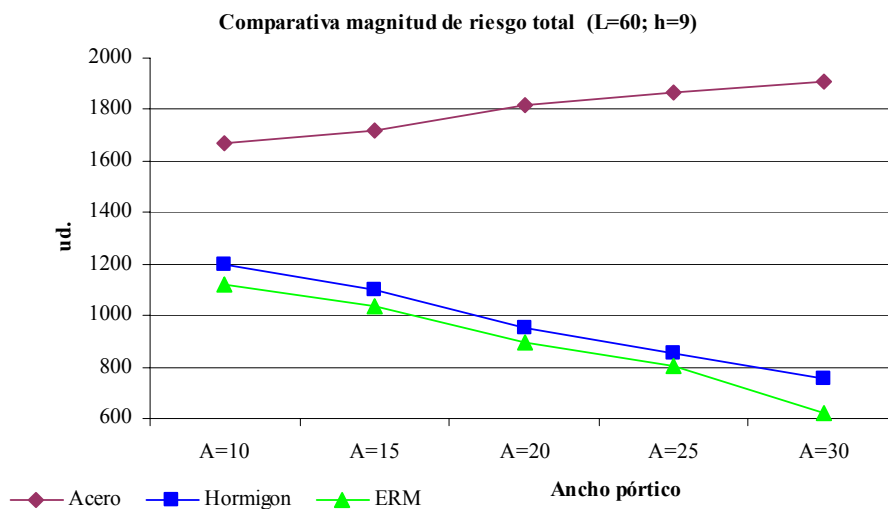


Figura I.54. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo construcción+desconstrucción para estructuras con L=60 y h=9.

### I.3. Modelos de Regresión Lineales Múltiples (MRLM)

Para la obtención de los distintos MRLM se ha utilizado el software Minitab, el cual agiliza los pasos a realizar para encontrar un MRLM a partir de mínimos cuadrados. Las variables explicativas introducidas son el ancho de pórtico (A), la longitud del edificio (L), y la altura del pórtico (h). Las variables endógenas buscadas son el Tiempo, el Coste y la Seguridad para cada caso en función de las variables explicativas. Estas variables endógenas se han dividido para cada caso en Totales (para el conjunto de la vida útil del edificio), y en de Construcción (considerando tan solo la fase de construcción del edificio).

#### I.3.1. MRLM para tiempos

##### *Sistema Estructural de ERM*

Para la solución constructiva estructural de ERM, se obtiene el siguiente modelo para Tiempo Total:

The regression equation is

$$\text{Tiempo TOTAL} = - 65,4 + 4,41 A + 5,11 L - 0,42 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-65,36	14,65	-4,46	0,000
A	4,4073	0,2674	16,48	0,000
L	5,1085	0,1544	33,09	0,000
h	-0,425	1,544	-0,28	0,785

S = 12,69      R-Sq = 97,1%      R-Sq (adj) = 96,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	219873	73291	455,45	0,000
Residual Error	41	6598	161		
Total	44	226470			

Mientras que para Tiempo de Construcción los resultados estadísticos son los siguientes:

The regression equation is

$$\text{Tiempo Construcción} = - 45,7 + 2,85 A + 2,82 L - 0,360 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-45,740	8,431	-5,43	0,000
A	2,8550	0,1539	18,55	0,000
L	2,81804	0,08887	31,71	0,000
h	-0,3600	0,8887	-0,41	0,688

S = 7,301      R-Sq = 97,1%      R-Sq (adj) = 96,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	71952	23984	449,92	0,000
Residual Error	41	2186	53		
Total	44	74138			

Del contraste de significación individual, se extrae que, para ambos casos, la variable altura (h) no es estadísticamente significativa para un nivel de significación de 5% (95% de confianza). Por este motivo se vuelve a realizar la estimación sin considerar la variable h.

## Para el Tiempo Total:

The regression equation is

$$\mathbf{Tiempo\ TOTAL = - 68,5 + 4,41 A + 5,11 L}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-68,544	8,871	-7,73	0,000
A	4,4073	0,2645	16,66	0,000
L	5,1085	0,1527	33,46	0,000

S = 12,55      R-Sq = 97,1%      R-Sq(adj) = 96,9%

## Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	219860	109930	698,51	0,000
Residual Error	42	6610	157		
Total	44	226470			

## Para el Tiempo de Construcción:

The regression equation is

$$\mathbf{Tiempo\ Construcción = - 48,4 + 2,85 A + 2,82 L}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-48,440	5,111	-9,48	0,000
A	2,8550	0,1524	18,74	0,000
L	2,81804	0,08798	32,03	0,000

S = 7,228      R-Sq = 97,0%      R-Sq(adj) = 96,9%

## Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	71944	35972	688,50	0,000
Residual Error	42	2194	52		
Total	44	74138			

En los modelos nuevos, todas las variables explicativas son estadísticamente significativas. Además, realizando el contraste de significación global de los modelos, los estadísticos de prueba son superiores a los valores críticos de la distribución F de Snedecor con 2 grados de libertad, con lo que los modelos resultan globalmente significativos para un nivel de significación de contraste del 5%. Además, el coeficiente de bondad de los dos ajustes es del 97,1% y 97%, valores muy cercanos al 100%, explicando los modelos un porcentaje muy elevado de la variabilidad de resultados obtenidos.

*Sistema Estructural de Hormigón Prefabricado*

## Para el Tiempo Total:

The regression equation is

$$\mathbf{Tiempo\ TOTAL = - 75,0 + 3,84 A + 5,54 L + 2,08 h}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-75,034	7,957	-9,43	0,000
A	3,8356	0,1453	26,40	0,000
L	5,53844	0,08387	66,04	0,000
h	2,0844	0,8387	2,49	0,017

S = 6,891      R-Sq = 99,2%      R-Sq(adj) = 99,1%

## Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
--------	----	----	----	---	---

Regression	3	240446	80149	1688,07	0,000
Residual Error	41	1947	47		
Total	44	242393			

Para el Tiempo de Construcción:

The regression equation is

$$\text{Tiempo Construcción} = -30,3 + 1,65 A + 2,37 L + 0,720 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-30,312	3,448	-8,79	0,000
A	1,64600	0,06296	26,15	0,000
L	2,36744	0,03635	65,13	0,000
h	0,7200	0,3635	1,98	0,054

S = 2,986      R-Sq = 99,2%      R-Sq(adj) = 99,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	43963	14654	1643,28	0,000
Residual Error	41	366	9		
Total	44	44329			

Para las estructuras de hormigón prefabricado, la variable altura (h) no es estadísticamente significativa con un nivel de significación de 5% para el modelo de regresión de la variable endógena Tiempo de Construcción. Por ello se procede a redefinir el modelo de regresión sin considerar h.

Para el Tiempo de Construcción:

The regression equation is

$$\text{Tiempo Construcción} = -24,9 + 1,65 A + 2,37 L$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-24,912	2,184	-11,41	0,000
A	1,64600	0,06511	25,28	0,000
L	2,36744	0,03759	62,98	0,000

S = 3,088      R-Sq = 99,1%      R-Sq(adj) = 99,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	43928	21964	2302,66	0,000
Residual Error	42	401	10		
Total	44	44329			

Con el nuevo modelo, todas las variables exógenas consideradas son estadísticamente significativas. Ambos modelos de regresión son globalmente significativos, con una bondad de ajuste muy elevada (valores muy cercanos al 100%).

### Sistema Estructural de Acero

Para el Tiempo Total:

The regression equation is

$$\text{Tiempo TOTAL} = -402 + 16,0 A + 8,83 L + 12,1 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-402,23	42,40	-9,49	0,000
A	15,9921	0,7741	20,66	0,000
L	8,8285	0,4469	19,75	0,000
h	12,081	4,469	2,70	0,010

S = 36,72      R-Sq = 95,3%      R-Sq (adj) = 94,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1111393	370464	274,77	0,000
Residual Error	41	55278	1348		
Total	44	1166671			

Para el Tiempo de Construcción:

The regression equation is

$$\text{Tiempo construcción} = - 214 + 8,60 A + 4,64 L + 5,91 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-213,86	22,43	-9,53	0,000
A	8,6026	0,4095	21,01	0,000
L	4,6374	0,2364	19,61	0,000
h	5,913	2,364	2,50	0,016

S = 19,43      R-Sq = 95,3%      R-Sq (adj) = 95,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	314029	104676	277,40	0,000
Residual Error	41	15471	377		
Total	44	329500			

Para las estructuras de acero todas las variables exógenas son significativas para ambos casos. Además, los modelos de regresión son globalmente significativos, con una bondad de ajuste muy elevada (valores muy cercanos al 100%).

### I.3.2. MRLM para costes

#### *Sistema Estructural de ERM*

Para la solución constructiva estructural de ERM, se obtiene el siguiente modelo para Coste Total:

The regression equation is

$$C \text{ Total} = - 136 + 4,97 A + 2,02 L + 5,01 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-135,61	14,28	-9,50	0,000
A	4,9662	0,2606	19,05	0,000
L	2,0234	0,1505	13,45	0,000
h	5,014	1,505	3,33	0,002

S = 12,36      R-Sq = 93,1%      R-Sq (adj) = 92,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	84823	28274	184,98	0,000
Residual Error	41	6267	153		
Total	44	91090			

Para el Coste de Construcción:

The regression equation is

$$C \text{ Construcción} = - 134 + 4,81 A + 1,81 L + 5,02 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-133,56	14,08	-9,49	0,000
A	4,8108	0,2570	18,72	0,000



L	1,8144	0,1484	12,23	0,000
h	5,022	1,484	3,39	0,002

S = 12,19      R-Sq = 92,6%      R-Sq(adj) = 92,0%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	75999	25333	170,49	0,000
Residual Error	41	6092	149		
Total	44	82091			

Para las estructuras de ERM todas las variables explicativas son significativas para ambos casos. Además, los modelos de regresión de costes son globalmente significativos, con una bondad de ajuste muy elevada.

### *Sistema Estructural de Hormigón Prefabricado*

Para el Coste Total:

The regression equation is

$$\mathbf{C \ Total = - 49,4 + 1,91 A + 1,48 L + 1,85 h}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-49,404	4,658	-10,61	0,000
A	1,90763	0,08504	22,43	0,000
L	1,47511	0,04910	30,05	0,000
h	1,8457	0,4910	3,76	0,001

S = 4,034      R-Sq = 97,2%      R-Sq(adj) = 97,0%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	23105,4	7701,8	473,37	0,000
Residual Error	41	667,1	16,3		
Total	44	23772,5			

Para el Coste de Construcción:

The regression equation is

$$\mathbf{C \ Construcción = - 43,2 + 1,64 A + 1,18 L + 1,62 h}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-43,234	4,087	-10,58	0,000
A	1,64214	0,07462	22,01	0,000
L	1,17913	0,04308	27,37	0,000
h	1,6213	0,4308	3,76	0,001

S = 3,540      R-Sq = 96,8%      R-Sq(adj) = 96,6%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	15629,8	5209,9	415,84	0,000
Residual Error	41	513,7	12,5		
Total	44	16143,4			

Para las estructuras de Hormigón Prefabricado todas las variables explicativas son significativas para ambos casos. Además, los modelos de regresión de costes son globalmente significativos, con una bondad de ajuste muy elevada.

*Sistema Estructural de Acero*

Para el Coste Total:

The regression equation is

$$\mathbf{C\ Total = - 164 + 5,87 A + 2,36 L + 6,08 h}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-163,62	16,25	-10,07	0,000
A	5,8691	0,2967	19,78	0,000
L	2,3550	0,1713	13,75	0,000
h	6,078	1,713	3,55	0,001

S = 14,07      R-Sq = 93,5%      R-Sq(adj) = 93,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	117435	39145	197,66	0,000
Residual Error	41	8120	198		
Total	44	125554			

Para el Coste de Construcción:

The regression equation is

$$\mathbf{C\ Construcción = - 146 + 5,16 A + 1,97 L + 5,51 h}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-145,56	14,34	-10,15	0,000
A	5,1622	0,2618	19,72	0,000
L	1,9727	0,1512	13,05	0,000
h	5,509	1,512	3,64	0,001

S = 12,42      R-Sq = 93,3%      R-Sq(adj) = 92,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	88274	29425	190,78	0,000
Residual Error	41	6324	154		
Total	44	94598			

Para las estructuras de Acero todas las variables explicativas son significativas para ambos casos. Además, los modelos de regresión de costes son globalmente significativos, con una bondad de ajuste muy elevada.

**I.3.3. MRLM para seguridad***Sistema Estructural de ERM*

Para la solución constructiva estructural de ERM, se obtiene el siguiente modelo para Seguridad Total:

The regression equation is

$$\mathbf{S\ TOTAL = 1707 - 22,6 A - 1,48 L - 29,9 h}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1707,05	27,47	62,14	0,000
A	-22,6454	0,5016	-45,15	0,000
L	-1,4828	0,2896	-5,12	0,000
h	-29,871	2,896	-10,32	0,000

S = 23,79      R-Sq = 98,1%      R-Sq(adj) = 98,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1228902	409634	723,72	0,000
Residual Error	41	23206	566		

Total 44 1252108

#### Para la Seguridad de Construcción:

The regression equation is

$$S \text{ Construcción} = 693 - 7,99 A - 0,507 L - 11,8 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	692,70	11,75	58,93	0,000
A	-7,9880	0,2146	-37,22	0,000
L	-0,5070	0,1239	-4,09	0,000
h	-11,758	1,239	-9,49	0,000

S = 10,18 R-Sq = 97,3% R-Sq(adj) = 97,1%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	154635	51545	497,46	0,000
Residual Error	41	4248	104		
Total	44	158883			

Para las estructuras de ERM todas las variables explicativas son significativas para ambos casos. Además, los modelos de regresión de seguridad son globalmente significativos, con una bondad de ajuste muy elevada.

#### *Sistema Estructural de Hormigón Prefabricado*

#### Para la Seguridad Total:

The regression equation is

$$S \text{ Total} = 1785 - 23,7 A - 0,791 L - 29,9 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1784,70	67,25	26,54	0,000
A	-23,687	1,228	-19,29	0,000
L	-0,7914	0,7088	-1,12	0,271
h	-29,916	7,088	-4,22	0,000

S = 58,24 R-Sq = 90,5% R-Sq(adj) = 89,8%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1327062	442354	130,43	0,000
Residual Error	41	139049	3391		
Total	44	1466111			

#### Para la Seguridad de Construcción:

The regression equation is

$$S \text{ Construcción} = 594 - 5,96 A - 0,087 L - 8,84 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	593,97	24,50	24,25	0,000
A	-5,9625	0,4472	-13,33	0,000
L	-0,0868	0,2582	-0,34	0,739
h	-8,840	2,582	-3,42	0,001

S = 21,21 R-Sq = 82,2% R-Sq(adj) = 80,9%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	85317	28439	63,19	0,000

Residual Error	41	18452	450
Total	44	103769	

Del contraste de significación individual, se extrae que, para ambos casos, la variable longitud (L) no es estadísticamente significativa para un nivel de significación de 5% (95% de confianza). Por este motivo se vuelve a realizar la estimación sin considerar la variable L.

#### Para la Seguridad Total:

The regression equation is

$$S \text{ Total} = 1749 - 23,7 A - 29,9 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1749,08	59,37	29,46	0,000
A	-23,687	1,231	-19,24	0,000
h	-29,916	7,109	-4,21	0,000

S = 58,41      R-Sq = 90,2%      R-Sq(adj) = 89,8%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	1322835	661417	193,89	0,000
Residual Error	42	143276	3411		
Total	44	1466111			

#### Para la Seguridad de Construcción:

The regression equation is

$$S \text{ Construcción} = 590 - 5,96 A - 8,84 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	590,06	21,34	27,66	0,000
A	-5,9625	0,4425	-13,47	0,000
h	-8,840	2,555	-3,46	0,001

S = 20,99      R-Sq = 82,2%      R-Sq(adj) = 81,3%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	85266	42633	96,77	0,000
Residual Error	42	18503	441		
Total	44	103769			

Los nuevos modelos de regresión poseen todas las variables explicativas significativas. Además, los modelos de regresión de seguridad son globalmente significativos, con una bondad de ajuste bastante elevada.

#### Sistema Estructural de Acero

#### Para la Seguridad Total:

The regression equation is

$$S \text{ Total} = 1463 + 12,1 A + 0,290 L + 9,08 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1462,52	19,72	74,18	0,000
A	12,1283	0,3600	33,69	0,000
L	0,2895	0,2078	1,39	0,171
h	9,080	2,078	4,37	0,000

S = 17,08      R-Sq = 96,6%      R-Sq(adj) = 96,3%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	337097	112366	385,39	0,000
Residual Error	41	11954	292		
Total	44	349051			

**Para la Seguridad de Construcción:**

The regression equation is

$$S \text{ Construcción} = 602 + 6,69 A + 0,252 L + 6,74 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	601,68	11,29	53,29	0,000
A	6,6852	0,2061	32,43	0,000
L	0,2518	0,1190	2,12	0,040
h	6,738	1,190	5,66	0,000

S = 9,777      R-Sq = 96,4%      R-Sq(adj) = 96,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	104048	34683	362,81	0,000
Residual Error	41	3919	96		
Total	44	107968			

En las estructuras de Acero, la variable L no es estadísticamente significativa para la ecuación de S Total. Por ello se vuelve a realizar la regresión sin considerar esta variable.

**Para la Seguridad Total:**

The regression equation is

$$S \text{ Total} = 1476 + 12,1 A + 9,08 h$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1475,55	17,55	84,07	0,000
A	12,1283	0,3640	33,32	0,000
h	9,080	2,101	4,32	0,000

S = 17,27      R-Sq = 96,4%      R-Sq(adj) = 96,2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	336532	168266	564,47	0,000
Residual Error	42	12520	298		
Total	44	349051			

Con el nuevo modelo, todas las variables explicativas son significativas para ambos casos. Además, los modelos de regresión de seguridad son globalmente significativos, con una bondad de ajuste muy elevada.

## I.4. Resultados del ACV para el sistema estructural

En este apartado se muestran los resultados obtenidos del ACV para las tipologías de estructuras estudiadas. Estos resultados se dan de manera gráfica para cada impacto medioambiental considerado, valorándose parcialmente los resultados de cada gráfico.

### Calentamiento global

**Project Title:** Estructuras  
**Life Cycle Stage:** Filling/Packaging/Distribution, Materials Manufacturing, Product Fabrication, Recycle/Waste Management, Raw Materials Acquisition, Use/Reuse/Maintenance  
**Impact Type:** Global Warming  
**Equivalency Potential Indicator:** kg CO<sub>2</sub>

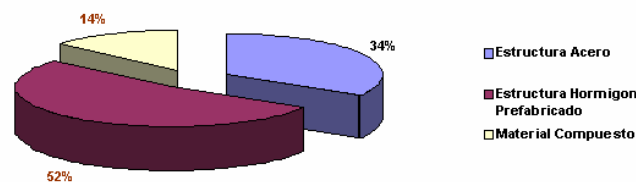


Figura I.55. Resultados de ACV para el impacto de calentamiento global para sistema estructural.

La estructura que contribuye más al impacto de calentamiento global es la de hormigón prefabricado (52%). En un segundo plano queda la estructura de acero (34%), destacando la estructura de material compuesto por su baja contribución (14%) respecto a los otros tipos de estructuras. Las emisiones que afectan más a este factor son el dióxido de carbono en mayor medida y el metano en menor medida, presentes en las diferentes etapas de los procesos. El transporte produce emisiones bastante elevadas de dióxido de carbono. Las estructuras de hormigón prefabricado requieren de más tiempo de transporte respecto a las otras soluciones debido a su mayor peso.

### Formación de niebla tóxica

**Project Title:** Estructuras  
**Life Cycle Stage:** Filling/Packaging/Distribution, Materials Manufacturing, Product Fabrication, Recycle/Waste Management, Raw Materials Acquisition, Use/Reuse/Maintenance  
**Impact Type:** Photochemical Smog  
**Equivalency Potential Indicator:** g NO<sub>x</sub> equiv

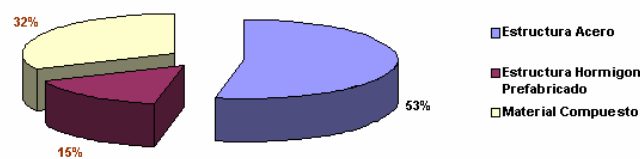


Figura I.56. Resultados de ACV para el impacto de formación de niebla tóxica para sistema estructural.

La estructura de acero posee un valor relativo del 53% de emisiones, el material compuesto un 32% y el que produce menos niebla tóxica es la estructura de hormigón prefabricado (15%). Las emisiones que la producen son los óxidos de nitrógeno de forma destacable y más modestamente el monóxido de carbono. Durante el reciclaje del acero se producen numerosas emisiones que afectan directamente a este impacto.

### Acidificación

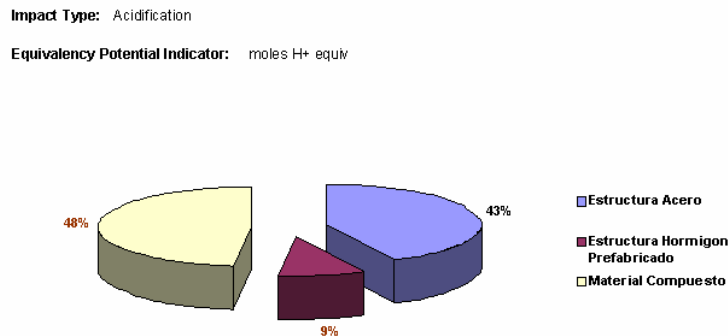


Figura I.57. Resultados de ACV para el impacto de acidificación para sistema estructural.

La estructura de material compuesto (48%) es la que produce más emisiones que afectan a la acidificación, sobretodo influyen los óxidos de azufre. En un valor muy similar le sigue la estructura de acero (43%), y en último lugar se encuentra la estructura de hormigón prefabricado (9%). Los contaminantes que afectan más en la estructura de acero y en el material compuesto son los óxidos de azufre, aunque los óxidos de nitrógeno también afectan en parte. La estructura de acero emite la mayoría de estas sustancias en la fase de reciclaje y el material compuesto en las fases de extracción de los materiales.

### Eutrofización

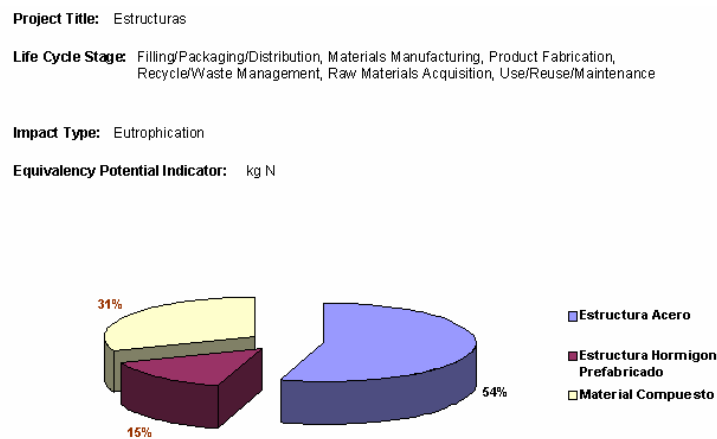


Figura I.58. Resultados de ACV para el impacto de eutrofización para sistema estructural.

En el impacto de la eutrofización, las sustancias que afectan más son los óxidos de nitrógeno, y en menor parte el COD y el BOD. Se observa que la estructura de acero es la que mayor afectación tiene sobre este impacto (55%), seguida por la de material compuesto (31%) y estructura prefabricada de hormigón (15%).

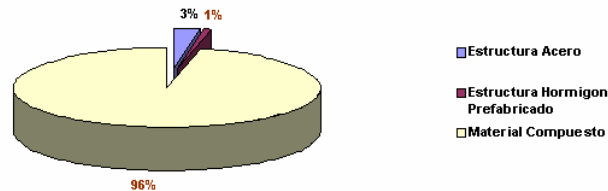
## Salud humana, cáncer

**Project Title:** Estructuras

**Life Cycle Stage:** Filling/Packaging/Distribution, Materials Manufacturing, Product Fabrication, Recycle/Waste Management, Raw Materials Acquisition, Use/Reuse/Maintenance

**Impact Type:** Human Health Cancer

**Equivalency Potential Indicator:** lbs C6H6 equiv



**Figura I.59. Resultados de ACV para el impacto de salud huma (cáncer) para sistema estructural.**

La estructura de material compuesto (96%) afecta de manera muy elevada en comparación a los otros tipos de estructuras. La sustancia que afecta más considerablemente a este impacto es el plomo. Se emite plomo en la extracción de los materiales y en la disposición en vertedero en las estructuras de material compuesto. El benceno también afecta a aumentar levemente este factor sobretodo en las estructuras de acero (3%).

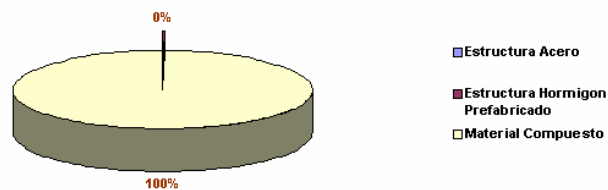
## Salud humana

**Project Title:** Estructuras

**Life Cycle Stage:** Filling/Packaging/Distribution, Materials Manufacturing, Product Fabrication, Recycle/Waste Management, Raw Materials Acquisition, Use/Reuse/Maintenance

**Impact Type:** Human Health Noncancer

**Equivalency Potential Indicator:** lbs C7H7 equiv



**Figura I.60. Resultados de ACV para el impacto de salud huma (no cáncer) para sistema estructural.**

Se aprecia que la solución estructural que afecta más a las posibles enfermedades no cancerígenas, es la de material compuesto. Las sustancias culpables son el plomo y el cobre presentes en sus procesos. Las otras dos tipologías de estructuras afectan de forma despreciable en comparación a la formada por MC.



### Agentes contaminantes para la salud humana

**Project Title:** Estructuras  
**Life Cycle Stage:** Filling/Packaging/Distribution, Materials Manufacturing, Product Fabrication, Recycle/Waste Management, Raw Materials Acquisition, Use/Reuse/Maintenance  
**Impact Type:** Human Health Criteria  
**Equivalency Potential Indicator:** total DALYs

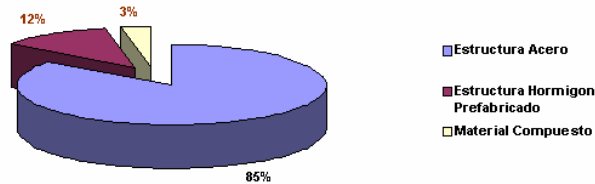


Figura I.61. Resultados de ACV para el impacto agentes contaminantes para la salud humana para sistema estructural.

La estructura de acero representa el más alto porcentaje (85%) para este impacto, en cambio el material compuesto (3%) se comporta muy bien de cara a emisiones de agentes perjudiciales para la salud. En concreto este impacto tiene en cuenta las partículas de polvo en suspensión que son liberadas al aire. En el caso del acero durante la extracción se generan grandes emisiones de estas partículas.

### Ecotoxicidad

**Project Title:** Estructuras  
**Life Cycle Stage:** Filling/Packaging/Distribution, Materials Manufacturing, Product Fabrication, Recycle/Waste Management, Raw Materials Acquisition, Use/Reuse/Maintenance  
**Impact Type:** Ecotoxicity  
**Equivalency Potential Indicator:** lbs 2,4-D equiv

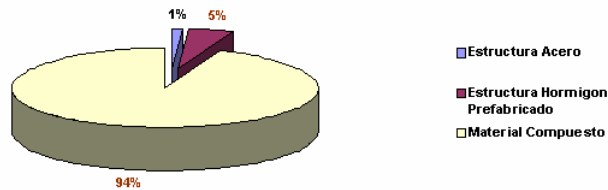


Figura I.62. Resultados de ACV para el impacto de ecotoxicidad para sistema estructural.

La tipología estructural claramente más desfavorable para este impacto es la de material compuesto (94%). Las emisiones de zinc, plomo y sobre todo de cobre, es decir emisiones de metales, son las culpables de que sobresalga tanto respecto a las otras tipologías estructurales.

## Agotamiento de combustibles

**Project Title:** Estructuras

**Life Cycle Stage:** Filling/Packaging/Distribution, Materials Manufacturing, Product Fabrication, Recycle/Waste Management, Raw Materials Acquisition, Use/Reuse/Maintenance

**Impact Type:** Fossil Fuel

**Equivalency Potential Indicator:** MJ

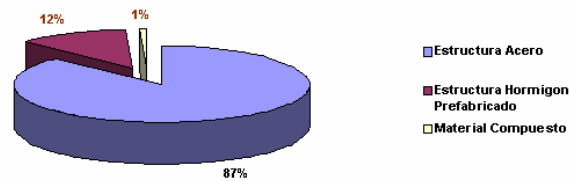


Figura I.63. Resultados de ACV para el impacto de agotamiento de combustibles para sistema estructural.

Para este impacto se puede observar que la estructura de acero es la que tiene un peor comportamiento (87%), seguido de la estructura de hormigón prefabricado (12%) y finalmente la estructura de material compuesto (1%). Al realizársele al acero un tratamiento de reciclaje los consumos energéticos se disparan en comparación a la opción de llevar los residuos al vertedero, que es la considerada en el caso del MC.

## Ocupación

**Project Title:** Estructuras

**Life Cycle Stage:** Filling/Packaging/Distribution, Materials Manufacturing, Product Fabrication, Recycle/Waste Management, Raw Materials Acquisition, Use/Reuse/Maintenance

**Impact Type:** Land Use

**Equivalency Potential Indicator:** te species

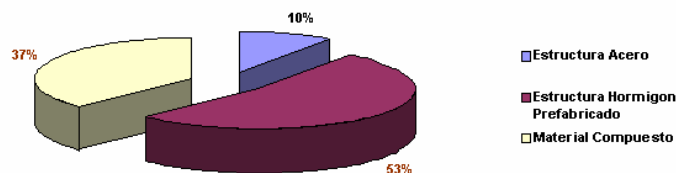
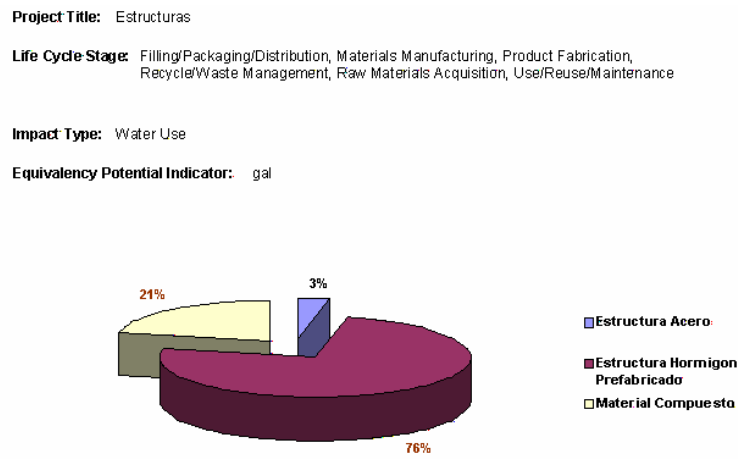


Figura I.64. Resultados de ACV para el impacto de ocupación para sistema estructural.

La tipología estructural que presenta mayor ocupación de espacio en sus fases es la de hormigón prefabricado (53%). El material compuesto se sitúa en un lugar intermedio (37%).

## Uso del agua



**Figura I.65. Resultados de ACV para el impacto de uso de agua para sistema estructural.**

En este caso, la solución estructural de hormigón prefabricado es el que tiene un mayor consumo de agua (76%). Este consumo de agua este concentrado sobretodo en las etapas de extracción y acondicionamiento de los materiales con que se fabrican las piezas de este material.