

Capítulo 7 – Realizaciones

7.1. Introducción

En este apartado se recogen los cálculos realizados para dos forjados de distinto diseño: un forjado mixto de chapa colaborante, y un forjado reticular de hormigón. Ambos son calculados según los estados límites últimos y de servicio, y sus resultados son comparados y analizados.

7.2. Descripción de la estructura

De manera genérica se escoge para el forjado una geometría cuadrada, con cuatro pilares, con una distancia a ejes de los mismos de 7,5 metros, de manera que la superficie libre de forjado a analizar será de 7,5 x 7,5 m (56,25 m²).

7.2.1. Forjado reticulado

El forjado reticulado es un tipo de forjado realizado con hormigón armado y casetones no recuperables. Se podría reducir a un “entramado de nervios” armados, perpendiculares entre sí, que conforman la estructura resistente. Los casetones son huecos por dentro. Esa es la manera de aligerar la estructura. La zona que rodea a los pilares es maciza. Esto se hace para evitar que el forjado falle por punzonamiento, ya que el pilar actúa, de alguna manera, como una carga puntual concentrada. El canto total del forjado es de 45 cm, de los cuales los 10 cm superiores corresponden a una capa de compresión del hormigón. Las vigas perimetrales son planas y su sección es de 45x35 cm.

El peso propio del forjado reticular es de 6,15 kN/m², con un volumen de hormigón de 0,251 m³/m², ancho de nervio de 12 cm, y casetones de 80 cm. La armadura base del forjado reticular ha sido de 1Ø10 superior y 1Ø20 inferior en cada uno de los nervios y en ambas direcciones. La armadura base de los ábacos ha sido de 2Ø10 superior y 2Ø8 inferior, en las dos direcciones y por nervio.

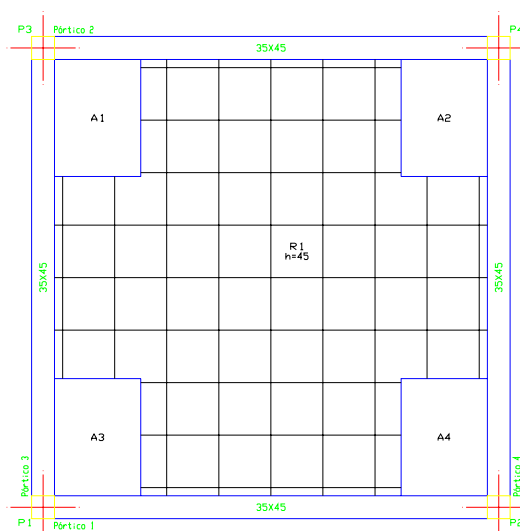


Figura 7.1. Vista en planta de forjado reticular

7.2.2. Forjado mixto de chapa colaborante

El forjado de chapa colaborante es el tipo de forjado que se ha estado explicando en los capítulos anteriores. La distancia entre pilares es la misma que en el caso anterior. Los criterios de cálculo estarán de acuerdo con todo lo explicado en este documento.

El canto total de este forjado es de 40 cm, de los cuales 10 cm corresponden al binomio chapa-hormigón (60 mm de altura de chapa y 40 de capa de compresión). Este forjado lleva un mallazo de $\varnothing 6$ cada 300 mm. Los perfiles metálicos que conforman el entramado metálico son de la serie IPN. Las jácenas están formadas por IPN 300, mientras que las viguetas por IPN 280. El acero estructural utilizado para estos perfiles ha sido el S355.

Se ha adoptado un cierto nivel de empotramiento en los pilares.

El peso medio del forjado es de 2,10 kN/m², incluyendo el peso propio del entramado metálico.

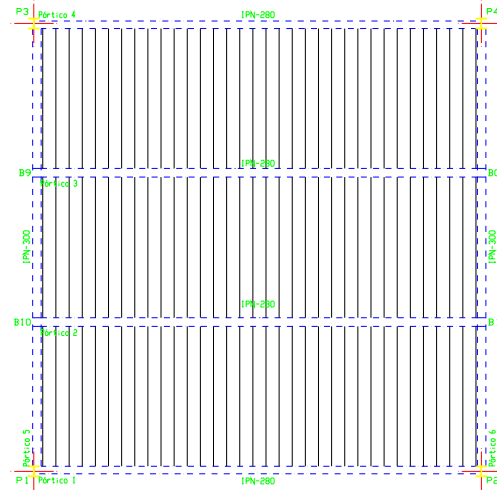


Figura 7.2. Vista en planta de forjado mixto de chapa colaborante

7.3. Hipótesis de cálculo

7.3.1. Normativa y recomendaciones utilizadas

Forjado reticular:

- DB-SE-AE, Acciones en la edificación.
- EHE-98, Instrucción de Hormigón Estructural.

Forjado mixto de chapa colaborante: las normativas y recomendaciones que se han dado en este estudio sobre forjados mixtos.

7.3.2. Estado de cargas

Peso propio de la estructura y cargas permanentes:

Hormigón armado:	23,00 kN/m ³
Acero estructural :	78,50 kN/m ³
Pavimentos:	0,50 kN/m ²

Sobrecargas de uso:

Uso superficie:	3,00 kN/m ²
Tabiquería y particiones:	1,00 kN/m ²

NOTA: Para simplificar los cálculos no se ha tenido en cuenta el sismo.

7.3.3. Materiales utilizados

Para el hormigón, la clase de exposición considerada es la I, correspondientes a elementos interiores de edificios no sometidos a condensaciones, y en consecuencia, la abertura máxima de fisura permitida será de $w_k=0,4$ mm

Hormigón: HA-25/B/20/I
 Acero corrugado: B-500S
 Acero estructural y chapa: S275

Recubrimiento de las armaduras

En función del tipo de elemento estructural, del control de ejecución y de la resistencia característica del hormigón, se establecen valores del recubrimiento mínimo (r_{\min}) y del margen de recubrimiento (Δr). El recubrimiento no será inferior en ningún punto al recubrimiento nominal siguiente:

$$r_{\text{nom}} = r_{\text{min}} + \Delta r = 20\text{mm} + 10\text{mm} = 30 \text{ mm}$$

7.3.4. Coeficientes de seguridad y ponderación

Los cálculos se han realizado con las hipótesis de carga permanente y sobrecargas de explotación con las combinaciones más desfavorables.

Los valores de los coeficientes de seguridad para el análisis de la estructura con las combinaciones de estados límites últimos son los siguientes:

TIPO DE ACCIÓN	Efecto favorable	Efecto desfavorable forjado mixto	Efecto desfavorable Forjado reticular
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,50$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 1,60$

Tabla 7.1. Coeficientes de ponderación para las acciones

Los valores de los coeficientes de minoración de las resistencias de los materiales son los siguientes:

MATERIAL	COEFICIENTE DE MINORACIÓN
Hormigón	$\gamma_c = 1,50$
Acero para las chapas	$\gamma_{ap} = 1,10$
Acero	$\gamma_s = 1,15$

Tabla 7.2. Coeficientes de minoración para los materiales

Correspondientes a un control NORMAL de los materiales y de la ejecución.

7.3.5. Criterios de flechas

Los criterios adoptados para el cálculo de los forjados bajo Estados Límites de Servicio han sido los siguientes:

Límites de flechas en vigas de forjado:

Límite de flecha activa L/400 ó 1cm

Límite de flecha total $L/250$

Límites de flechas en forjados:

Límite de flecha activa mín={ $L/500$, $L/1000+0,5$ cm}

Límite de flecha total mín={ $L/250$, $L/500+1$ cm}

7.4. Programa de cálculo utilizado

Para el cálculo del forjado reticulado, se ha utilizado el programa informático de diseño y cálculo de edificación CYPECAD 2004.1.b. El análisis de las solicitaciones se realiza mediante un cálculo espacial en 3D, por métodos matriciales de rigidez.

Para el cálculo del forjado mixto de chapa colaborante se ha utilizado, por un lado, una hoja de cálculo, siguiendo las hipótesis, cálculos y consideraciones que se han explicado en el presente documento. Para el cálculo del entramado metálico, vigas principales y secundarias, se ha utilizado el programa de CYPE METAL 3D.

7.5. Resultados.

7.5.1. Cuantificación de los materiales utilizados

Forjado reticular:

RESUMEN TOTAL		
Hormigón en vigas	4,63	m ³
Acero en vigas	868,80	kg
Encofrado lateral en vigas	11,97	m ²
Hormigón en forjado	12,98	m ³
Acero en forjado	529,61	kg
Encofrado superficie	56,25	m ²
Nº bloques reticular	104,00	u
Hormigón	17,61	m ³
Acero corrugado	1.398,41	kg
Encofrado	68,22	m ²
Casetones	104,00	u

Tabla 7.3. Cuantificación de los materiales necesarios para el forjado reticular.

Forjado mixto:

RESUMEN TOTAL		
Hormigón	4,31	m ³
Acero corrugado (malla electrosoldada)	86,64	kg
Acero chapa (incluido elementos auxiliares)	56,25	m ²
Acero estructural vigas	2.250,00	kg

Tabla 7.4. Cuantificación de los materiales necesarios para el forjado mixto.

A continuación se muestra un gráfico comparativo de los materiales resumidos en estas tablas.

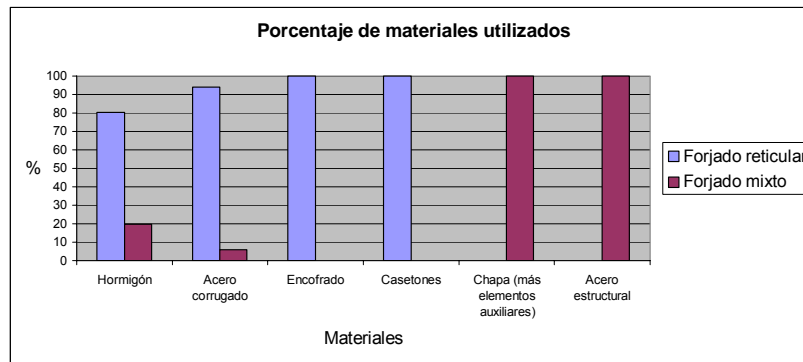


Gráfico 7.1. Valoración porcentual de los materiales para forjado reticular y forjado mixto.

En este gráfico, observamos rápidamente dos cosas:

- Por cada tipo de forjado aparecen dos nuevos materiales que el otro no posee.
- En el caso del hormigón y acero corrugado, está claro que el forjado reticular se lleva el porcentaje más alto.

Debido a que en ambos forjados nos aparecen distintos materiales, la comparación sólo será completa si otorgamos a cada material su valor y los comparamos económicamente, es decir, poniendo precios a los materiales, como a continuación se muestra.

7.5.2. Presupuesto

A continuación se presenta el presupuesto realizado para cada tipo de forjado estudiado. Los precios de cada una de las partidas de obra se han tomado del banco de precios para edificación de GISA, facilitado por el ITEC.

NUM.	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
1	G450U060	m3	Hormigón para forjado nervado reticular, HA-25/P/10/I de consistencia plástica y granularia máxima del granulado de 10 mm, puesto con cubilote. (P - 4)	91,41	17,610	1.609,73
2	G4B0U020	kg	Acero B 500 S en barras corrugadas de límite elástico no menor de 500 N/mm2, colocado (P - 5)	1,34	1.398,410	1.873,87
3	C0000001	m2	Aligerado para forjado nervado con casetones de mortero de cemento de 70x23 y 35 cm de altura (P - 1)	10,42	56,250	586,13
4	C0000002	m2	Montaje y desmontaje de encofrado para forjado nervado reticular, con una altura <=3m, con tablón de madera de pino sobre entramado desmontable (P - 2)	21,48	68,220	1.465,37
TOTAL			Capitol 1	01.01		5.535,10

Tabla 7.5. Presupuesto para el forjado reticular.

NUM.	CODI	UA	DESCRIPCIÓ	PREU	AMIDAMENT	IMPORT
1	G450U060	m3	Hormigón para forjado nervador reticular, HA-25/P/10/1 de consistencia plástica y grandaria máxima del granulado de 10 mm, puesto con cubilote. (P - 4)	91,41	4,310	393,98
2	G440U004	kg	Acero S355JR según UNE-EN 10025-2, para vigas formadas por pieza simple, en perfiles laminados en caliente serie IPN, IPE, HEB, HEA, HEM y UPN, con una capa de imprimación antioxidante, colocaco en obra con soldadura. (P - 3)	1,80	2.250,000	4.050,00
3	GCCC0001	m2	Montaje de forjado con perfil de plancha colaborante de acero galvanizado de 0.75 mm es espesor, de 200-210 mm de paso de malla y 60 mm de altura máxima, peso de 8 a 9 kg/m2 y un momento de inercia de 50 a 60 cm4. (P - 6)	27,58	56,250	1.551,38
4	GCCC0002	m2	Malla electrosoldada de barras corrugades d'acer, elaborada a l'obra i manipulada a taller ME 15x15 D: 6-6 B500T 6x2,2 m, UNE 36092, per a l'armadura de sostres amb elements resistents. (P - 7)	3,53	56,250	198,56
TOTAL			Capitol 1	01.02		6.193,92

Tabla 7.6. Presupuesto para el forjado mixto de chapa colaborante.

El precio total para el forjado reticular es de 5.535,10 €, lo que supone un precio de 98,40 €/m². El precio total del forjado mixto de chapa colaborante es de 6.193,92 €, lo que supone un precio de 110,11 €/m². La diferencia de precios hace que el forjado mixto de chapa colaborante suponga un sobrecoste de casi un 12% más, respecto al forjado convencional reticular.

Si analizamos los precios de cada forjado y les ponemos porcentajes, obtenemos los siguientes gráficos:

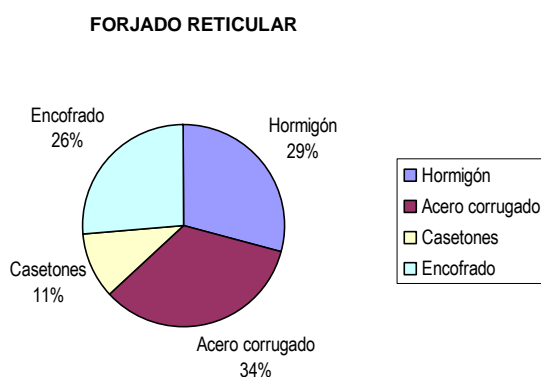


Gráfico 7.2. Distribución de materiales para forjado reticular.

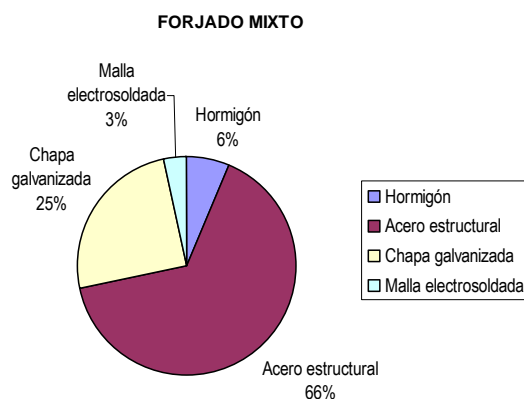


Gráfico 7.3. Distribución de materiales para forjado mixto.

Mientras que el forjado reticular muestra una “ligera” proporción entre materiales, el material más costoso del forjado mixto de chapa colaborante es el acero estructural. Una variación en el kg del acero estructural, hará variar completamente el precio del m² del forjado mixto. El coste de un forjado mixto de chapa nervada vendrá totalmente condicionado por el coste del acero estructural.

Se ha comprobado que el coste total del forjado mixto de chapa colaborante es menor cuanto mayor es la calidad del acero estructural. Con una mayor resistencia del acero, conseguimos perfiles de menor canto, de esta manera reducimos la medición total del acero. Esta reducción es más grande que el aumento de coste de kg de acero (por utilizar un acero más resistente), y por lo tanto, el coste final será menor.

7.5.3. Planificación. Plan de obra

A partir de las mediciones obtenidas, y aplicando unos rendimientos a cada una de las operaciones que se deben realizar para la ejecución de los dos tipos de forjados, calcularemos los días necesarios para la ejecución de estos forjados.

Para el cálculo de los rendimientos se ha tenido en cuenta unos coeficientes climatológicos “tipo”, pues éstos variarán en función del lugar en el que nos encontremos. Únicamente se ha diferenciado estos coeficientes para el hormigón y el acero. La puesta en obra del hormigón está más condicionada por la climatología que la del acero.

CUADRO DE RENDIMIENTOS-TIEMPOS DE EJECUCIÓN-EQUIPOS

Descripción	UM	Medición	Nº equipos o cuadrillas	Rendimiento teórico por equipo (Ud/día)	Coefficiente reductor (climatología y festivos)	Rendimiento por equipo (Ud/día)	Días necesarios
FORJADO RETICULAR							
Cimbra	m3	164	1	600	0,93	558	0,29
Encofrados	m2	68	1	90	0,93	84	0,82
Casetones perdidos	u	104	1	60	0,93	56	1,86
Acero	kg	1.398	1	3000	0,93	2790	0,50
Hormigón	m3	18	1	30	0,85	26	0,69
DÍAS NECESARIOS TOTALES FORJADO RETICULAR							4,16
FORJADO MIXTO							
Colocación vigas metálicas	u	6	1	5	0,93	5	1,29
Colocación chapa	m2	56	1	75	0,93	70	0,81
Malla electrosoldada	m2	56	1	200	0,93	186	0,30
Hormigón	m3	4	1	30	0,85	26	0,17
DÍAS NECESARIOS TOTALES FORJADO MIXTO							2,57

Tabla 7.7. Cuadro de rendimientos y tiempos de ejecución por actividad.

Se ha realizado una planificación a partir de los resultados de la tabla anterior, en la que se ve reflejado el solapamiento entre diferentes actividades, cuando es posible, para dar una idea más realista de la duración de estos *tajos*.

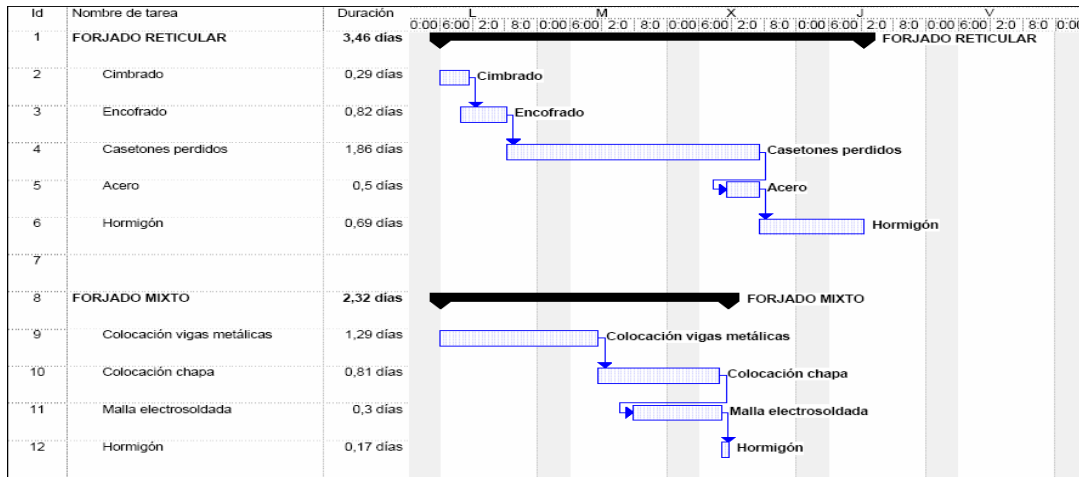


Figura 7.3. Planificación de los forjados.

Mientras que para la ejecución del forjado reticular necesitaríamos 3,46 días, el forjado mixto se podría realizar en 2,32 días. Esta diferencia supone que en la ejecución de forjados reticulares ganamos hasta un 49% de tiempo.

Esta diferencia que, a priori, puede parecer insignificante, cobra su importancia si extrapolamos estos resultados a la ejecución de edificios reales. Pongamos por ejemplo un edificio de 5 plantas-forjado de 500 m². Cada planta tendrá 100 m² y éstas son totalmente diáfanas. Suponemos también igualdad de tiempos para la ejecución del resto de estructura y acabados (cimentación, cerramientos, etc.). Para cada una de estas plantas aplicaremos el rendimiento proporcional obtenido en el gráfico anterior. Esto es lo que veremos en el siguiente gráfico.

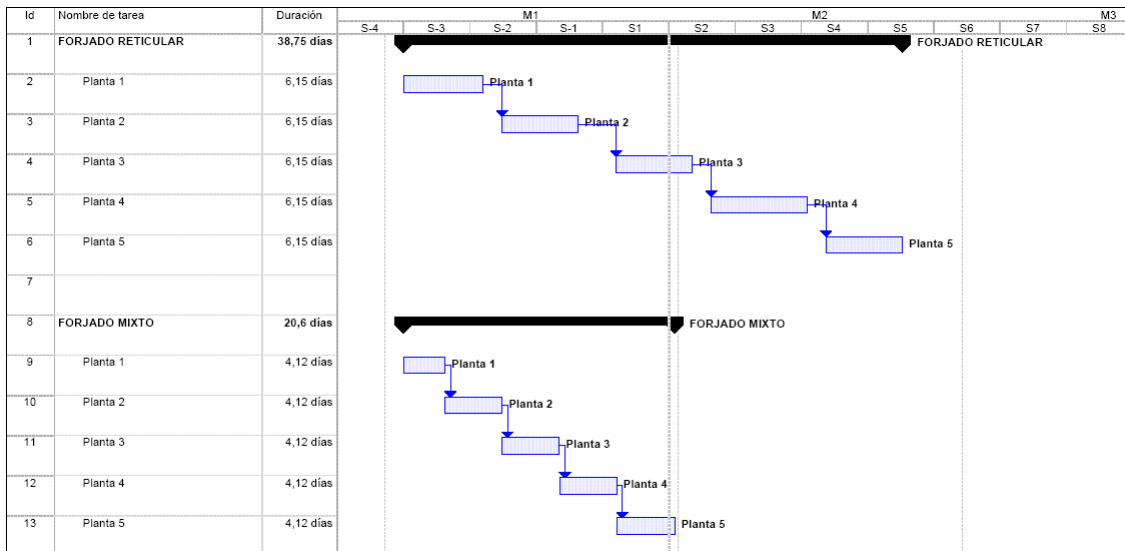


Figura 7.4. Planificación edificio ideal de cinco plantas.

Mientras que para el edificio del forjado reticular empleamos 38,75 días laborables (prácticamente dos meses), en el forjado mixto empleamos 20,6 días laborables (1 mes).

Como se puede observar, la diferencia de tiempos de ejecución es considerable. Esto es debido a que, por un lado, la ejecución del m² de forjado es más larga para forjados reticulares, como ya se ha visto. Por otro lado, la ejecución de cada planta del forjado reticular viene condicionada por la anterior. Es decir, para la ejecución de la planta 2 de un forjado reticular, debemos haber

acabado la planta 1 y dejar un tiempo mínimo (hemos considerado dos días) para que el hormigón fragüe, antes de poder empezar a colocar la cimbra de la siguiente planta.

Por el contrario, en la ejecución de las plantas de un edificio realizado a base de forjados mixtos, no es necesario esperar al fraguado del hormigón, puesto que la chapa actúa como encofrado perdido y la propia estructura metálica confiere rigidez suficiente para poder seguir ejecutando el edificio en condiciones de seguridad.

En el siguiente gráfico se han representado la evolución de los tiempos de ejecución anteriores para cada tipología de forjado a medida que vamos aumentando las plantas. Como se puede observar, a medida que aumentamos el número de plantas, la diferencia de tiempos se hace mayor.

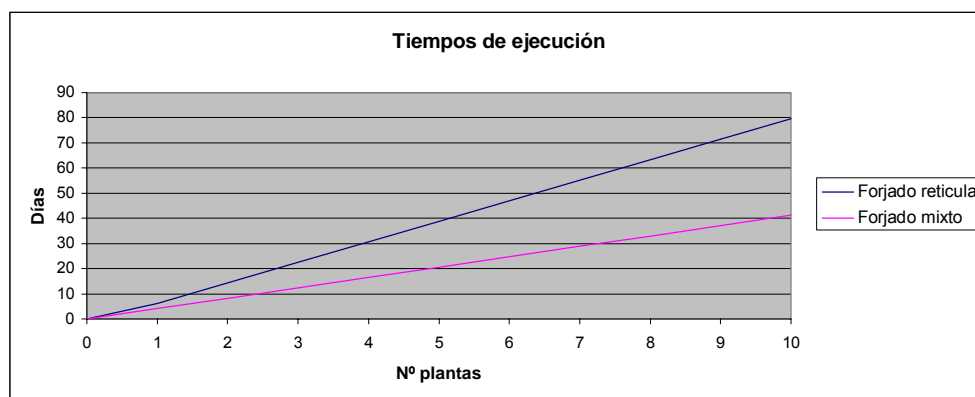


Gráfico 7.4. Representación gráfica de la divergencia de tiempos para forjados reticulares y mixtos.

Evidentemente, no siempre se darán estas condiciones. A veces se deberá apuntalar provisionalmente el forjado mixto. Otras veces, según sea la geometría del edificio, los rendimientos del forjado reticular aumentarán si se divide cada planta, pudiéndose solapar actividades diferentes en una misma planta, y pudiéndose levantar pisos en las zonas donde el hormigón ya haya fraguado, etc.

Aunque el ejemplo planteado pueda parecer *simplista*, no deja de ser representativo, suponiendo un límite superior del tiempo que nos podemos ahorrar.

7.5.4. Cuantificación del ahorro de tiempo

La disminución en los plazos de ejecución será directamente proporcional a la disminución del coste del conjunto. Se deberán “restar” del precio, los días de trabajo que nos ahorramos multiplicados por los precios de peones, oficiales, encargados, ingenieros y arquitectos.

7.5.5. Observaciones del cálculo

Forjado reticular:

Cabe destacar que la principal limitación encontrada en el forjado reticular ha sido la flecha activa del forjado. Mientras que las vigas trabajan con mucho margen de seguridad (las flechas y los esfuerzos tienen mucha holgura antes de fallar), el forjado propiamente cumple de manera estricta con la flecha. Si nos fijamos en los ELU, el forjado también trabaja con un amplio margen, está lejos de rotura y no va demasiado cargado.

Forjado mixto de chapa colaborante:

Todos los estados límites del forjado mixto colaborante comprobados cumplen ampliamente, con un margen muy grande de fallo.

Las características resistentes de los materiales para anchos eficaces (para tener en cuenta el efecto de abolladura) se han calculado manualmente. Esto ha llevado un tiempo considerable.