

Garaje Catasús de José Antonio Coderch: reconstrucción de una planificación

Fernando Valderrama
Rafael Guadalupe
Carolina Ramírez

Este trabajo surge a partir de la localización por uno de los autores (Rafael García) de un artículo en la Revista de Obras Públicas, relativo a un edificio del arquitecto José Antonio Coderch (Ochoa de Retana 1954). La reseña incluye un diagrama de barras (figura 1), una información que no suele encontrarse en este tipo de publicaciones, que describen habitualmente las peculiaridades de la construcción, pero no suelen referirse a costes y plazos. Se trata además de un proceso constructivo repetitivo, ya que se ejecutan secuencialmente ocho naves casi idénticas, lo cual hace que el caso sea especialmente interesante para el análisis de la planificación.

OBJETIVO

El gráfico publicado no representa la planificación original, sino que muestra las fechas reales en que se ejecutó cada actividad, con las diferencias naturales entre ellas debidas a la variabilidad del proceso. El objetivo de este trabajo es reconstruir la planificación que se utilizaría en la ejecución, haciendo suposiciones a partir de estos resultados. Para ello es necesario comparar las posibles alternativas y repetir el proceso que probablemente se realizaría para llegar a esta solución concreta.

HISTORIA

Tras el paréntesis de la Guerra Civil española, la construcción laminar de hormigón en España experi-

mentó una significativa recuperación. Antecedentes de ella habían sido por supuesto las singulares experiencias de Eduardo Torroja, con obras tan destacadas como el mercado de Algeciras, el frontón Recoletos o las tribunas del Hipódromo de Madrid. Sin embargo, las principales obras de este tipo en las primeras décadas de posguerra fueron destinadas generalmente a usos industriales o utilitarios, encontrando en la delgadez de las láminas un importante elemento de ahorro de material, tan escaso en aquellos años (García 2007). Dentro de los tipos laminares, las bóvedas cilíndricas como las que aquí se consideran, fueron una de las soluciones más empleadas en un primer momento.

No son muchas las construcciones de bóvedas de hormigón de esa época que aún permanecen y, a lo que parece, tampoco fueron tantas las construidas, por lo que la que se analiza en este trabajo tiene un carácter bastante especial. Por un lado, destacaríamos su supervivencia, apenas sin modificaciones, circunstancia de la que es preciso alegrarse, dado que en la proximidad de la misma zona Franca de Barcelona no hace mucho que fue demolida otra importante construcción, también con bóvedas de hormigón de similares características. Se trataba de los almacenes de algodón para la industria textil construidos en 1956 –dos años después– y probablemente la obra de mayor superficie de este tipo en España, con 23.336 m². Por otro lado, destacaríamos el disponer de información publicada, lo que es relativamente raro en estas estructuras (Ochoa de Retana 1954; IETec 1954). Con ella, aparte de los datos técnicos, pode-

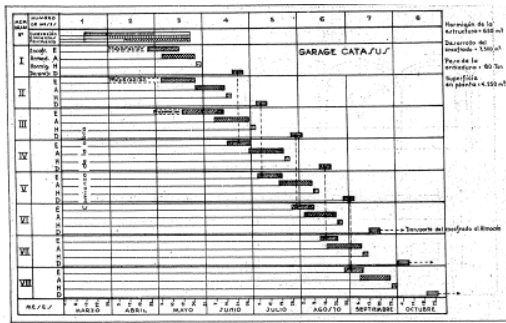


Figura 1
Garaje Catasús, planificación, imagen original (Ochoa de Retana 1954)

mos apreciar también el elegante espacio que conforman estas esbeltas láminas.

Así pues, a la existencia actual de estas naves, que en cuanto a superficie cubierta –cerca a los 5000 m²– la sitúan probablemente como la más grande de las todavía existentes del periodo, hay que sumar el acceso a muchas de sus características, y esto último nos permite además entroncarla con lo mejor de la práctica europea de esos años. Pero entre esos datos informativos está sobre todo un singular y detallado cuadro de su programa de ejecución, que da pie al insular estudio que se desarrolla en este trabajo.

PROCESO DE EJECUCIÓN

El garaje consta de ocho naves o crujías (figura 2), numeradas de I a VIII, con un inter-eje de 9 m. Todas las naves tienen dos tramos de aproximadamente 24

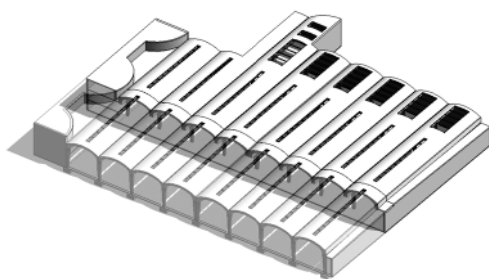


Figura 2
Garaje Catasús, modelo 3D

m. Las naves III a VIII disponen de dos tramos más, de 8,70 m y 4,90 m, este último en voladizo.

Las tareas de excavación, la cimentación y el pavimento se planifican con otras tantas actividades únicas, que se solapan entre sí y con la ejecución de las naves, como veremos más adelante.

La ejecución de las naves se planifica mediante cuatro actividades por nave: encofrado, armadura, hormigonado y desencofrado. El fraguado se introduce como un desfase o solape negativo entre el hormigonado y el desencofrado.

Del análisis visual del diagrama se desprende también que se usan tres encofrados o cimbras. La construcción de cada uno se indica mediante la referencia «Preparación» al inicio de la ejecución de las tres primeras naves, el movimiento de cada cimbra encofrado a la nave sucesiva se indica mediante flechas verticales, que enlazan las actividades de desencofrado y encofrado, y al final de la ejecución se indica también gráficamente la retirada al almacén.

RECONSTRUCCIÓN DE LA PLANIFICACIÓN

Al imprimir el diagrama en formato DIN-A4 se observa que, tomando una semana de seis días, la habitual en la época, la escala es muy cercana a un milímetro por día laborable. Al ajustar la escala horizontal para conseguir este resultado exacto, añadiendo una retícula de semanas, corrigiendo un pequeño sesgo y una ligera distorsión de la proporción debidos al escaneo, se obtiene una altura para cada actividad de cuatro milímetros (figura 3), confirmando la validez de las hipótesis.

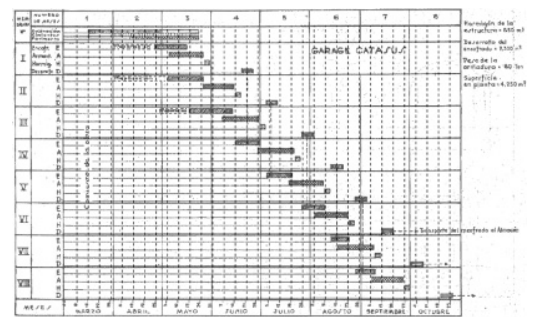


Figura 3
Diagrama original, ajustado y corregido

Por tanto, el diagrama fue dibujado originalmente a esta escala y en un papel de este tamaño, o en todo caso del doble exacto.

FECHAS GENERALES

En el diagrama publicado se observa que la ejecución se realiza entre la tercera semana de marzo y el último día de septiembre, aunque dos encofrados permanecen todavía durante una parte de octubre.

El año de ejecución no figura en el diagrama, aunque la bibliografía sobre el autor indica que es 1953.

Esta fecha se podría deducir también a partir del diagrama. Para ello hay que asumir que el día de inicio de cada semana del eje horizontal es el domingo y no el lunes, como resulta visible, por ejemplo, en la división entre mayo y junio. Los únicos años cercanos a la fecha probable que encajan en esta secuencia son 1942, 1953 y 1959.

La obra se inicia por tanto el lunes 16 de marzo de 1953.

En las simulaciones, realizadas con un programa informático (Presto 2017), se ha situado la ejecución en el año 2015, cuyo calendario de festivos y laborables es idéntico al de 1953.

DURACIONES

Las duraciones reales en días laborables de las actividades repetitivas y sus promedios se reflejan en la siguiente tabla 1:

Nave	Long. (m)	Prep.	Encofrado	Armadura	Solape	Fraguado
I	48	22	18	18	9	17 + 3
II	48	29	19	16	0	14 + 2
III	61,6	15	24	19	5	20 + 3
IV	61,6		14	20	1	16 + 3
V	61,6		14	19	2	14 + 2
VI	61,6		13	18	6	15 + 3
VII	61,6		10	20	6	16 + 3
VIII	61,6		10	17	2	16 + 3
μ		22	16,6	19,6	3,9	

Tabla 1
Duraciones reales de las actividades en días laborables

En los cálculos sucesivos las duraciones de los encofrados y la armadura de las naves I y II se corrigen en proporción a su mayor longitud relativa a las demás naves para obtener valores comparables. Los valores medios se redondean al entero más próximo.

La duración del hormigonado es siempre de tres días laborables.

A la duración del fraguado en días laborables que se deduce del diagrama por el número de días laborables entre el final del hormigonado y el inicio del desencofrado hay que añadir los días festivos intermedios, que figuran desglosados en la tabla.

La duración del desencofrado también aparece como fija, de seis días laborables. Sin embargo, las duraciones del fraguado y del desencofrado dependen en realidad del proceso constructivo y se analizan más adelante.

En este trabajo utilizaremos sólo el punto de vista determinista, basado en las medias.

Encofrado

En la realización del encofrado se aprecia la mayor dificultad en la ejecución de las tres primeras naves y también la mejora al terminar el segundo conjunto de tres naves.

La experiencia se mide calculando el porcentaje en que se reduce el tiempo de ejecución de un proceso cada vez que la producción se duplica. En la figura 4, que muestra la duración del encofrado corregida por la longitud de cada nave, se ha superpuesto una curva de experiencia estándar del 80%. Puesto que al terminar la octava nave la producción se ha duplicado tres veces, la duración teórica sería el 51,2% de la

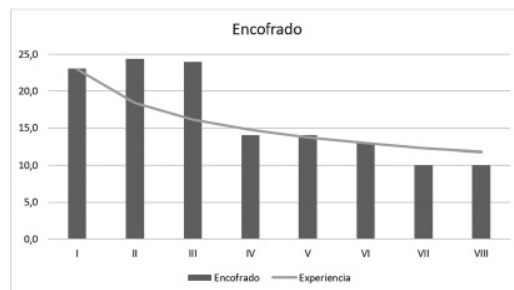


Figura 4
Duración del encofrado y curva de experiencia del 80%

original, es decir, doce días, que coincide razonablemente con la duración real de diez días. Con este ritmo de aprendizaje, el encofrado de la nave número 100 se realizaría en cinco o seis días.

Armadura

La figura 5 muestra las duraciones de la ejecución de la armadura, corregidas por su longitud. Se observa también una ligera curva de aprendizaje, que podría dar lugar a una

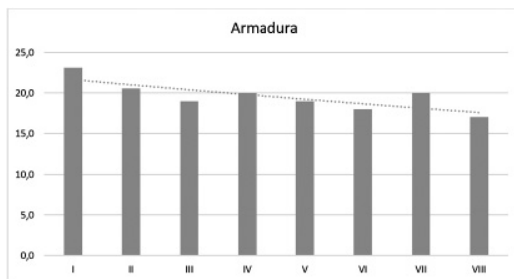


Figura 5
Duración de la armadura y su curva de aprendizaje

PROGRAMACIÓN INICIAL

Trabajos preliminares

El diagrama de fechas reales sugiere la existencia de un enlace Comienzo-Comienzo CC entre la ejecución de la excavación y los cimientos, con un desfase de 14 días.

Con los programas informáticos actuales, esta planificación se realizaría mediante un enlace doble, puesto que la misma separación debe mantenerse en el inicio y en el final. Como en este caso el ritmo de ejecución de los cimientos es más lento, el enlace final no parece necesario, pero lo sería si se aumentara el número de recursos, para asegurarse de que la cimentación no adelante a la excavación.

Entre los cimientos y el pavimento, por el contrario, es evidente el uso de un enlace final-final, sugiriendo que el pavimento puede realizarse tan pronto como vayan avanzando los cimientos, pero se ajusta para que termine al tiempo que los cimientos. Sin

embargo, también es conveniente aquí un doble enlace, esta vez sin solape delantero ni trasero, porque el equipo de pavimentación podría iniciar su trabajo antes, sabiendo que tendrá que bajar el ritmo o interrumpir el trabajo para no adelantarse a los cimientos, lo que se representa mediante una holgura de diez días, delantera o intermedia.

Preparación de los encofrados

La preparación de los tres encofrados se representa en las dos primeras naves mediante un desfase de un enlace CC respecto de los cimientos. En la tercera nave aparece más retrasado el inicio de la preparación, pero mantendremos la misma restricción inicialmente, para luego modificarlo de forma manual en función de las holguras.

Ejecución de la primera nave

En todas las naves se realiza el mismo procedimiento, que comienza instalando el encofrado.

La ejecución de la armadura se adelanta a la finalización del encofrado en casi todas las naves, hasta nueve días, con un promedio de cuatro. Es posible que la programación original no incluyera estos solapes, contando con utilizarlos en la realidad para compensar otros retrasos. No obstante, introduciremos el solape como si estuviera así programado, como un solape negativo en un enlace final-comienzo FC.

El hormigonado aparece como estrictamente posterior a la finalización de la armadura, en buena lógica constructiva, siendo el único caso del enlace FC sin solape, que tradicionalmente se considera como el más habitual, en este caso de estudio.

El fraguado, tiempo entre el hormigonado y el desencofrado, varía, con un mínimo de 14 días laborales en dos de las naves. Este tiempo ha de incrementarse en los dos o tres domingos intermedios, más tres días, ya que es de suponer que se desmonta el encofrado por el mismo extremo por el que se comenzó a hormigonar. De esta forma la duración real es más adecuada a la esperable. Utilizaremos en la planificación este tiempo mínimo, ya que, si es admisible en una nave, lo es para todas.

El resultado de la planificación de la nave I con estas hipótesis se muestra en la figura 6, ajustando la

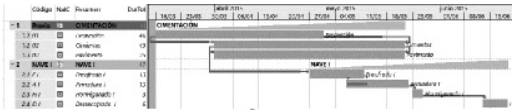


Figura 6
Planificación de las actividades preliminares y nave I

duración media del encofrado y la armadura a su menor longitud. La mayor duración real indicada en la figura para las actividades de encofrado y armadura respecto a lo previsto se compensa con un solape entre ambas también mayor que el promedio.

SECUENCIACIÓN DE LAS NAVES

El proceso descrito para ejecutar una nave tiene que repetirse y ajustarse para ejecutar el conjunto. Realizaremos el análisis de las distintas posibilidades actuando como si no se conociera la alternativa finalmente elegida.

Planificación sin restricciones

Las buenas prácticas tradicionales de la planificación establecen que el diagrama de barras debe generarse en base a las exigencias puras de la construcción, como si se dispusiera de recursos ilimitados, y sólo posteriormente se aplicarán técnicas de nivelación de recursos para ajustar la secuencia. Este criterio es necesario para analizar el número de recursos óptimo, ya que deja que el diagrama se adapte flexiblemente a las nuevas duraciones.

De esta forma, cuando se ejecuta una edificación en altura, las sucesivas plantas se planifican necesariamente en secuencia, pero esta restricción no existe cuando la estructura se desarrolla al mismo nivel, como es el caso de estas naves, que podrían ejecutarse todas simultáneamente.

Si se utilizan ocho cimbras y otros tantos equipos de encofradores y de ferralla, que ejecutan todas las naves al tiempo, terminan en primer lugar las naves I y II, más cortas, como es previsible (figura 7). La duración total es de 92 días laborables, la mínima posible. Se utilizan muchos recursos, pero no existen tiempos de parada.

El número más adecuado de recursos sólo depende la relación entre el coste del recurso y el coste del

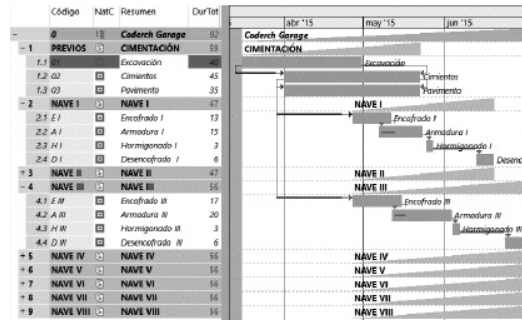


Figura 7
Planificación sin limitación de recursos

tiempo. Por ejemplo, para realizar los dos túneles del AVE bajo la sierra de Guadarrama se usaron cuatro tuneladoras, una por cada boca.

Ejecución con un sólo encofrado

En el caso opuesto, también es posible es utilizar un sólo encofrado, que se va desplazando de nave a nave.

Para enlazar una nave con la siguiente puede parecer adecuado un enlace CC entre el momento en que es posible desencofrar una nave y el encofrado de la siguiente. Sin embargo, no es la mejor solución. Si, por otras restricciones, el encofrado de la nave siguiente tuviera que empezar más tarde, se estaría retirando el encofrado anterior sin poder colocarlo en el lugar que le corresponde. Por tanto, enlazamos el hormigonado de una nave al encofrado de la siguiente, con el solape que corresponde al fraguado, creando otro enlace entre el comienzo de este segundo encofrado y el comienzo del desencofrado anterior (figura 8).

Con un sólo encofrado se obtiene una duración de 424 días (figura 9), observándose que existen muchos

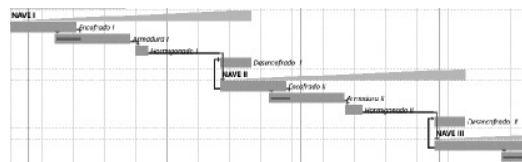


Figura 8
Planificación con un sólo encofrado, detalle

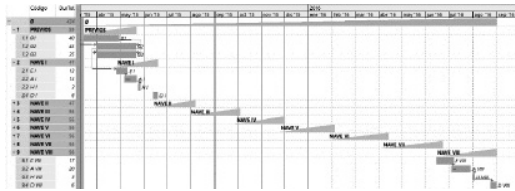


Figura 9
Planificación completa con un sólo encofrado

tiempos muertos, en el que todos los equipos están parados. Incluso sin un análisis de coste-beneficio, parece razonable utilizar al menos dos encofrados.

Ejecución con dos encofrados

Las actividades de naves sucesivas se enlazan como en el caso anterior, pero ahora alternando entre naves impares y entre naves pares (figura 10).

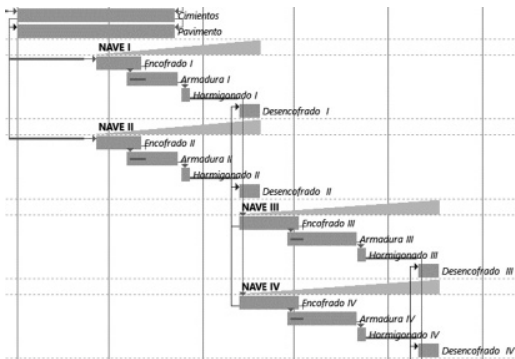


Figura 10
Planificación con dos encofrados, detalle

El lector interesado en reproducir este caso, a partir del cual se deducen fácilmente los siguientes, puede comprobar los enlaces necesarios, con sus tipos y solapes, en la tabla 2.

Con estas restricciones, la duración disminuye a 233 días (figura 11). Cada pareja de naves puede iniciarse simultáneamente, como se ve en la figura.

Esta solución, sin embargo, requiere tener también dos equipos de ferralla que, además, están un tiempo parados.

Antecesor	Sucesor	Tipo	Solape
Armadura I	Hormigonado I	FC	
Armadura II	Hormigonado II	FC	
Armadura III	Hormigonado III	FC	
Armadura IV	Hormigonado IV	FC	
Armadura V	Hormigonado V	FC	
Armadura VI	Hormigonado VI	FC	
Armadura VII	Hormigonado VII	FC	
Armadura VIII	Hormigonado VIII	FC	
Cimientos	Encofrado I	CC	22
Cimientos	Encofrado II	CC	22
Cimientos	Pavimento	CC/FF	
Encofrado I	Armadura I	FC	-4
Encofrado II	Armadura II	FC	-4
Encofrado III	Desencofrado I	CC	
Encofrado III	Armadura III	FC	-4
Encofrado IV	Desencofrado II	CC	
Encofrado IV	Armadura IV	FC	-4
Encofrado V	Desencofrado III	CC	
Encofrado V	Armadura V	FC	-4
Encofrado VI	Desencofrado IV	CC	
Encofrado VI	Armadura VI	FC	-4
Encofrado VII	Desencofrado V	CC	
Encofrado VII	Armadura VII	FC	-4
Encofrado VIII	Desencofrado VI	CC	
Encofrado VIII	Armadura VIII	FC	-4
Excavación	Cimientos	CC/FF	14 / 14
Hormigonado I	Encofrado III	FC	14
Hormigonado II	Encofrado IV	FC	14
Hormigonado III	Encofrado V	FC	14
Hormigonado IV	Encofrado VI	FC	14
Hormigonado V	Encofrado VII	FC	14
Hormigonado VI	Encofrado VIII	FC	14
Hormigonado VII	Desencofrado VII	FC	14
Hormigonado VIII	Desencofrado VIII	FC	14

Tabla 2
Enlaces entre actividades usando dos encofrados

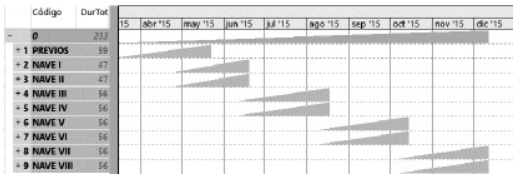


Figura 11
Planificación con dos encofrados

Podemos simular el uso de un sólo equipo, creando para ello enlaces FC entre las sucesivas actividades de armaduras (figura 12).

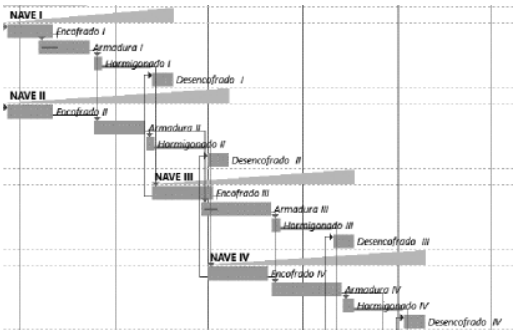


Figura 12
Planificación con dos encofrados y un equipo de ferralla, detalle

La duración sólo ha aumentado veinte días, pero el uso de recursos es mucho más eficiente (figura 13).

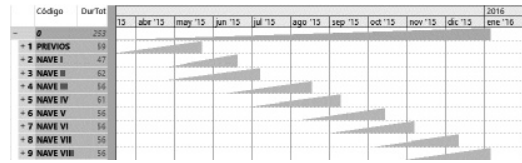


Figura 13
Planificación con dos encofrados y un equipo de ferralla

Ejecución con tres o cuatro encofrados

La siguiente posibilidad es utilizar tres equipos de encofrado. La duración se ha reducido de 253 días a 218, aproximadamente dos meses. Esta alternativa permite además utilizar un sólo equipo de encofradores, sin que por ello se alargue la obra (figura 14).

La introducción de un cuarto equipo de encofrado aceleraría el proceso, aun sin llegar a los 92 días obtenidos anteriormente con ocho, pero requeriría también nuevos recursos de montaje y ferralla.

CONCLUSIONES

En principio, para determinar la alternativa más eficiente entre las analizadas sería necesario disponer

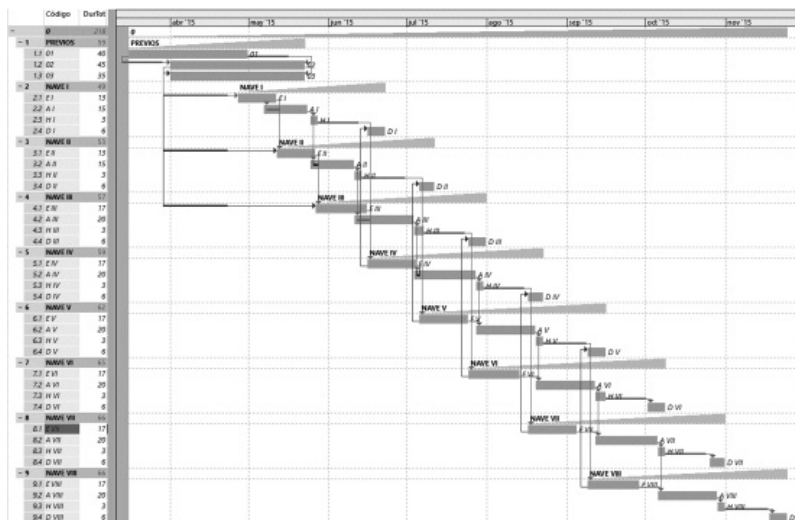


Figura 14
Planificación con tres encofrados, un equipo de encofradores y un equipo de ferralla

no sólo de datos sobre los costes de los recursos utilizados, que podrían localizarse en documentación de la época, sino del ahorro económico obtenido por cada sucesiva reducción del plazo de ejecución, dato del que ni siquiera dispondrían en su momento.

Sin embargo, la alternativa más rápida que se puede ejecutar con una sola cuadrilla de cada oficio sin tiempos muertos es la de tres encofrados, que es precisamente la utilizada en la realidad, como se observa fácilmente en el diagrama de barras publicado. Podemos asumir que los autores siguieron, mediante cálculos más o menos aproximados, un razonamiento similar al descrito, eligiendo esta rara decisión de usar tres encofrados, el único número que, a diferencia de las demás alternativas, no es divisor exacto del número de naves.

El parecido final entre la planificación obtenida con estas hipótesis y las fechas publicadas también confirma el razonamiento. Las diferencias entre ambas son coherentes con las variaciones naturales de los procesos. Por ejemplo, se puede asumir que sólo hubo un equipo para la ejecución de las armaduras, que pasa de las naves I a II, III a IV, IV a V y VII a VIII sin solape, aunque aparece un solape en los demás casos, cuando el avance en una nave ha sido mejor de lo planificado.

TRABAJOS FUTUROS

Al desarrollar este trabajo se fue haciendo evidente el potencial didáctico de esta obra de Coderch.

Por una parte, su capacidad didáctica como ejemplo para simular digitalmente el proceso integral de una construcción, relacionando el modelo geométrico (figura 15), el presupuesto y, naturalmente, la planificación, desarrollado por algunos de los autores en (Valderrama et al. 2017).

Por otro lado, como modelo para realizar otros trabajos en el futuro:

- Otros análisis de la planificación temporal, como el punto de vista probabilista o la línea de equilibrio (espacio-tiempos).
- La reconstrucción de las mediciones, el presupuesto y el número de recursos utilizados
- La verificación del comportamiento de la estructura.
- El análisis de las condiciones de iluminación, mencionadas en el artículo
- Análisis del comportamiento energético.

Toda la información utilizada es directamente accesible en Internet (Ochoa de Retana 1954).

LISTA DE REFERENCIAS

- García, Rafael. 2007. «Láminas plegadas de hormigón armado. Realizaciones en España». En *Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, 7-9 junio 2007. Burgos. ISBN: 978-84-9728-242-0 (Obra completa); 978-84-9728-243-7 vol. 1.
- IETcc. 1954. «Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, en la época Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Garaje Catasús, Barcelona Arquitecto: José Antonio Coderch». En *Informes de la Construcción*. (65). Madrid.
- Ochoa de Retana, A. 1954. «Garage para camiones cisternas en Barcelona». En *Revista de Obras Públicas* 506-509, octubre. Madrid.
- Valderrama, F.; Guadalupe, R.; Ramírez, C. y E. Muñoz. 2017. «Modelos para la docencia del BIM: el Garaje Catasús, de José Antonio Coderch». En *Actas de EUBIM 2017, Congreso Internacional BIM*. Universitat Politècnica de València, 19 y 20 de mayo.

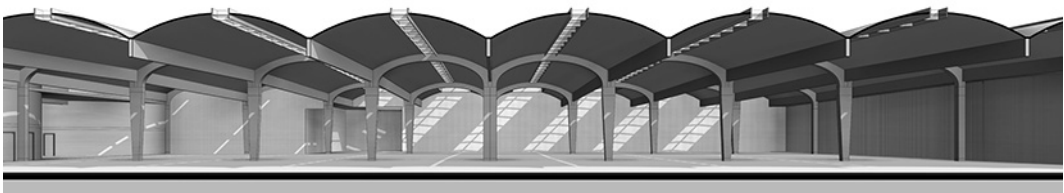


Figura 15
Vista interior