

Study of technical and economical alternatives of a shoring and striking process during the construction of a building with reinforced concrete slab floors

Estudio técnico económico de alternativas del proceso de cimbrado y descimbrado en la construcción de un edificio de forjados de losa maciza de hormigón armado

Y. Alvarado *, I. Gasch ^{1**}, P. Calderón **, B. Torres **

* Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, COLOMBIA

** ICITECH, Universitat Politècnica de València, Valencia, ESPAÑA

Fecha de Recepción: 22/02/2016

Fecha de Aceptación: 06/06/2016

PAG 117-126

Abstract

The aim of this paper is to define alternative construction processes for a building with reinforced concrete slab floors, thereby estimating which ones are most beneficial in terms of their execution time and cost. Three alternatives were proposed to solve the deadlines of the construction process: Shoring and Striking; Shoring, Clearing and Striking; and Shoring, Reshoring and Striking, considering 2, 3 and 4 consecutive shored floors. In order to evaluate what processes are valid, first it is necessary to calculate the loads during the construction process using the New Simplified Procedure and subsequently check whether or not the striking condition is fulfilled in each of the construction operations. Regarding the studied building, the feasible construction processes were: Shoring, Clearing and Striking with 3 and 4 consecutive shored floors.

Keywords: Load transmission, clearing, construction process, shores, new simplified procedure

Resumen

El objetivo del presente trabajo es definir diferentes alternativas de procesos constructivos, estimando cuáles resultan ser las más beneficiosas respecto a su plazo de ejecución y su coste, para un edificio de forjados de losa maciza de hormigón armado. Para resolver los plazos de ejecución se plantearon tres alternativas del proceso constructivo: Cimbrado y Descimbrado; Cimbrado, Clareado y Descimbrado; y Cimbrado, Recimbrado y Descimbrado, considerado 2, 3 y 4 plantas consecutivas apuntaladas. Para evaluar qué procesos son válidos, primero se calculan las cargas que se presentan durante el proceso constructivo mediante el Nuevo Procedimiento Simplificado y posteriormente se comprueba si se cumple o no, en cada una de las operaciones constructivas, la condición de descimbrado. Para el edificio objeto de estudio se han obtenido como procesos viables económica y técnicamente los procesos constructivos de Cimbrado, Clareado y Descimbrado con 3 y 4 plantas cimbradas.

Palabras clave: Transmisión de cargas, clareado, proceso constructivo, puntales, nuevo procedimiento simplificado

1. Introducción

Durante la construcción de edificios de forjados consecutivos se suelen apoyar, sobre forjados recientemente hormigonados, el conjunto de cimbras (puntales, sopandas y tableros de encofrado) para el hormigonado de forjados superiores consecutivos. Así, los plazos y la economía de ejecución de la obra dependen, en gran medida, de recuperar lo más rápidamente los componentes de la cimbra para reutilizarlos en la construcción de los forjados superiores.

La condición fundamental para utilizar el menor número de componentes posible consiste en descimbrar parcial o completamente parte de la estructura en el menor tiempo aceptable. Estimar los plazos de ejecución es un proceso complejo, puesto que estos dependen de factores como: el sistema de cimbrado y el proceso constructivo empleado, las características de los materiales del edificio, las condiciones de temperatura y humedad en la obra, entre otros.

Por tanto, resulta fundamental, para establecer los plazos de ejecución de una estructura, conocer cómo se transmiten las cargas entre forjados y puntales durante el proceso constructivo. Conocer esta transmisión de cargas permite ejecutar la estructura garantizando su seguridad durante la construcción y además permite ajustar los plazos y material necesario para su ejecución. Autores como Grundy y Kabaila (1963), Duan y Chen (1995); y Fang et al. (2001a,b) han desarrollado modelos teóricos para estimar la distribución de las cargas en los forjados y puntales originadas durante la construcción. Más recientemente Calderón et al. (2011) han desarrollado un Nuevo Procedimiento Simplificado que permite estimar la transmisión de cargas entre forjados y puntales en los diferentes procesos constructivos. Este nuevo procedimiento tiene en cuenta la rigidez real del conjunto de puntales y considera que la deformación media del conjunto de puntales bajo un forjado coincide con la deformación media de dicho forjado. Este Nuevo Procedimiento Simplificado ha sido validado a partir de las medidas experimentales en puntales, en un edificio a escala real en condiciones controladas en laboratorio, por Alvarado et al. (2009) y a

¹ Autor de correspondencia:

Doctor Ingeniero en Organización Industrial. Profesor Contratado Doctor, Dpto Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, Universitat Politècnica de València. España
E-mail: igasch@mes.upv.es



partir de los resultados de los modelos de elementos finitos desarrollados por Alvarado et al. (2010).

En trabajos realizados recientemente, Gasch (2012) y Gasch et al. (2013, 2014) han comprobado que el Nuevo Procedimiento Simplificado tiene un muy buen grado ajuste, frente a diferentes mediciones experimentales realizadas en edificios reales, para estimar las cargas que se generan durante el proceso constructivo.

Por otro lado, establecer un juicio sobre la edad para realizar cualquiera de dichas operaciones constructivas supone verificar que, bajo las acciones aplicadas en ese momento, los esfuerzos que aparecen pueden ser resistidos, con seguridad suficiente, con la resistencia que el hormigón presenta a esa edad. Calavera y Fernández (1991), proponen que si la carga actuante sobre un forjado al descimbrar es $\alpha \cdot p$ siendo p la carga total característica del proyecto, (peso propio más cargas permanentes más sobrecargas), el forjado podrá ser descimbrado cuando el hormigón del propio forjado, presente una resistencia a tracción $f_{ct,j}$ tal que $f_{ct,j} \geq \alpha \cdot f_{ct,28}$. Siendo este el condicionante principal, empleado por un gran número de autores, para determinar el plazo de ejecución de las operaciones del proceso constructivo.

2. Objetivos y novedad del estudio

El presente estudio es continuación del trabajo previo llevado a cabo por el grupo de investigación que se centra en el estudio de la transmisión de cargas entre forjados y puntales durante el proceso constructivo de edificios de hormigón armado.

En el presente artículo se realiza un estudio de diferentes alternativas de procesos constructivos, para un edificio con forjados de losa maciza, con el fin de definir un proceso constructivo factible en relación a plazos y precio para la obra en cuestión. Para el cálculo de las cargas que actúan sobre los forjados durante el proceso constructivo se aplicará el Nuevo Procedimiento Simplificado de Calderón et al. (2011).

Habitualmente el proceso constructivo de una edificación no se aborda desde un punto de vista técnico basado en un cálculo numérico, sino por el contrario radica en la definición de dicho proceso a partir de la experiencia del personal técnico de obra. Por tanto, la principal novedad del presente trabajo radica en la obtención de un proceso constructivo viable en cuanto a precio y plazos, calculando las cargas que actúan sobre los forjados aplicando el Nuevo Procedimiento Simplificado (Calderón et al., 2011).

3. Edificio objeto de estudio

3.1 Descripción del edificio objeto de estudio

El edificio objeto de este estudio consiste en un proyecto de ejecución de 101 viviendas, zonas comunes, trasteros y garaje situado en Madrid.

Se trata de un edificio con 4 sótanos y 14 plantas con una altura de coronación de 45.10 m. La planta baja tiene una altura de 3.65 m, mientras que en el resto de plantas la altura entre pisos es de 3.05 m. En los sótanos la altura entre pisos es de 3.00 m, excepto en para el primer sótano que es de 3.43 m. La estructura se resuelve mediante losas de hormigón armado, más pantallas, pilares y vigas, también de hormigón armado. La Figura 1 muestra una sección del edificio objeto de este estudio.

La estructura de hormigón armado tiene las siguientes características:

- Cimentación: Dadas las condiciones del terreno de cimentación se proyectaron losas de hormigón armado de 150 y 60 cm de canto.
- Sótanos: los forjados de sótano se resolvieron mediante losas de hormigón armado de 30 cm de canto.
- Planta Baja: el forjado de planta baja se resuelve mediante una losa de hormigón armado de 60 cm de canto. Además dicho forjado cuenta con vigas de cuelgue de hasta 100 cm de canto.
- Forjados 01-15: los forjados se resolvieron mediante losas de hormigón de armado de 22 cm de canto, excepto el forjado 13 cuyo canto es de 30 cm. La superficie construida para los forjados del 1 al 14 es de 510 m² y de 320 m² para el forjado 15.

3.2 Materiales

Los materiales empleados en la construcción de este edificio se describen a continuación:

- El hormigón de la losa de cimentación: HA-30/B/40/Ila+Qa
- El hormigón de los pilares: HA-35/B/20/Ila
- El hormigón de los forjados es: HA-25/B/40/Ila
- Acero para armar: B-500-S

3.3 Acciones

Las acciones que se consideraron en el cálculo de la estructura están de acuerdo con lo especificado en el Código Técnico de la Edificación (Ministerio de Vivienda, 2009).

3.4 Zona de estudio

En este edificio se realizó un estudio experimental, instrumentando diversos puntales, con el fin de conocer la transmisión de cargas entre forjados y puntales (Gasch, 2012 y Gasch et al., 2014).

Se eligieron los vanos de esquina y medianera siendo estos los más deformables, por tanto, donde se presentan las cargas máximas en puntales. Por cada planta se instrumentaron un total de 12 puntales (6 por cada uno de los vanos).

Por tanto, se instrumentaron 36 puntales con tres bandas extensométricas en cada uno de ellos, para conocer exactamente los esfuerzos a los que estaban sometidos en cada una de las fases de construcción de la estructura. Se dispusieron tres bandas extensométricas, en un mismo nivel para cada puntal, con el fin de compensar de una forma correcta el efecto de la deformación por flexión del puntal. La Figura 2 muestra la instrumentación empleada.

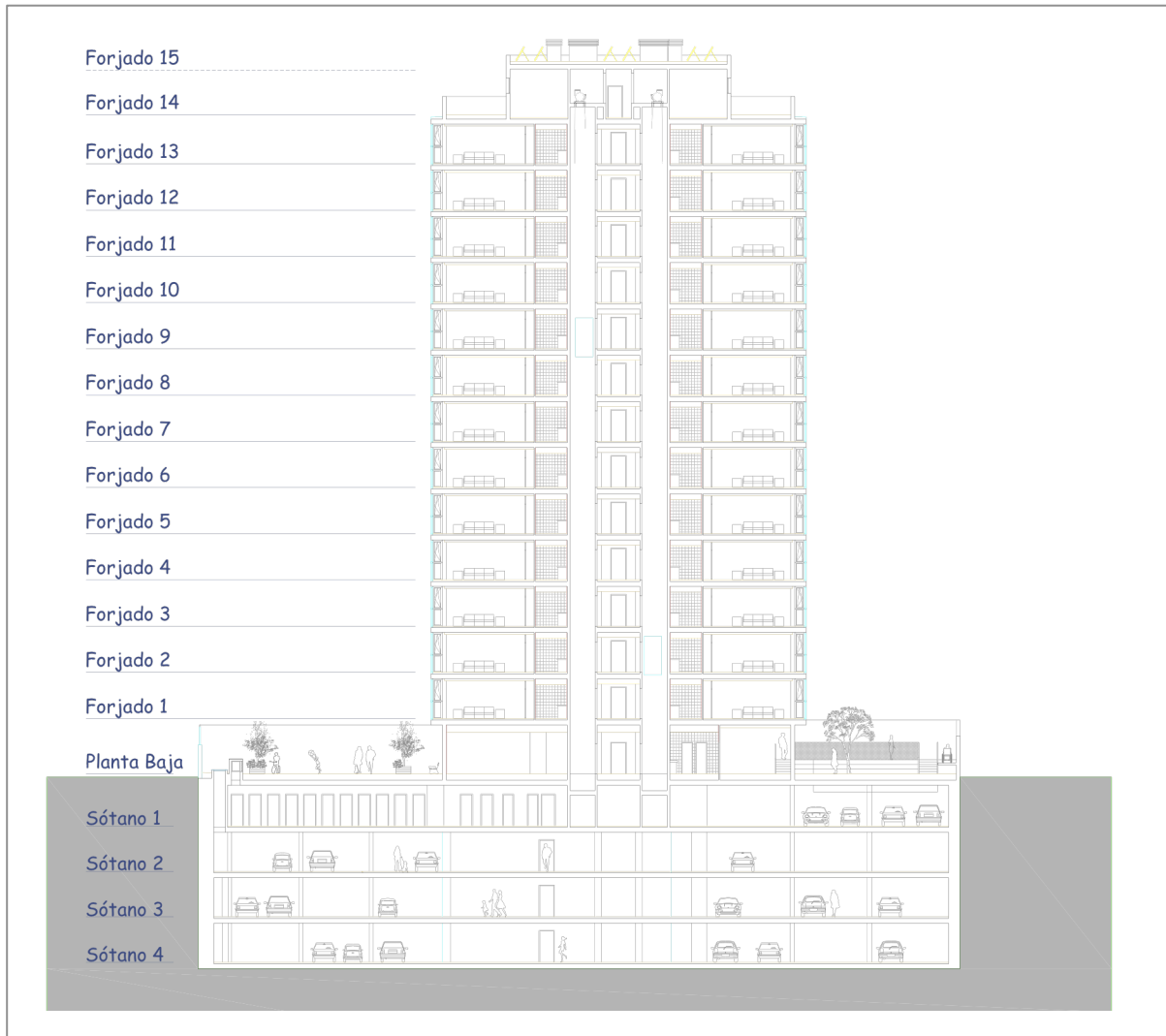


Figura 1. Sección del edificio

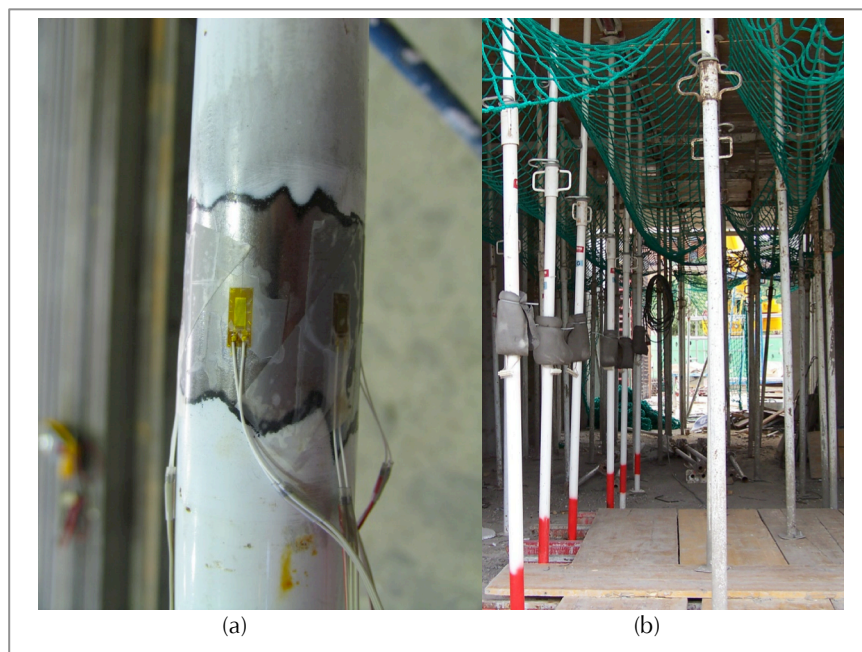


Figura 2. (a) Puntal instrumentado (b) Conjunto de puntales instrumentados en obra

Considerando que la repetitividad en planta del edificio hace cíclica la transmisión de cargas entre puntales y forjados, se instrumentaron tan solo las 6 primeras plantas que corresponden a la rotación completa del equipo de apuntalamiento (3 plantas consecutivas apuntaladas). Los resultados experimentales se muestran al detalle en Gasch et al. (2014).

Métodos simplificados como el de Duan y Chen (1995), Fang et al. (2001a,b) y más recientemente el de Calderón et al. (2011), al considerar la rigidez real del sistema de apuntalamiento, son de aplicación a procesos donde operaciones como el clareado son empleadas. Las cargas estimadas por dichos métodos simplificados han sido comparadas con los resultados experimentales obtenidos por Gasch et al. (2014) (véase Tabla 1).

Comparando las medidas experimentales con la estimación de los diferentes métodos simplificados, se validó el uso del Nuevo Procedimiento Simplificado de Calderón et al. (2011) para el cálculo de la transmisión de cargas entre forjados y puntales (Gasch, 2012 y Gasch et al., 2014).

4. Estudio de diferentes alternativas al proceso de cimbrado y descimbrado de la edificación

Una vez validado el método simplificado se realizó un estudio de diferentes alternativas de procesos constructivos, para la obra objeto de este estudio, con el fin de definir un proceso constructivo viable en relación a plazos y precio para la obra en cuestión. Para el cálculo de las cargas que actúan sobre los forjados durante el proceso constructivo se aplicó el Nuevo Procedimiento Simplificado (Calderón et al., 2011).

Para el edificio objeto de estudio, descrito en el apartado 3, debido a la particularidad que se presenta en el forjado de planta baja, al tener este un canto muy superior a los forjados inferiores, el proceso constructivo se dividió en dos fases claramente diferenciadas:

- La primera fase consiste en construir hasta el forjado de planta baja con un proceso de cimbrado y descimbrado, manteniendo las cuatro plantas apuntaladas hasta la cimentación. Esto debido al importante peso del forjado de planta baja, que no

puede ser resistido por si solo por los sótanos inferiores y hace necesario un considerable número de puntales para transmitir dicha carga a la cimentación. Una vez hormigonada la planta baja se procederá al descimbrado de dichas plantas, de arriba hacia abajo.

- La segunda fase consiste en la construcción de los forjados del 1 al 15 (forjados sobre rasante) considerando el proceso constructivo que se esté estudiando en cada caso.

Al ser la primera fase común, independientemente del proceso constructivo utilizado en la segunda fase, es esta última la que se analizó.

En el proceso constructivo se distinguen por separado el vano de esquina y el vano de medianera.

4.1 Bases de cálculo

Las acciones, materiales y características geométricas del edificio estudiado se describen en la Sección 3.

4.1.1. Coeficientes de seguridad

La edición vigente de la EHE correspondiente a la EHE-08 (Ministerio de Fomento, 2008) no da una recomendación clara acerca de los coeficientes de mayoración de carga para las acciones constructivas. Por tanto en el presente estudio se realiza un análisis considerando como coeficiente de mayoración 1.35 siendo el mínimo permitido por la EHE-08 (Ministerio de Fomento, 2008).

4.1.2 Temperatura media en obra

Según los registros de temperatura tomados durante la ejecución de la estructura se adopta una temperatura media de 25°C.

4.1.3 Características de los puntales

El puntal empleado para la construcción del edificio fue el correspondiente a una altura máxima de 4 m. Este puntal está fabricado con un tubo de acero de alta calidad S275JR (ST-44). Las bases, la rosca y el pasador son también de acero, y el cuerpo y la caña del puntal están pintados con pintura de poliéster. Las características geométricas del puntal empleado se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Ajuste de medidas experimentales con la estimación de métodos simplificados

$\frac{C_{exp}^*}{C_{simp}^*}$	Duan y Chen (2)		Fang et al. (3,4)		Calderon et al. (5) (NPS)	
	Vano esquina	Vano medianera	Vano esquina	Vano medianera	Vano esquina	Vano medianera
Media	1.49	1.13	2.59	1.46	1.09	0.98
Desv. típica	0.43	0.20	1.17	0.41	0.23	0.20

* Coeficientes de carga que relacionan la carga en forjados en cada una de las operaciones constructivas con la carga de construcción, obtenidas experimentalmente (C_{exp}) y aplicando métodos simplificados (C_{simp}).

Tabla 2. Características geométricas del puntal

Tipo de puntal	Longitud del cuerpo (m)	Diámetro del cuerpo (mm)	Espesor cuerpo (mm)	Diámetro caña (mm)	Espesor caña (mm)	Peso (Kg)
Puntal 4 m.	1.88	48	2	41	2.5	11.25

4.2 Alternativas estudiadas

Existen diferentes procesos constructivos para la construcción de edificios de forjados consecutivos. Alvarado (2009) define como los más importantes los procesos de: Cimbrado y Descimbrado (CD); Cimbrado, Recimbrado y Descimbrado (CRD); y Cimbrado, Clareado y Descimbrado (CCD).

Para resolver los plazos de ejecución se plantearon estas tres alternativas del proceso constructivo, que se explican a continuación, considerado 2, 3 y 4 plantas consecutivas apuntaladas, siendo esto habitual en la construcción de edificaciones. Además se considera un ritmo de ejecución de la edificación de un forjado por semana.

- **Apuntalamiento en un proceso de cimbrado y descimbrado:** En el proceso de cimbrado y descimbrado (CD) sólo intervienen dos etapas claramente definidas, la colocación de la cimbra donde se vierte el hormigón, y la retirada de esta cimbra. En este proceso existirán cuantos juegos de cimbras sean necesarios por cada planta pudiendo tener dos, tres, o más plantas consecutivas cimbradas.

Los plazos mínimos que se adoptaron en este estudio, dependiendo del número de plantas consecutivas apuntaladas y considerando tiempos empleados comúnmente en obra, para realizar cada una de las operaciones constructivas se muestran en la Tabla 3.

- **Apuntalamiento en un proceso de cimbrado, clareado y descimbrado:** El clareado o descimbrado parcial es una operación de uso habitual en España, que consiste en la retirada del encofrado y de más

del 50 % de los puntales que soportan el forjado pocos días después de su hormigonado. De esta forma se reduce notablemente el material necesario para el encofrado y cimbrado. Esta técnica mejora notablemente la economía y racionaliza el proceso constructivo.

Los plazos mínimos que se adoptaron en este estudio, dependiendo del número de plantas consecutivas apuntaladas y considerando tiempos empleados comúnmente en obra, para realizar cada una de las operaciones constructivas se muestran en la Tabla 4.

- **Apuntalamiento en un proceso de cimbrado, recimbrado y descimbrado:** En 1967 Taylor (1967) desarrolla el proceso de cimbrado, recimbrado y descimbrado (CRD). Que consiste en descimbrar determinadas plantas, descargando completamente los puntales correspondientes, redistribuyendo de esta forma la carga entre los forjados. A continuación se apuntala de nuevo, asegurando el contacto entre los puntales y forjados, de forma que los puntales colaboren con los futuros incrementos de carga. De esta forma se consigue que los forjados, a edades cortas, y en el momento de ser recimbrados, deban soportar única y exclusivamente su peso propio.

Los plazos mínimos que se han adoptado en este estudio, dependiendo del número de plantas consecutivas apuntaladas y considerando tiempos empleados comúnmente en obra, para realizar cada una de las operaciones constructivas se muestran en la Tabla 5.

Tabla 3. Plazo mínimo de las operaciones en un proceso de cimbrado y descimbrado

Número de forjados apuntalados consecutivos (juegos de puntales)	Plazo mínimo de la puesta en carga del forjado (Días)	Plazo mínimo de descimbrado (Días)
2	7	8
3	7	15
4	7	22

Tabla 4. Plazo mínimo de las operaciones en un proceso de cimbrado, clareado y descimbrado

Número de forjados apuntalados consecutivos (juegos de puntales)	Plazo mínimo de clareado (Días)	Plazo mínimo de la puesta en carga del forjado (Días)	Plazo mínimo de descimbrado (Días)
2	2	7	10
3	2	7	17
4	2	7	24

Tabla 5. Plazo mínimo de las operaciones en un proceso de cimbrado, recimbrado y descimbrado

Número de forjados apuntalados consecutivos (juegos de puntales)	Plazo mínimo de recimbrado (Días)	Plazo mínimo de la puesta en carga del forjado (Días)	Plazo mínimo de descimbrado (Días)
2	3	7	11
3	3	7	18
4	3	7	25



4.2.1 Proceso de Cimbrao-Descimbrado

Para resolver los plazos de ejecución del edificio objeto de estudio en un proceso de cimbrado y descimbrado (considerando 2, 3 y 4 plantas consecutivas apuntaladas), es necesario calcular primero las cargas que se presentan durante el proceso constructivo (Gasch, 2012 y Gasch et al., 2014) y comprobar si se cumple o no, en cada una de las operaciones constructivas, la condición de descimbrado (Calavera y Fernández, 1991). Dicha condición de descimbrado está condicionada a la proporción que existe entre la evolución de propiedades del hormigón y la capacidad del forjado para soportar un determinado valor de carga. Esta condición es:

$$\frac{f_{ckt,j}}{f_{ckt,28}} \geq \beta \quad (1)$$

$f_{ckt,j}$: resistencia característica del hormigón a una edad de j días.

$f_{ckt,28}$: resistencia característica del hormigón a una edad de 28 días.

$$\beta = \frac{q_{const} \cdot \gamma'_{fg}}{q_{pry} \cdot \gamma_{fg}}$$

Siendo q_{const} la carga de construcción, q_{pry} la carga de proyecto, γ'_{fg} el coeficiente de mayoración de acciones en construcción, y γ_{fg} el coeficiente de mayoración de acciones de proyecto.

De la Fórmula 1 se extrae que el valor de β no puede ser mayor que la unidad, de lo contrario las cargas que se producen en la fase de construcción para un forjado serían superiores a aquellas para las que fue proyectado, haciendo el proceso constructivo no factible.

Los plazos obtenidos a partir del análisis de la transmisión de cargas, cumpliendo la condición de descimbrado (Fórmula 1), se corresponden al menor plazo de ejecución posible cumpliendo además con los plazos mínimos establecidos en el apartado 4.2.

El procedimiento de análisis seguido para identificar las diferentes alternativas viables para la ejecución de la estructura se expresa en la Figura 3.

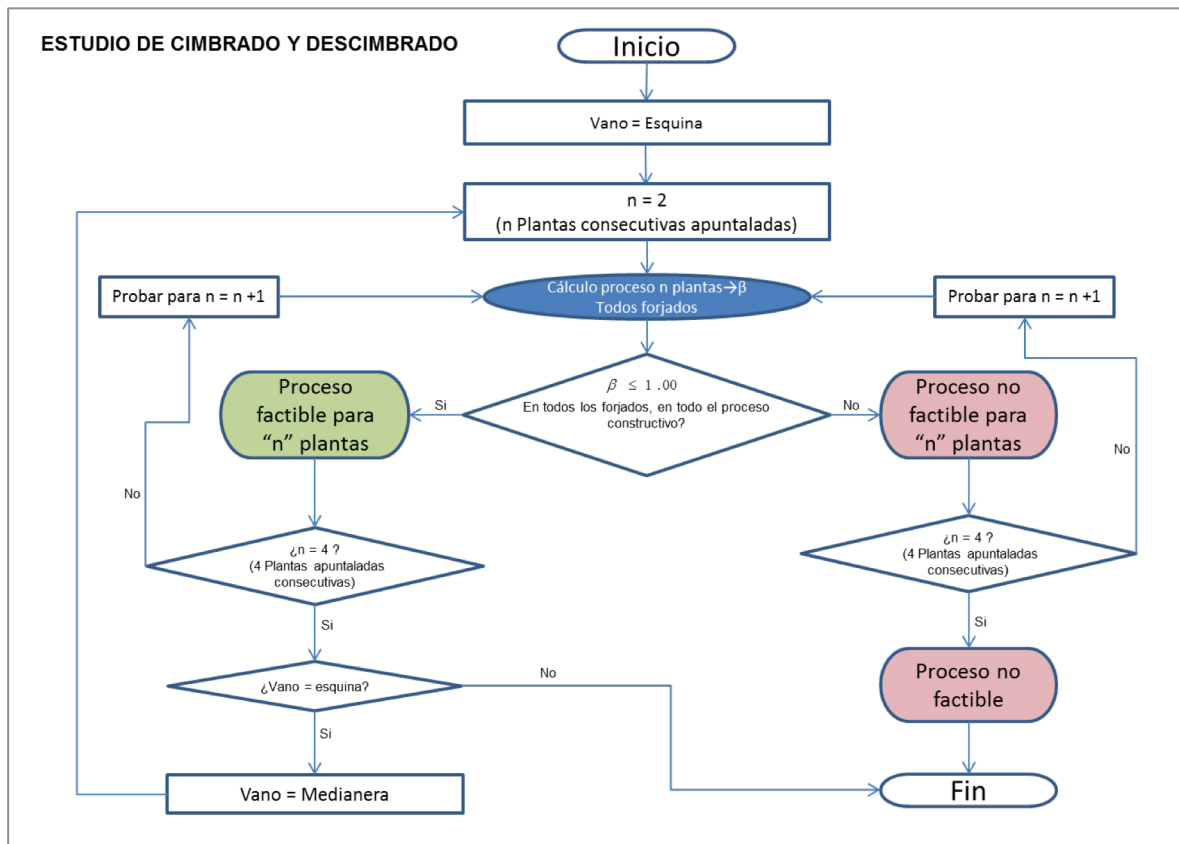


Figura 3. Procedimiento de análisis de proceso de cimbrado y descimbrado factibles para el edificio objeto de este estudio

En la Tabla 6 se muestran los valores del coeficiente β , para un proceso de CD, así como la operación crítica del proceso constructivo y el forjado donde se produce dicha operación crítica.

Los resultados mostrados en la Tabla anterior, donde se ha obtenido un β superior a 1 para todos los casos

estudiados, evidencian que el proceso de cimbrado y descimbrado no es factible, para ningún supuesto, en el edificio objeto de este estudio. Al no cumplir la condición de descimbrado para el vano de esquina este proceso no es factible, por esto se omite el cálculo para el vano de medianera.

Tabla 6. Valores del coeficiente β , para un proceso de CD

Plantas consecutivas apuntaladas	Vano	Operación crítica	Forjado	Valor de β
2	Esquina	Hormigonado Forjado 4	Forjado 2	1.30
3	Esquina	Hormigonado Forjado 6	Forjado 3	1.29
4	Esquina	Hormigonado Forjado 7	Forjado 3	1.28

4.2.2 Proceso de cimbrado-clareado-descimbrado

El procedimiento para obtener soluciones factibles, que permitan cumplir con las condiciones citadas anteriormente, es el mismo que se muestra en la Figura 3 (para un proceso de cimbrado- descimbrado).

En la Tabla 7 se muestran los resultados para un proceso de CCD indicando: operación crítica del proceso constructivo, forjado donde se produce dicha operación crítica y valores del coeficiente β .

En la Tabla 7 se observa que el proceso constructivo de cimbrado, clareado y descimbrado es factible en los casos de 3 y 4 plantas consecutivas apuntaladas. El plazo de

ejecución de la estructura es de 101 días tanto si se apuntalan 3 plantas consecutivas, como en el caso de que haya 4 plantas consecutivas apuntaladas.

4.2.3 Proceso de Cimbrado-Recimbrado-Descimbrado

Para identificar las diferentes alternativas viables para la ejecución de la estructura, el procedimiento de análisis seguido es el mismo que el mostrado en la Figura 3.

En la Tabla 8 se muestra la operación crítica del proceso constructivo, el forjado donde se produce y los valores del coeficiente β , para un proceso de CRD.

Tabla 7. Valores del coeficiente β para un proceso de CCD

Plantas consecutivas apuntaladas	Vano	Operación crítica	Forjado	Valor de β
2	Esquina	Hormigonado Forjado 3	Forjado 2	1.03
3	Esquina	Hormigonado Forjado 14	Forjado 13	0.98
3	Medianera	Descimbrado Forjado 13	Forjado 13	0.95
4	Esquina	Hormigonado Forjado 13	Forjado 12	0.98
4	Medianera	Descimbrado Forjado 12	Forjado 12	0.98

Tabla 8. Valores del coeficiente β , para un proceso de CRD

Plantas consecutivas apuntaladas	Vano	Operación crítica	Forjado	Valor de β
2	Esquina	Hormigonado Forjado 15	Forjado 14	1.08
3	Esquina	Hormigonado Forjado 15	Forjado 14	1.06
4	Esquina	Hormigonado Forjado 15	Forjado 14	1.06

Los resultados mostrados en la Tabla anterior, donde se ha obtenido un β superior a 1 para todos los casos estudiados, evidencian que el proceso de cimbrado, recimbrado y descimbrado no es factible, para ningún supuesto, en el edificio objeto de este estudio. Al no cumplir la condición de descimbrado para el vano de esquina este proceso no es factible, por esto se omite el cálculo para el vano de medianera.

5. Valoración económica de las soluciones factibles estudiadas

En el apartado anterior se analizaron diferentes alternativas de procesos constructivos para la ejecución de un edificio de forjados consecutivos de hormigón in situ. Al realizar dicho análisis se han obtenido diferentes alternativas factibles que no comprometen la capacidad de la estructura para resistir, con una seguridad suficiente, las cargas que se presentan durante el proceso constructivo.

A partir de dicho análisis se encontró que el proceso constructivo CCD es el único, entre los habitualmente empleados, que resulta factible considerando 3 y 4 plantas consecutivas apuntaladas.

Considerando dichos aspectos en el presente apartado se realiza una valoración económica de cada una de las soluciones factibles estudiadas con anterioridad. Dicha valoración económica considera las necesidades estrictas de material, sin tener en cuenta los márgenes de seguridad respecto a la cantidad de material empleado.

Los precios, de alquiler de material y mano de obra utilizados en este estudio, son empleados como un elemento de comparación, en ningún caso deben entenderse en términos absolutos.

Los rendimientos considerados para la ejecución de cada una de las operaciones constructivas se han estimado a partir de la observación de diferentes obras.

5.1 Precios unitarios y rendimientos considerados

La Tabla 9 muestra los precios de alquiler de material al día y el precio de la mano de obra.

La Tabla 10 muestra los rendimientos estimados para cada una de las operaciones constructivas

5.2 Coste de ejecución en un proceso de cimbrado, clareado y descimbrado

A continuación se muestra el coste de las soluciones factibles obtenidas considerado un proceso constructivo de cimbrado, clareado y descimbrado. Tal y como se ha comentado anteriormente, sólo se analiza la Fase 2 del proceso constructivo.

5.2.1 Proceso CCD para tres forjados

En la Tabla 11 se muestra la cantidad de material a emplear en la ejecución junto con las horas necesarias de personal. La cantidad de este material se ha obtenido considerando una superficie de 510 m² por forjado. Para la ejecución de 3 forjados consecutivos apuntalados, considerando el mínimo material posible a emplear, son necesarios 1 juego de tableros de encofrado y 2.0 juegos de puntales y sopandas. Las horas de personal de obra se obtienen a partir de las operaciones constructivas a realizar y los rendimientos de la Tabla 10. Asimismo, se muestra el coste para dicha fase, obtenido a partir de los precios unitarios (Tabla 9), las cantidades de material y personal y el plazo de ejecución (101 días).

El coste total de ejecución de un proceso constructivo de cimbrado, clareado y descimbrado para tres forjados consecutivos apuntalados, cuyo plazo de ejecución es de **101 días**, asciende a **126,513.15 €**.

Tabla 9. Precios unitarios

Unidad	Precio	
Alquiler de sopanda	0.055	€/m
Alquiler de tableros de encofrado	0.23	€/m ²
Alquiler de puntal de 4 m	0.05	€
Personal de obra	18.10	€/hora

Tabla 10. Rendimientos

Operación constructiva	Rendimiento (horas/m ²)
Cimbrado	0.47
Clareado	0.10
Descimbrado	0.18

Tabla 11. Cantidades de material, personal necesario y coste de ejecución

Unidad	Cantidad	Coste (€)
Sopandas	1,020 m	5,666.10
Tableros de encofrado	510 m ²	11,847.30
Puntales	1,020 unidades	5,151.00
Personal de obra	5,737.5 horas	103,848.75
Total Fase 2		126,513.15

5.2.2 Proceso CCD para cuatro forjados

En la Tabla 12 se muestra la cantidad de material a emplear en la ejecución junto con las horas necesarias de personal. La cantidad de este material se ha obtenido considerando una superficie de 510 m² por forjado. Para la ejecución de 4 forjados consecutivos apuntalados, considerando el mínimo material posible a emplear, son necesarios 1 juego de tableros de encofrado y 2.5 juegos de puntales y sopandas. Las horas de personal de obra se obtienen a partir de las operaciones constructivas a realizar y

los rendimientos de la Tabla 10. Asimismo, se muestra el coste para dicha fase, obtenido a partir de los precios unitarios (Tabla 9), las cantidades de material y personal y el plazo de ejecución (101 días).

El coste total de ejecución de un proceso constructivo de cimbrado, clareado y descimbrado para cuatro forjados consecutivos apuntalados, cuyo plazo de ejecución es de **101 días**, asciende a **129,217.43 €**

Tabla 12. Cantidades de material, personal necesario y coste de ejecución

Unidad	Cantidad	Coste (€)
Sopandas	1,275 m	7,082.63
Tableros de encofrado	510 m ²	11,847.30
Puntales	1,275 unidades	6,438.75
Personal de obra	5,737.5 horas	103,848.75
Total Fase 2		129,217.43

6. Conclusiones

Mediante la aplicación del Nuevo Procedimiento Simplificado es posible analizar diferentes alternativas de procesos constructivos para la ejecución de edificios de forjados consecutivos. Empleando dicho procedimiento, en este estudio se han analizado 3 diferentes procesos constructivos:

- Proceso de cimbrado y descimbrado (CD)
- Proceso de cimbrado, clareado y descimbrado (CCD)
- Proceso de cimbrado, recimbrado y descimbrado (CRD)

Considerando la condición de descimbrado propuesta por Calavera, una vez aplicado el nuevo procedimiento simplificado, hacen posible determinar que procesos constructivos resultan factibles para resolver la estructura. Para el edificio objeto de estudio, el proceso de CCD

considerando 3 y 4 plantas consecutivas apuntaladas es el único proceso que resulta factible.

A partir de este análisis es posible realizar una valoración de coste para cada uno de los procesos constructivos factibles. Para el edificio objeto de este estudio se determinó que el coste mínimo para la construcción del edificio se obtiene mediante un proceso constructivo de cimbrado, clareado y descimbrado con 3 plantas apuntaladas consecutivas.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen a las empresas SACYR y Encofrados J. Alsina por su inestimable cooperación para el desarrollo de esta investigación.



8. Referencias

- Alvarado Y.A. (2009)**, Estudio experimental y numérico de la construcción de forjados hormigonados in situ mediante procesos de cimbrado, clareado y descimbrado de plantas consecutivas (Tesis doctoral). Valencia: Universitat Politècnica de València. Disponible en <http://hdl.handle.net/10251/7285>.
- Alvarado Y. A., Calderón P. A., Adam J. M., Payá I. J., Pellicer T., Pallares F. J. y Moragues J. J. (2009)**, An experimental study into the evolution of loads on shores and slabs during construction of multistorey buildings using partial striking. *Engineering Structures*, 31(9): 2132-2140, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.03.021>.
- Alvarado Y. A., Calderón P. A., Gasch I. y Adam J. M. (2010)**, A numerical study into the evolution of loads on shores and slabs during construction of multistorey buildings. Comparison of partial striking with other techniques. *Engineering Structures*, 32(10): 3093-3102, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.05.028>.
- Calavera J. y Fernández J. (1991)**, Cuaderno N° 3: Criterios para el descimbrado de estructuras de hormigón, Madrid: INTEMAC.
- Calderón P. A., Alvarado Y. A. y Adam J. M. (2011)**, A new simplified procedure to estimate loads on slabs and shoring during the construction of multistorey buildings. *Engineering Structures*, 33(5): 1565-1575, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.01.027>.
- Duan M. Z. y Chen W. F. (1995)**, *Improved simplified method for slab and shore load analysis during construction*. Project report CE-STR-95-24, Purdue University, West Lafayette, Ind.
- Fang D. P., Zhu H. Y., Geng C. D. y Liu X. L. (2001a)**, Floor load distribution in reinforced concrete buildings during construction. *ACI Structural Journal*, 98(2): 149-156, <http://dx.doi.org/10.14359/10182>.
- Fang, D. P.; Zhu, H. Y.; Geng, C. D. y Liu, X. L. (2001b)**, On-site measurements of structural characteristics of reinforced concrete buildings during construction. *ACI Structural Journal*, 98(2): 157-163, <http://dx.doi.org/10.14359/10183>.
- Gasch I. (2012)**, Estudio de la evolución de cargas en forjados y estructuras auxiliares de apuntalamiento durante la construcción de edificios de hormigón in situ mediante procesos de cimbrado, clareado y descimbrado de plantas consecutivas (Tesis doctoral). Valencia: Universitat Politècnica de València. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/15407>.
- Gasch I., Alvarado Y. A., Calderón P. A. y Torres B. (2013)**, Transmisión de cargas entre forjados y puntales en un edificio de forjado reticular de casetón perdido utilizando clareado. *Informes de la Construcción*, 65(530):195-202, <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.046>.
- Gasch I., Alvarado Y. A., Calderón P. A. y Ivorra S. (2014)**, Construction loads using a shoring-clearing-striking process. *Proceedings of the ICE – Structures and Buildings*, 167(4): 217-229, <http://dx.doi.org/10.1680/stbu.12.00006>.
- Grundy P. y Kabaila A. (1963)**, Construction loads on slabs with shored formwork in multistorey buildings. *ACI Journal Proceedings*, 60(12): 1729-1738.
- Ministerio de Vivienda (2009)**, *Código técnico de la edificación (CTE)*, Madrid.
- Ministerio de Fomento (2008)**, *Instrucción de hormigón estructural. EHE-08*, Madrid.
- Taylor P.J. (1967)**, Effects of formwork stripping time on deflections of flat slabs and plates, *Australian civil engineering and construction*, 8(2): 31-35.