

DESCIMBRE Y REAPUNTALADO DE LOSAS DE PISOS CONSECUTIVOS

**AUTORES: Hugo Barrera V., Ing. Civil, Prof. Depto. Ing. OO.CC. U. de Santiago de Chile ¹
Javier Suárez S., Ing. Civil en Obras Civiles.**

RESUMEN

Este tema constituye una “tierra de nadie” en la ingeniería nacional. A no existir una norma oficial, cada oficina de ingeniería estructural tiene sus propias reglas que, a veces las imponen, pero generalmente le endosan el problema a las empresas constructoras quienes son los directamente afectados. Ellas operan sobre la base de los usos y costumbres y son renuentes a innovar, por el temor y la desconfianza que les inspira.

El problema de las cargas en losas durante el período de construcción y las acciones que deben desarrollarse, primero para soportarlas y luego, para liberarlas de moldes y puntales, aun cuando es un tema largamente estudiado, especialmente en los 20 últimos años, todavía está sujeto a controversia, a pesar que existen criterios ya establecidos que son perfectamente aplicables en Chile.

Los objetivos principales de este trabajo son: determinar velocidades de construcción y plazos óptimos para el apuntalamiento, descimbre y desapuntalamiento para un edificio real, representativo de la actual construcción e introducir el concepto de reapuntalamiento.

Se presenta un resumen de la extensa bibliografía disponible, en cuanto a métodos de distribución de carga, capacidad resistente de las losas, seguridad estructural durante la construcción, determinación de las cargas vivas de construcción y sus factores de mayoración, según los Códigos.

Todo lo anterior se aplica al estudio estructural del apuntalamiento de un edificio típico chileno, determinando la distribución de sus cargas de construcción. Haciendo uso del concepto de madurez del hormigón, se determina la capacidad resistente de las losas a edades tempranas y, en base a ello, se efectúa un análisis de seguridad de la estructura en obra, considerando la práctica normal de tres niveles de puntales con distintas velocidades de avance y considerando distintas temperaturas de curado del hormigón.

El Código ACI 347 define los **repuntales** como puntales colocados ajustadamente bajo una losa de hormigón después que el moldaje y los puntales originales se removieron en una gran superficie. De este modo, la losa necesita deformarse y soportar su peso propio y las cargas de construcción existentes antes de la instalación de los repuntales.

Se aplicó este concepto, considerando alternativamente, dos niveles de puntales más un nivel de repuntales, con distintas velocidades de avance y temperaturas de curado.

Efectuados los análisis respectivos, se encontró que con tres niveles de puntales, algunos de ellos pudieron quedar expuestos a cargas mayores que las admisibles, lo cual nunca sucedió al usar repuntales. Asimismo, se comprobó que, con esta segunda configuración, la velocidad de construcción podría aumentar significativamente.

¹ Casilla 442-2, Santiago. Fax: (56-2)776 1581. e-mail: hbarrera@lauca.usach.cl

1 INTRODUCCION

En la construcción de edificios en altura de hormigón armado, las cargas generadas en las losas más recientemente hormigonadas se transmiten hacia losas previamente emplazadas, por medio de sistemas de apuntalamiento, los cuales, en conjunto con estas losas, conforman una estructura temporal soportante. Las cargas que se producen en esta etapa, corresponden al peso del hormigón fresco, el peso de los trabajadores, el peso del equipamiento y el impacto por el vertido del hormigón. Dichas cargas pueden ser de gran magnitud y, en algunos casos, sobrepasar la capacidad resistente de estas losas, pudiéndose producir un colapso en la estructura. Se debe tener en consideración, además, que las cargas de construcción se aplican a losas de edades inferiores a 28 días, las cuales, al momento de soportar las cargas, no han adquirido aún la capacidad resistente para la cual fueron diseñadas, lo que puede dar lugar a fallas en los elementos estructurales durante la construcción o a deformaciones inesperadas en las condiciones de servicio.

La necesidad de aumentar la productividad y cumplir con plazos predeterminados en la construcción de edificios en altura ha llevado a las empresas constructoras a valorar un posible aumento en el ritmo de construcción, por medio del uso repetitivo de moldajes y puntales y la implementación de una secuencia programada de apuntalamiento que permita la remoción prematura de moldajes, lo cual se traduce en una disminución de costos de construcción por concepto de reducción de gastos en moldajes y puntales y obtención de incentivos por cumplimiento y reducción de plazos. Dicha programación debe realizarse de modo que se mantenga la seguridad de la estructura durante todo el proceso constructivo, lo que implica que no se excedan las capacidades resistentes de las losas en ningún momento.

Para lograr lo anterior se debe, previamente, determinar la distribución de las cargas generadas durante la construcción entre las losas del montaje soportante, en la cual inciden múltiples factores. Entre los principales factores a considerar se encuentran la velocidad de construcción, el tipo de sistema de apuntalamiento, el número de niveles apuntalados y reapuntalados y el programa de apuntalamiento y reapuntalamiento, que

incluye el desmontado y descimbrado.

Por otro lado, se deben determinar las capacidades resistentes de las losas en cada etapa durante la construcción. Estas dependen principalmente de la velocidad de construcción, la resistencia de diseño de la estructura y la velocidad de ganancia de resistencia de la estructura a edades tempranas que, a su vez, es función de la velocidad de construcción, la temperatura, el tipo de cemento a usar y el posible uso de aditivos.

Actualmente, en la construcción de edificios en altura en Chile, se procede de acuerdo a la “costumbre” y la experiencia personal de los ingenieros y constructores a cargo de las obras y a los plazos mínimos para el desmolde y descimbre recomendados por la Norma NCh 170. Ello se debe principalmente al desconocimiento de los profesionales de la moderna tecnología del hormigón y al natural temor que ello acarrea.

En el presente estudio se trata de resumir la extensa investigación desarrollada en todo el mundo respecto de este tema y de proponer, adaptada a la realidad nacional, una metodología innovadora que revolucione el sistema imperante en el país.

1.1 Objetivos

- Determinar velocidades de construcción y plazos óptimos para el apuntalamiento, descimbre y desapuntalamiento para un edificio real, representativo de la construcción actual en el país, introduciendo el concepto de reapuntalamiento.
- Introducir al debate en Chile el tema de la importancia de los procesos de apuntalamiento en la economía de la construcción por concepto de reducción de plazos y ahorro de materiales para moldajes y puntales y el tema de la seguridad de las estructuras durante la construcción.
- Dar a conocer el estado de la investigación mundial al respecto.

2 Alcances y limitaciones

Este estudio pretende ser una ayuda para los profesionales de la construcción en Chile, por lo que todas las suposiciones técnicas, constructivas, estructurales, geométricas, y de material, así como aquellas relacionadas con aspectos climáticos y meteorológicos

usadas, son aquellas que mejor se identifican con las prácticas y condiciones habituales en el país. No se tratarán casos particulares como por ejemplo losas no rectangulares, voladizos, etc.

2. LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN CHILE Y SUS NORMAS.

2.1 Introducción

Se visitaron obras en proceso de construcción con el objeto de constatar en terreno las metodologías de construcción en relación con los procesos de apuntalamiento, desencofrado y desapuntalamiento, así como los plazos de descimbre de fondos de losa y la existencia de especificaciones precisas de parte de los calculistas al respecto.

Para ello se preparó una encuesta con la información relevante a obtener. Sin embargo, ello no fue nada fácil. Aunque se obtuvo ayuda importante en algunos sitios de parte de los ingenieros y constructores a cargo de las obras, en otros lugares no hubo suficiente disposición a cooperar, ya que las personas encargadas de las obras no se manifestaban dispuestas a entregar mayor información acerca de éstas y los procedimientos que en ellas se ocupaban, por lo que la información recopilada en algunos casos es sólo parcial.

Lo anterior, no obstante, no fue obstáculo para detectar, de acuerdo a lo ya previsto, que los encargados de la construcción proceden más sobre la base de su experiencia personal y la “costumbre” que de acuerdo a criterios rigurosos de análisis y apoyo del cálculo estructural.

2.2 Definiciones y conceptos

Con el fin de evitar confusiones y aclarar conceptos clave, se entregan a continuación algunas definiciones importantes, tomadas del ACI.

Moldajes: superficies horizontales metálicas o de madera sobre las cuales se coloca directamente el hormigón.

Puntales: elementos de apoyo verticales o inclinados, diseñados para soportar el peso de los moldajes, el hormigón y las cargas de construcción sobre ellos.

Repuntales (Puntales de reapuntalamiento): puntales colocados ajustadamente bajo una losa de hormigón u otro elemento estructural, después de que los moldajes y puntales

originales se han retirado de un área extensa, requiriendo así que la nueva losa o elemento estructural se deforme y cargue su propio peso y las cargas de construcción existentes antes de la instalación de los repuntales.

Retropuntales (Puntales de retroapuntalamiento): puntales colocados ajustadamente bajo una losa de hormigón u otro elemento estructural, después de que los moldajes y puntales originales se han retirado de un área pequeña, sin permitir a la losa deformarse o soportar su propio peso o las cargas de construcción provenientes de más arriba, por lo que las cargas tomadas por ellos, son las mismas que soportaban los puntales originales.

Descimbre de losas: retiro de los moldajes del fondo de las losas.

Desapuntalado: retiro de los puntales que soportan temporalmente una losa.

3 Antecedentes recogidos y comentarios.

Las visitas a las obras se realizaron entre diciembre y mayo en Santiago y Viña del Mar, por lo que las condiciones climáticas en el momento de realizarlas fueron bastante variables. La temperatura media diaria en los sitios de construcción osciló aproximadamente entre 10°C y 20°C, sin embargo, no se apreciaron cambios en los programas y plazos de apuntalamiento y descimbre por este motivo. Todos los edificios visitados estaban destinados a uso habitacional y tenían una altura superior a los 10 pisos.

Se detectó el uso de cementos de tipo corriente y de alta resistencia, de marcas Melón y Polpaico, con grados H-30 y H-35, y en todos los lugares se realizaba la colocación del hormigón, tanto por medio de capachos, como de bomba.

Se registró el uso de distintos sistemas de apuntalamiento, aunque en cuatro de los lugares el sistema de moldaje y apuntalamiento, usado en el nivel a hormigonar, había sido preparado por diseñadores de moldaje, que en estos casos eran de las marcas EFCO, PERI o FORM-SCAFF, con distintos sistemas entre los que se cuentan el tipo más utilizado de placas de madera como moldaje apoyadas sobre un conjunto de vigas principales y secundarias de madera soportadas por puntales metálicos, y un sistema similar pero que tiene la ventaja de permitir el descimbre sin sacar los puntales de su lugar. Los componentes entregados por las empresas de moldajes, sin embargo, en ocasiones se diseñan para hormigonar sólo parte de un piso, ya sea la mitad o incluso una cuarta parte de su superficie. En uno de los casos se utilizaba un sistema móvil que estaba diseñado

para un área de losa específica y se colocaba y retiraba con grúa para instalarlo en el piso siguiente a los dos o tres días de hormigonada la losa. El vano de losa que se liberaba era inmediatamente reapuntalado. En esta misma obra, sin embargo, se utilizaba un sistema corriente de propiedad de la empresa constructora en otra área del edificio, por lo que en un mismo lugar había mezcla de sistemas. Este sistema corriente, también utilizado en otra obra, era similar al de vigas principales y secundarias descrito anteriormente pero con vigas metálicas. Los pisos restantes conectados en el sistema de losas y puntales, para todos los casos, se encontraban retroapuntalados, aunque la separación y distribución de los puntales era bastante variable y, en algunos casos, caótica. Los puntales de retroapuntalamiento eran puntales corrientes.

Se encontraron grandes variaciones en las distancias entre puntales y entre puntales de retroapuntalamiento, con valores que oscilaron entre 70 y 150 cm, con distribuciones no uniformes en todos los casos particulares. El caso de los sistemas proporcionados por empresas de diseño de moldajes es más complejo porque varía dependiendo de la marca, pero se encontraron distanciamientos desde 60 cm hasta cerca de 3 m entre puntales, aunque distancias tan largas se producían sólo en el sentido de la luz mayor de la losa.

El aspecto en que se observó mayor concordancia es aquel relacionado con la velocidad de avance de la construcción, que para todos los casos examinados, era de aproximadamente un piso cada siete días, con no menos de tres pisos por mes. El número de pisos conectados por puntales tampoco varió demasiado, ya que, salvo en uno de los edificios en que se mantenían puntales en cuatro niveles simultáneamente, se verificó que la práctica más extendida en Chile es la de tres niveles simultáneos. El plazo para el descimbre varió entre 24 hr, sólo en un caso, y siete días, aunque en la mayoría de los lugares, se descimbraba entre cinco y siete días después de hormigonar la losa. Finalmente, el plazo para el retiro del retroapuntalamiento, es decir, el tiempo transcurrido entre el hormigonado de una losa y el momento en que ya no está ligada a ninguna losa bajo ella, osciló entre 21 y 28 días, con una clara tendencia a realizarse en los alrededores de los 21 días en la mayoría de los casos.

En los lugares en que se utilizaban apuntalamientos corrientes, éste no estaba arriostrado, lo cual incide principalmente en la estabilidad del montaje soportante.

En general, no se detectó la acumulación de cantidades significativas de materiales ni gran circulación de personal de las obras en las losas conectadas por puntales, en ninguno de los sitios visitados.

Una de las conclusiones más importantes que se pueden sacar, es que el proceso de reapuntalamiento no se aplica en Chile, al menos en la gran mayoría de los casos, ya que ninguna de las personas encargadas de las obras visitadas tenía conocimiento de la aplicación de este concepto. Sin embargo, el sistema de moldaje y apuntalamiento móvil encontrado en uno de los edificios permite que un vano completo sea liberado y, por lo tanto, se deforme y soporte su propio peso antes de instalar nuevos puntales, lo cual equivale conceptualmente a un reapuntalamiento. Además, la edad de losa a la cual se realizó este proceso era muy baja, según los propios responsables de la obra.

Otro antecedente importante a considerar es el hecho de que en el país se utilizan solamente puntales de acero, a diferencia de otros países, como Estados Unidos, en que es frecuente la utilización de puntales de madera, especialmente en el proceso de reapuntalamiento. Este punto es de vital importancia a la hora de calcular la distribución de cargas de construcción, ya que uno de los factores que más afecta ese proceso es precisamente la rigidez del sistema de apuntalamiento, la cual también se ve alterada con la variación de material de las vigas que sostienen los moldajes y con la instalación no vertical de puntales, fenómeno que se detectó a simple vista en algunas de las obras visitadas, en las cuales algunos puntales presentaban una inclinación evidente.

La condición de país sísmico de Chile hace que la gran mayoría de los edificios se estructuren en base de muros de corte, lo cual también lo diferencia de muchos otros países en que se utiliza construcción basada en marcos. Esto incide además en las dimensiones de las losas en los edificios, que generalmente no tienen grandes luces.

2.3 NORMAS RELACIONADAS

2.3.1 NORMA CHILENA 170

Aun cuando se ha mostrado la importancia de los sistemas y programas de apuntalamiento y descimbre de pisos durante la construcción en la seguridad y economía

de las estructuras, la normativa existente en Chile al respecto es prácticamente nula. La Norma NCh 170², que establece requisitos generales para el hormigón, recomienda tiempos mínimos para el desmolde y descimbre de fondos de losas y vigas en casos corrientes, siempre que los elementos no se encuentren cargados, lo cual no es aplicable al caso de edificios en altura. Los plazos mínimos indicados corresponden a 16 días y 10 días para hormigones con cementos corrientes y de alta resistencia, respectivamente.

Por otra parte, dentro de las generalidades, esta norma señala que en general el descimbre depende de la resistencia que tenga el hormigón y de las características de los elementos estructurales, conforme a lo cual indica que los plazos de descimbre pueden disminuirse cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- a) La resistencia de probetas especiales curadas en las condiciones de la obra haya alcanzado la resistencia especificada cuando la estructura debe soportar cargas de inmediato o se tenga un porcentaje suficiente de f_c cuando sólo sea para efectuar operaciones que no produzcan cargas;
- b) Se disponga de un reapuntado planificado en tal forma que no existan áreas críticas sin un soporte adecuado;
- c) El desmolde se haga sin producir deterioros en el hormigón; y
- d) Lo autorice el proyectista estructural.

Dentro de las deficiencias de estos requerimientos se encuentra el hecho de que no se da una definición de reapuntado, lo cual puede llevar a confundir los conceptos de reapuntamiento y retroapuntamiento. Tampoco se entregan instrucciones en relación con el diseño de estos sistemas y programas de apuntalamiento ni con el control que de ellos se debe efectuar en la obra para mantener la seguridad de la estructura.

Además, al entregar plazos para elementos no sometidos a la acción de cargas, se excluyen todos aquellos pertenecientes a edificaciones en altura y conectados por sistemas de apuntalamiento, entre los cuales existe una distribución de las cargas que se generan en la construcción.

En resumen, se deja la responsabilidad de la determinación y programación de estos procesos en manos de los proyectistas estructurales, quienes a su vez, en muchos casos, la delegan en los encargados de las obras. Se produce, por lo tanto, una carencia de

criterios establecidos y recomendaciones precisas que incita a actuar según la costumbre.

2.4 NORMAS EXTRANJERAS

El código ACI 318-02 en su comentario C6.2, señala que, en la construcción de estructuras de varios niveles, el retiro de moldajes debe formar parte de un procedimiento planificado. La planificación de este procedimiento debe realizarse antes de iniciar la obra y se debe basar en un análisis estructural, considerando al menos lo siguiente:

- El sistema estructural que existe en las diversas etapas de la construcción y las cargas de construcción correspondientes a dichas etapas;
- La resistencia del hormigón a diversas edades durante la construcción;
- La influencia de las deformaciones de la estructura y el sistema de apuntalamiento en la distribución de las cargas permanentes y de las cargas de construcción, durante las diversas etapas de la construcción;
- La resistencia y espaciamiento de los puntales o de los sistemas de apuntalamiento usados, al igual que el método de apuntalamiento, arriostramiento, remoción de moldajes y reapuntalamiento, incluyendo los períodos mínimos entre las diversas operaciones;
- Cualquier otra carga o condición que afecte a la seguridad o durabilidad de la estructura durante la construcción.

Además, establece que la resistencia del hormigón durante las distintas etapas de construcción debe estar respaldada por probetas curadas en obra o por otros métodos aprobados.

El código ACI 347-94, establece recomendaciones generales para el diseño de los sistemas de apuntalamiento y el retiro de moldajes y puntales. Se recomienda que los moldajes soportantes y los puntales no se remuevan desde miembros horizontales, en ningún caso, antes de que la resistencia del hormigón, obtenida de probetas curadas en obra, sea al menos 70% de la resistencia de diseño, a menos que el calculista lo apruebe.

3. ESTUDIO DE LAS CARGAS GENERADAS DURANTE LA CONSTRUCCION Y SU DISTRIBUCION.

3.1 Antecedentes

El tema de la distribución de las cargas generadas durante la construcción de edificios de hormigón armado en altura y su influencia en la seguridad y economía de estas estructuras se ha venido estudiando desde más de cincuenta años. En 1952, en Suecia, Nielsen realizó un detallado análisis de la distribución de carga existente entre un sistema conectado por puntales y losas de piso, considerando las características de deformación de ambos elementos. Sin embargo, algunos de los investigadores que han realizado estudios posteriores, señalan que el método utilizado por Nielsen es de una gran complejidad matemática y por tanto difícil de aplicar.

En 1963, Grundy y Kabaila idearon un método de análisis que considero hipótesis simplificadoras y que ha servido de base para la mayoría de las investigaciones realizadas posteriormente. A partir de entonces, se han desarrollado numerosos análisis teóricos para determinar la distribución de cargas de construcción y estudiar el grado de influencia de diversos parámetros en ella. Además, se han efectuado diversas mediciones experimentales en los sitios de construcción con el fin de verificar la exactitud y utilidad de los diferentes métodos analíticos.

A continuación se resumen y analizan los estudios más importantes relacionados con el tema descrito anteriormente, comenzando por el precursor estudio de Grundy y Kabaila hasta llegar a la investigación de Fang, Zhu, Geng y Liu, publicada en 2001 y que corresponde al material disponible más reciente acerca del asunto tratado.

3.2 El metodo simplificado de GRUNDY Y KABAILA

Este método se basa en una serie de suposiciones simplificadoras que permiten realizar un análisis en forma sencilla y que, según sus creadores, no debiesen afectar apreciablemente la exactitud de los resultados finales. Se basa en las siguientes hipótesis:

1. Las losas se comportan elásticamente.
2. Inicialmente, las losas se soportan en una fundación completamente rígida.
3. Los puntales que soportan las losas y los moldajes pueden considerarse como un soporte elástico uniforme continuo, cuya rigidez se considera infinita en comparación con la rigidez de las losas en desplazamiento vertical. Por lo tanto,

- todas las losas conectadas por puntales se deforman de igual manera.
4. Cualquier carga adicional se distribuye entre las losas soportantes en proporción a sus rigideces relativas a la flexión .

El análisis se puede llevar a cabo en dos formas diferentes: considerando igual rigidez para todas las losas conectadas o utilizando rigidez variable, dependiendo de la edad de la losa, para tomar en cuenta el aumento de rigidez de losa con la edad.

Las dos operaciones básicas en una secuencia de construcción son el hormigonado de una nueva losa (operación A) y el retiro del nivel más bajo de puntales (operación B). Si se construye a una velocidad de un piso por semana y se emplean tres niveles de puntales, al momento de hormigonar el nivel “p” habrá puntales bajo las losas “p” (de 0 días), “p-1” (7 d.) y “p-2” (14 días), y la carga de estas losas más el sistema de apuntalamiento se distribuirá entre las losas “p-1”, “p-2” y “p-3” en proporción a sus rigideces relativas, a la flexión.

Figura 3.1: Razones de carga en losas y puntales (E_c constante)

En la Fig. 3.1 se muestran los resultados del análisis de carga para el caso de rigidez de losa constante y tres niveles de puntales. Las cargas tomadas por losas y puntales se expresan como factores de carga por los cuales se debe multiplicar el peso de la losa más el moldaje, que se supone pesa alrededor del 10% de la losa que soporta. Hasta el momento en que se remueve el nivel de puntales en contacto con el suelo, todas las cargas se transmiten hacia la fundación a través del sistema de apuntalamiento en la forma que se muestra en la condición a los 21 días. Luego de ello, la fuerza de los puntales recién retirados (3.0) se reparte en partes iguales entre las losas de los niveles 1, 2 y 3 a los 26 días, es decir, 5 días después del hormigonado de la losa superior. Al hormigonar la losa del nivel 4, como se muestra en la condición a los 28 días, la carga de ésta (1.0), se distribuye entre las losas de los niveles 1, 2 y 3. A los 33 días la carga de los puntales retirados desde el nivel 1 (0.33) se distribuye de igual forma entre las losas de los niveles 2, 3 y 4 y, en lo sucesivo, se repite el procedimiento.

Del análisis se desprende que la carga máxima se produce en la losa del nivel 3, es decir, la última hormigonada antes de retirar los puntales en contacto con el suelo y se registra en el momento en que esta era la losa más baja en el sistema conectado por puntales. La razón de carga máxima absoluta producida en esta losa fue de 2.36 y se produjo a una edad de losa de 21 días en la condición a los 42 días desde el inicio.

Si se aumenta el número de niveles apuntalados, aumenta la razón de carga máxima, pero ésta se produce a una edad de losa mayor, por lo que las losas soportan esta carga a una edad en que su resistencia también es mayor. Por ejemplo, con cuatro niveles de puntales, la razón de carga máxima es de 2.43 en una losa de 28 días de edad. En caso de usar 2 niveles de puntales, la razón de carga máxima es de 2.25 a los 14 días. En los tres diferentes casos de niveles de puntales, sin embargo, la razón de carga en la losa más baja del sistema converge hacia arriba a un valor de 2.00

En el modelo más realista, que considera rigidez variable dependiendo de la edad de losa, se supone que el porcentaje de acero afecta sólo ligeramente la rigidez a la flexión de una losa no agrietada, por lo que esta rigidez puede considerarse directamente proporcional al módulo de elasticidad del hormigón E_c , el cual se asume que se desarrolla en forma más rápida que la resistencia a la compresión del hormigón f_c . Los desarrollos

de E_c y f_c supuestos, en términos de sus valores a los 28 días, se muestran en la Fig. 3.2. De este modo, las cargas se distribuyen entre las losas del sistema en proporción a sus rigideces relativas, que a su vez son proporcionales a E_c . Para el proceso de construcción típico (3 niveles de puntales), los factores de distribución de carga usados en la operación A, en que las losas tienen 0, 7, 14 y 21 días de edad son 0, 0.31, 0.34 y 0.35 y en la operación B, con losas de 5, 12 y 19 días, son 0.293, 0.343 y 0.364. En el caso de rigidez constante todos los factores eran de 0.333.

Figura 3.2: Desarrollos de f_c y E_c

En la Fig. 3.3 se muestran los resultados de este cálculo. Se aprecia claramente que la variación en los resultados de las razones de carga es mínima y que, al igual que antes, la losa que recibe la razón de carga máxima absoluta es la última con carga directa al suelo y convergen los valores de las razones de carga para el nivel más bajo. La Fig. 3.4 registra las historias de carga de la losa más pesadamente cargada y de la solución promedio para 2, 3 y 4 niveles de puntales, y en todos los casos la razón de carga máxima se encuentra entre 2 y 2.5.

Al comparar las cargas de construcción con las cargas de servicio, Grundy y Kabaila indican que las cargas de construcción serán críticas para el diseño de una losa si la razón carga viva / carga muerta de servicio es pequeña, es decir, si el peso propio de la losa es una fracción alta de la carga total que la losa debe soportar en servicio. Por este motivo se cuestionan qué consideraciones deben hacerse en el diseño para las cargas de construcción, si éstas exceden las cargas que la estructura deberá soportar en servicio, y establecen los requerimientos principales que debe satisfacer una estructura con adecuado margen de seguridad y deformaciones permanentes, dentro de rangos aceptables.

Figura 3.3: Razones de carga en losas y puntales (Ec variable)

Tabla 3.1: Comparación de cargas de construcción y servicio

Cargas de construcción (Kg/m2)			Cargas de servicio (Kg/m2)	
Item	Piso típico	Máximo al Nivel 3	Item	Carga de Diseño
Losa de 25 cm	586	586	Losa de 25 cm	586
Moldaje	49	49	Terminaciones	74
Subtotal	635	635	Tabiquería	74
Razón de carga	2.06	2.35	Carga viva	244

Total	1308	1492	Total después de 28 ds	978
--------------	-------------	-------------	-------------------------------	------------

Para ilustrar lo anterior se muestra en la Tabla 3.1 una comparación de las cargas de construcción y de servicio para una losa de 25 cm de espesor en un edificio de oficinas de placa plana en el cual se ocupan 3 niveles de puntales. Se observa que las cargas de construcción son más críticas que las de servicio. Sin embargo, si se hubiese utilizado una losa de sólo 15 cm de espesor, esto no habría ocurrido.

En relación con las deformaciones producidas durante la construcción, se señala que éstas debiesen ser menores si se mantienen más pisos apuntalados. La fluencia lenta se considera como una de los factores que más afectan estas deformaciones, aunque con un comportamiento incierto a edades tempranas del hormigón.

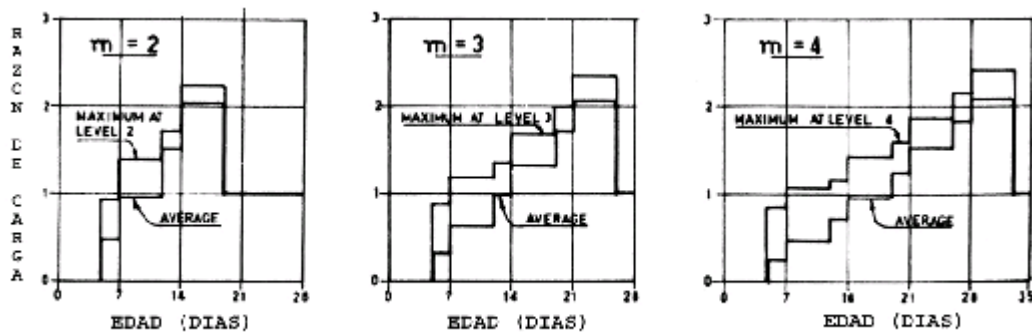


Figura 3.4: Historia de carga de la losa más cargada

Si, al contrario que en este caso, las fundaciones se considerasen flexibles, las cargas máximas recibidas por las losas podrían ser menores, debido a la colaboración de las fundaciones en la toma de cargas.

En cuanto a la carga máxima, transmitida por un nivel de puntales, se encontró que ésta se incrementa al aumentar el número de niveles de puntales, llegando a 1.92 veces el peso propio de la losa más el peso del moldaje, para el modelo con 4 niveles de puntales.

Para efectos de diseño, se considera como factores críticos a las resistencias al

corte y la adherencia, más que a la resistencia a la flexión, ya que las fallas por corte o adherencia podrían ocurrir antes que ocurriera una redistribución de carga por flexión.

Un tema importante, respecto a este método, es el que dice relación con la rigidez del sistema de apuntalamiento. Una de las suposiciones fundamentales de este análisis es que los puntales son infinitamente rígidos, en comparación con las losas en desplazamiento vertical, lo cual puede ser justificable en el caso de puntales de acero, pero como en los sistemas de apuntalamiento corrientes también existen vigas que van colocadas entre los moldajes y los puntales, esta condición depende además de la rigidez de estos elementos, que puede variar en caso de usarse otro material. En caso de usarse puntales de madera, lo que no ocurre en Chile, esta suposición es definitivamente cuestionable, lo cual lo reconocen sus autores. Además, al igual que en el estudio de Nielsen, se considera que los efectos de la retracción y de la fluencia lenta del hormigón pueden despreciarse.

Una deficiencia notable del estudio de Grundy y Kabaila es el hecho de que no se consideró la presencia de una carga viva de construcción.

Pese a lo anterior, este método ha sido utilizado en muchos estudios posteriores, ya sea como base o como punto de comparación, incluso en los estudios más recientes.

3.2.2 EL MÉTODO REFINADO DE LIU Y OTROS

En el año 1985, Liu, Chen y Bowman (1985) desarrollaron un método refinado computacional de análisis de cargas de construcción capaz de tratar en una forma más realista la interacción que se produce entre las losas y los puntales con el fin de cuantificar el error en que se incurre al usar el método simplificado para predecir las cargas máximas en losas y puntales.

Las cargas obtenidas usando el método simplificado se comparan con cargas medidas en terreno e informadas en reportes existentes hasta ese momento y con aquellas provenientes del análisis refinado.

La técnica del análisis refinado se desarrolla mediante un programa computacional de análisis estructural para respuesta estática y dinámica de sistemas lineales. La mayor innovación del método es que considera la rigidez real de los puntales y la variación en el tiempo de la rigidez de las losas, debido a la madurez del hormigón.

El análisis refinado inicialmente se basó en un modelo bidimensional. Sin embargo, para verificar su exactitud y determinar la influencia de diversos parámetros en la distribución de cargas, se desarrolló también un modelo tridimensional (1985). El peso propio de las losas es la única condición de carga considerada en ambos análisis.

3.2.2.1 MODELO BIDIMENSIONAL

El modelo de análisis refinado bidimensional se apoya en las siguientes suposiciones:

- Las losas se comportan elásticamente y sus rigideces son tiempo-dependientes;
- Los puntales y repuntales se comportan como soportes elásticos uniformes continuos y sus rigideces axiales son finitas e independientes del tiempo;
- La fundación es rígida;
- Las uniones entre puntales y losas son rotuladas; y
- Los bordes de losa son empotrados o simplemente apoyados.

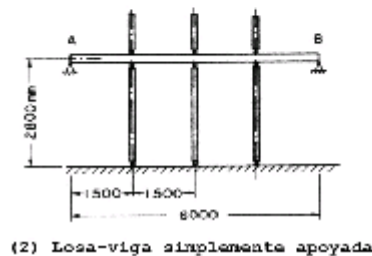
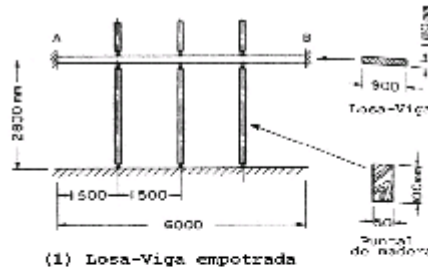


Figura 3.5: Esquema del modelo de cálculo bidimensional

La Figura 3.5 muestra una representación esquemática del modelo utilizado en el cálculo bidimensional. Se supone la existencia de una sección viga – losa rectangular de 180 mm x 900 mm a lo largo de cada línea de columnas. Los puntales se asumen de madera con una sección de 50 x 100 mm. Ver los desarrollos de f_c y E_c en la Fig. 3.6.

Figura 3.6: Desarrollos de f_c y E_c

Se consideran 2 niveles de puntales y un nivel de repuntales. Avance: 1 piso por semana.

En las Tablas 3.2 y 3.3 se comparan las razones de carga en losas y puntales por los métodos simplificado y refinado bidimensional, para bordes empotrados y apoyados. Se dan las razones de carga máxima, mínima y promedio, predichas por el método. La diferencia entre ambos, respecto a las cargas axiales de puntal, se explica porque, en el método simplificado, todos los puntales toman igual carga y, en el refinado, la carga de cada puntal depende de la deflexión relativa entre los pisos que se produce en cada unión losa – puntal. Ambos métodos difieren menos en la Tabla 3.3, debido a que la rigidez a la flexión de las losas con bordes apoyados es menor que con bordes empotrados.

Tabla 3.2: Comparación método simplificado y método refinado (bordes empotrados)

Pa so de Co nst ruc ció n	N iv el d e pi s o	Carga losa / Peso losa		Carga puntal / Peso losa	

		Método simplificado (1)	Método refinado			Comparación		Método simplificado (5)	Método refinado			Comparación	
			Max. (2)	Min. (3)	Pro. (4)	(1)/(2)	(1)/(4)		Max. (6)	Min. (7)	Pro. (8)	(5)/(6)	(5)/(8)
1	1							1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1*	1.00	0.37	0.28	0.34	2.70	2.94	2.00	1.83	1.49	1.60	1.09	1.25
	2							1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3,4	1	1.00	1.41	1.33	1.38	0.71	0.72						
	2	1.00	0.67	0.59	0.62	1.48	1.62	0.00	0.54	0.22	0.43	-	-
5	1	1.00	1.60	1.54	1.58	0.62	0.63	1.00	0.44	0.24	0.31	2.27	3.23
	2	1.00	1.09	1.08	1.08	0.92	0.93	1.00	0.94	0.90	0.93	1.06	1.07
	3							1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	1	1.33	1.78	1.75	1.77	0.75	0.75						
	2	1.34	1.19	1.16	1.17	1.12	1.14	0.33	0.84	0.70	0.79	0.39	0.42
	3	0.33	0.06	0.05	0.06	5.39	5.96	0.67	0.93	0.96	0.95	0.72	0.71
7,8	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00						
	2	1.50	1.67	1.63	1.66	0.90	0.91						
	3	0.50	0.37	0.33	0.36	1.34	1.40	0.50	0.73	0.57	0.68	0.68	0.73
9	1	1.34	1.21	1.18	1.19	1.11	1.12						
	2	1.83	1.95	1.94	1.95	0.94	0.94	0.34	0.25	0.14	0.17	1.38	1.95
	3	0.83	0.87	0.85	0.86	0.96	0.96	1.17	1.18	1.10	1.13	0.99	1.04
	4							1.00	1.00	1.00	1.00	1.09	1.00
10	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00						
	2**	1.95	2.06	2.05	2.06	0.95	0.95						
	3	0.94	0.92	0.91	0.91	1.02	1.03	0.95	1.07	1.04	1.05	0.89	0.90
	4	0.11	0.03	0.03	0.03	3.20	3.54	0.89	0.98	0.96	0.97	0.91	0.92

Tabla 3.3: Comparación método simplificado y método refinado (bordes apoyados)

Paso de Construcción	Nivel de piso	Carga losa / Peso losa			Carga puntal / Peso losa							
		Método Simplificado (1)	Método Refinado (2)	Comparación (1)/(2)	Método Simplificado (5)	Método refinado			comparación			
						Max. (6)	Min. (7)	Pro. (8)	(5)/(6)	(5)/(8)		
1	1				1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1*	0.00	0.07	-	2.00	2.07	1.79	1.88	0.97	1.06		
	2				1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.4	1	1.00	1.12	0.89								
	2	1.00	0.88	1.13	0.00	0.25	-0.01	0.16	-	-		
5	1	1.00	1.20	0.83	1.00	0.90	0.64	0.73	1.11	1.38		
	2	1.00	1.03	0.97	1.00	0.98	0.97	0.98	1.02	1.03		
	3				1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
6	1	1.33	1.52	0.87								
	2	1.34	1.27	1.05	0.33	0.60	1.44	0.55	0.55	0.60		
	3	0.33	0.20	1.62	0.67	0.83	0.76	0.81	0.81	0.83		
7.8	1	1.00	1.00	1.00								
	2	1.50	1.55	0.97								
	3	0.50	0.45	1.11	0.50	0.61	0.49	0.57	0.82	0.88		
9	1	1.34	1.31	1.02								
	2	1.83	1.88	0.97	0.34	0.37	0.27	0.30	0.92	1.13		
	3	0.83	0.80	1.04	1.17	1.23	1.17	1.19	0.95	0.98		
	4				1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
10	1	1.00	1.00	1.00								
	2**	1.95	2.02	1.03								
	3	0.94	0.90	1.04	0.95	1.02	1.01	1.02	0.93	0.94		

	4	0.11	0.08	1.30	0.89	0.93	0.90	0.92	0.96	0.97
En ambas tablas: * Paso y nivel de la carga máxima en puntal					** Paso y nivel de la carga máxima de losa					

Las razones de carga máximas para losas y puntales determinadas por los métodos simplificado y refinado se muestran en la Tabla 3.4. El método refinado predijo cargas máximas de puntal menores que las calculadas por el método simplificado para bordes de losa empotrados, observándose una diferencia máxima de 9%. Para losas simplemente apoyadas, sin embargo, el método refinado predijo cargas máximas de puntal aproximadamente 4% mayores que el método simplificado. En cuanto a las razones de carga máximas en losas, las obtenidas por el método refinado superan por alrededor de 5% a las predichas por el método simplificado para ambas condiciones de borde. Esto se debe a la diferencia en la rigidez de puntales considerada en ambos casos.

Tabla 3.4: Comparación de razones de carga máximas

	Losa			Puntal		
	Método Simplificado (1)	Método Refinado (2)	(1)-(2) (1) %	Método Simplificado (3)	Método Refinado (4)	(3)-(4) (3) %
	Bordes empotrados	1.95D	2.06D	-6	2.0D	1.83D
Bordes apoyados	1.95D	2.02D	-4	2.0D	2.07D	-4

Según los autores del método refinado, basados en los resultados de sus análisis y en mediciones en terreno, aumentando entre un 5% y un 10% las cargas en losas y puntales obtenidas por el método simplificado, su método da valores más realistas y confiables. Predice con exactitud el paso de construcción y la ubicación donde las cargas máximas ocurren, pero, generalmente, subestima las magnitudes de las razones de carga reales, por lo que recomiendan usar, para propósitos de diseño, un coeficiente de modificación que varíe entre 1.05 y 1.10.

3.2.2.2 MODELO TRIDIMENSIONAL

Las suposiciones simplificadoras consideradas en este análisis son las siguientes:

- Las losas se comportan elásticamente y sus rigideces dependen del tiempo;
- Los bordes de losa son libres o rotacionalmente empotrados, pero libres de deflectarse (llamados empotrados);
- Se desprecia la deflexión vertical de las losas en las uniones losa-columna;
- Los detalles estructurales y el peso de cada piso son similares;
- Los puntales y repuntales se comportan como soportes elásticos ideales continuos

con igual rigidez axial;

- Las uniones entre puntales y losas son rotuladas y la fundación es rígida.

En el procedimiento de construcción se asumieron dos niveles de puntales más un nivel de repuntales, con una velocidad de avance de un piso por semana. Los puntales y repuntales se consideran distribuidos uniformemente bajo las losas en todos los pisos conectados por el sistema de apuntalamiento. Los desarrollos de E_c y f'_c supuestos son los mismos considerados en el análisis bidimensional. En este modelo se consideraron cuatro diferentes condiciones de borde. Un caso con todos los bordes empotrados, un caso con todos los bordes libres y dos casos en que los bordes opuestos están empotrados o libres. En la Fig. 3.7 se muestra el modelo estructural utilizado para el análisis. Según los autores, la verificación de cargas solamente debe realizarse hasta el paso 10 (retiro de repuntales desde debajo del nivel 2) con el fin de alcanzar las cargas máximas que soportan los puntales y las losas.

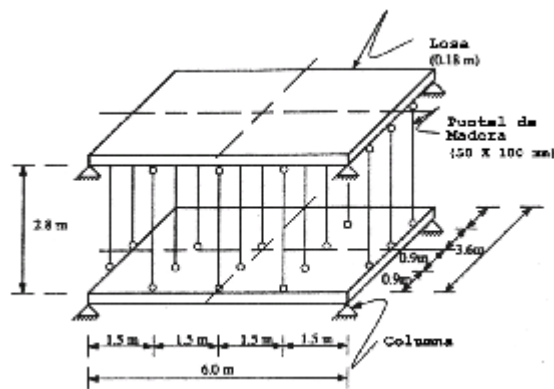


Figura 3.7: Modelo estructural idealizado del método refinado 3-D³

La Tabla 3.5 resume y compara los resultados calculados los métodos bidimensional y tridimensional para bordes de losa empotrados (Se dan las razones de carga, obtenidas dividiendo las cargas aplicadas por el peso propio de la losa). En la Tabla se ve que ambos métodos predicen igual ubicación y paso de construcción en los cuales

		Mx (3)			(6)							(13)	(14)
			Mx (4)	My (5)		Max (7)	Min (8)	Pro (9)	Max (10)	Min (11)	Pro (12)		
1	1					1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1	0.07	0.06	0.13	1.17	2.07*	1.79	1.88	2.07*	1.39	1.77	1.00	1.06
	2					*	1.00	1.00	*	1.00	1.00	1.00	1.00
3.4	1	1.12	1.10	1.18	1.02	1.00			1.00				
	2	0.88	0.90	0.82	0.98		-0.01	0.16		-0.02	0.28	0.39	0.57
5	1	1.20	1.18	1.28	1.02	0.25	0.64	0.73	0.64	0.18	0.60	0.97	1.22
	2	1.03	1.02	1.03	1.01	0.90	0.97	0.98	0.93	0.95	0.97	0.99	1.01
	3					0.98	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
6	1	1.52	1.50	2.57	1.01	1.00			1.00				
	2	1.27	1.28	1.25	0.99		0.44	0.55		0.42	0.63	0.68	0.87
	3	0.20	0.22	0.18	0.91	0.60	0.76	0.81	0.88	0.75	0.64	0.86	0.96
7.8	1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83			0.97				
	2	1.55	1.54	1.57	1.01								
	3	0.45	0.45	0.43	1.00		0.49	0.57		0.49	0.61	0.79	0.93
9	1	1.32	1.33	1.29	0.99	0.61			0.77				
	2	1.88	1.87	1.89	1.01		0.27	0.30		0.10	0.25	0.97	1.20
	3	0.80	0.79	0.82	1.01	0.37	1.17	1.19	0.38	1.07	1.16	0.99	1.03
	4					1.23	1.00	1.00	1.24	1.00	1.00	1.00	1.00
10	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			1.00				
	2	2.02*	2.01*	2.02	1.00								
	3	*	*	0.91	1.00		1.01	1.02		1.00	1.02	0.98	1.00
	4	0.90	0.90	0.07	0.89	1.02	0.90	0.92	1.04	0.90	0.93	0.95	0.99
		0.88	0.99			0.93			0.98				

** Valores máximos

3.2.3 EL METODO DEL MARCO EQUIVALENTE

Stivaros y Halvorsen estudiaron en el año 1990 las operaciones de apuntalamiento y reapuntalamiento en edificios en altura de hormigón armado. Para realizar su investigación, propusieron el método del marco equivalente (en adelante MME) como un procedimiento razonable que permite determinar la distribución de cargas de construcción y la influencia que tienen diversos parámetros en ella. Según ellos, el MME resulta ser una proposición efectiva y segura para el cálculo de dichas cargas y puede ser implementado con facilidad en los sitios de construcción. El MME se desarrolló para analizar sistemas de losas y luego se aplicó en análisis de carga lateral para sistemas de losas. Una ventaja de este método es que, al compararlo con programas de elementos finitos, da resultados comparables, con menor esfuerzo computacional, ya que se reduce mucho el número de ecuaciones a resolver.

Otra ventaja de este método es que puede valorar correctamente los efectos de corte desarrollados en la construcción de edificios de varios vanos, tomando en cuenta la continuidad de las losas y la flexibilidad de las columnas. Este punto es de especial

importancia para los autores, que en 1991 aplicaron el MME a una estructura real que sufrió un colapso debido a una falla por corte por punzonamiento en las conexiones losa–columna durante su construcción, y compararon los resultados de su análisis con los entregados por el método simplificado y con resultados provenientes de un análisis con elementos finitos, que había sido realizado anteriormente con el fin de determinar las causas del colapso. Se desarrollo un programa computacional basado en un modelo estructural bidimensional, según los requerimientos del MME en el código ACI 318.

Una gran parte de los métodos para analizar cargas de construcción desarrollados hasta ese momento utilizaba idealizaciones de un solo vano, lo que limita la evaluación apropiada de las fuerzas de corte, que según Stivaros y Halvorsen (1991) constituyen el efecto de carga crítica en la mayoría de los sistemas de losa plana. El MME permite calcular momentos y cortes por cargas de gravedad en losas soportadas por columnas o muros que conforman marcos ortogonales, tomando en cuenta la continuidad estructural y la naturaleza monolítica de las estructuras de hormigón, así como la interacción de las losas de piso y el sistema de apuntalamiento.

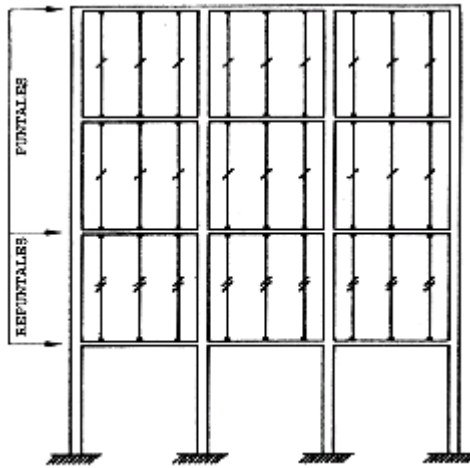


Figura 3.8: idealización del MME

En la Figura 3.8 se muestra en forma esquemática una idealización del modelo estructural bidimensional utilizado. Las consideraciones aplicadas en este análisis son:

- Los puntales y repuntales se reemplazan por un número igual de soportes elásticos, con una rigidez equivalente a la rigidez total de los puntales correspondientes;
- Se supone que los repuntales no toman carga al momento de su instalación, por lo que las losas se deforman libremente antes de la colocación de estos;
- El peso del hormigón recién vertido se aplica a los puntales de la losa superior en forma de cargas concentradas;
- Los puntales comparten las cargas de acuerdo a sus áreas colaborantes;
- Las conexiones entre puntales o repuntales y losas de piso se suponen rotuladas; y
- Se supone que los puntales o repuntales se apoyan en una fundación rígida al nivel del suelo.

Los coeficientes de rigidez de los miembros del marco se determinan aplicando los conceptos del MME. Para evaluar las fuerzas en los diferentes miembros del marco, incluyendo las cargas axiales en los puntales, se analiza el marco bidimensional elásticamente usando procedimientos de rigidez convencionales.

En la Fig. 3.9 se muestra la planta característica utilizada en el ejemplo. Se idealizan los puntales y repuntales como series de elementos verticales tipo cercha con una rigidez equivalente a la rigidez de los puntales o repuntales de cada fila.

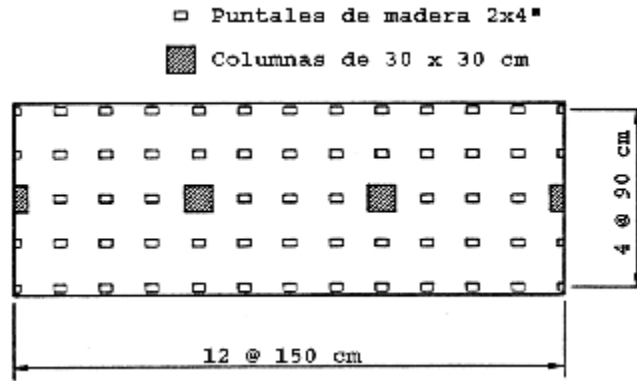


Figura 3.9: Planta característica del ejemplo usado en el modelo MME

Se supone la utilización de dos niveles de puntales y un nivel de repuntales, con una velocidad de avance de un piso por semana. La única carga considerada en este análisis es el peso propio de las losas. Las cargas en las losas se normalizan a su peso propio y las cargas en los puntales, al peso de la losa soportada por ellos. Las operaciones de construcción se denotan con una serie de dos números. El primero representa el nivel del piso que se está edificando. El segundo, señala la fase de construcción, en que 1 representa el vertido del piso más alto, 2 tiene que ver con el retiro del nivel más bajo de repuntales, y 3 denota la remoción del nivel inferior de puntales. Así, las cargas máximas de losas y puntales durante la remoción del nivel más bajo de repuntales, luego del vertido del 3er piso, están asociadas a la operación 3-2.

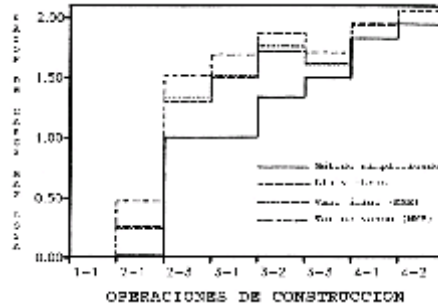


Figura 3.10: Comparación de cargas según diversos métodos

En la Fig. 3.10 se grafica una comparación entre las razones de carga máximas obtenidas por el MME, tanto en un modelo de vano único como en un modelo de varios vanos, y aquellas determinadas por medio del método simplificado y el método refinado, con respecto a las operaciones secuenciales de construcción explicadas anteriormente. Los valores del MME de vano único corresponden a un vano interior. En el gráfico se observa que todos los modelos predicen igual ubicación y paso de construcción en donde las cargas máximas ocurren (operación 4-2). Al comparar el MME con el método simplificado se observa que la carga máxima en el paso crítico no difiere en más de un 5%, lo cual aumenta en otras etapas de la construcción. Una observación importante con respecto a lo mostrado en la Fig. 3.10 es que, luego de la remoción de los repuntales en contacto con el suelo, todos los métodos tienden a converger. Las diferencias registradas entre ambos métodos se atribuyen principalmente a la suposición básica del método simplificado, de rigidez infinita de puntales. Sin embargo, los resultados anteriores se obtuvieron para un programa de construcción específico de dos niveles de puntales más un nivel de repuntales.

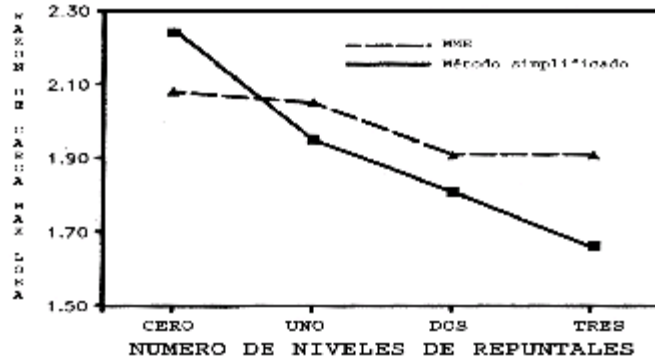


Figura 3.11: Variación de la carga máxima en función del número de niveles de puntales según el MME y el método simplificado

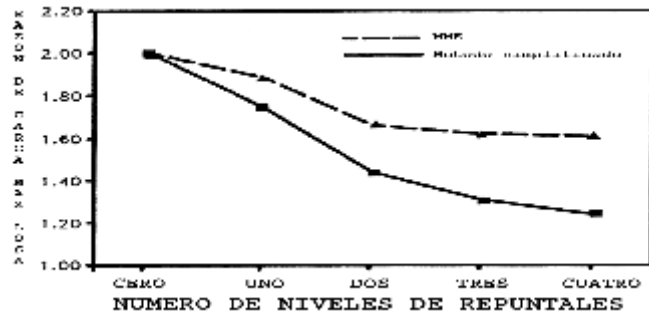


Figura 3.12: Variación de la carga máxima en función del número de niveles de puntales según el MME y el método simplificado

En las figuras 3.11 y 3.12 se grafica la variación de las razones de carga máximas para ambos métodos en función del número de niveles apuntalados y reapuntalados. Se ve que para la combinación de dos niveles de apuntalamiento más un nivel de reapuntalamiento, la diferencia es de alrededor de 5%. Las divergencias aumentan a medida que se aumenta el número de niveles reapuntalados, llegando a diferencias de hasta un 30% para el caso de un nivel de puntales más cuatro niveles de repuntales. Por este

motivo, Stivaros y Halvorsen (1990) señalan que el coeficiente de corrección de entre 5 y 10% sugerido por Liu y otros no es adecuado para todos los programas de apuntalamiento.

Una representación gráfica de la variación de la razón de carga máxima con respecto al número de niveles de repuntales (considerando un nivel puntales) se muestra en la Fig. 3.13, tanto para modelos de varios vanos, como para modelos de vano único. Se ve que ambos métodos divergen, a medida que aumenta el número de niveles reapuntados, con una diferencia de 14% en el caso de tres niveles de repuntales.

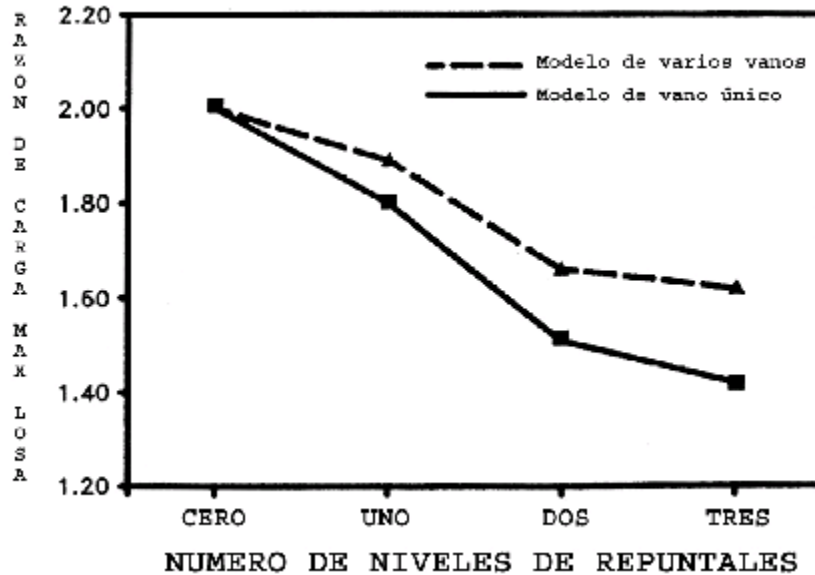


Figura 3.13: Comparación entre modelos de vano único y varios vanos con un nivel de puntales

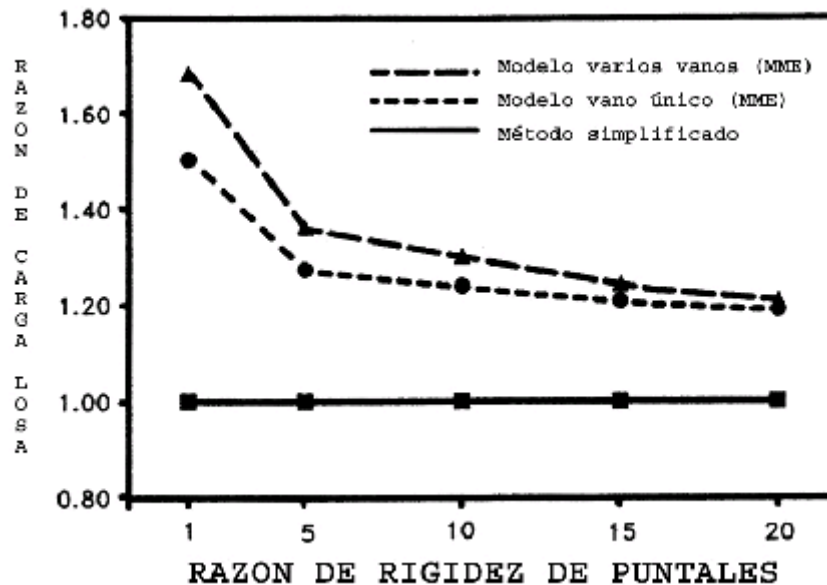


Figura 3.14: Variación de la carga máxima con respecto a la rigidez del sistema de apuntalamiento

La Fig. 3.14 muestra la variación en la carga máxima registrada en la losa del primer piso, durante el hormigonado del tercer piso, con respecto a la rigidez del sistema de apuntalamiento para los modelos de vano único y de varios vanos. La rigidez del sistema de apuntalamiento varía en cinco incrementos desde el valor real hasta 20 veces este valor. De la figura se ve que las razones de carga predichas por el modelo de varios vanos son mayores que aquellas que predice el modelo de vano único, aunque ambos modelos tienden a converger al aumentar la rigidez del sistema de apuntalamiento. Lo anterior es sumamente importante, ya que avala la suposición simplificadora que permite realizar los cálculos de distribución de cargas considerando modelos de vano único para el

caso de puntales rígidos.

De los gráficos expuestos se desprende que las razones de carga máximas obtenidas por Stivaros y Halvorsen utilizando el MME se encuentran, como en los demás métodos examinados anteriormente, entre 2 y 2.5.

3.2.4 EL ANÁLISIS DE FANG Y OTROS

En el año 2001, Fang y otros desarrollaron nuevos modelos estructurales y un método analítico para determinar distribuciones de carga de construcción para tipos de estructuras de losa y viga, placa plana y muros de corte con losas planas. . Los resultados se comparan con los obtenidos de los métodos existentes y con los resultados de una investigación en terreno realizada por los mismos autores (2001). Además, se estudia la influencia de diversos factores en la distribución de cargas.

La mayor innovación de este método es que considera la redistribución de cargas que se produce durante el curado del hormigón, la cual disminuye la acumulación de cargas. Se introduce la definición del concepto de estructura tiempo-dependiente como la combinación de una estructura de hormigón armado, que está ganando resistencia, y un sistema de apuntalamiento. Estas estructuras se caracterizan por cambiar su configuración, resistencia y el módulo de elasticidad de los miembros de hormigón durante la construcción, lo cual las diferencia de estructuras en servicio.

Los autores proponen este método como respuesta a la necesidad de establecer modelos estructurales avanzados que se basen en un entendimiento profundo de las estructuras tiempo-dependientes. Además, cuestionan la exactitud de los métodos desarrollados anteriormente, ya que ellos no consideran todos los factores principales involucrados en la distribución de carga y no entregan resultados razonables para todo tipo de escenarios y programas de construcción.

El análisis realizado se limita a carga estática y comportamiento lineal elástico de material. El modelo de estructuras tiempo-dependientes considera que, durante el curado del hormigón, las estructuras cambian poco en configuración pero mucho en rigidez y resistencia, produciéndose una redistribución de cargas a medida que los elementos recién hormigonados van ganando resistencia. Los fenómenos que producen esta redistribución son la ganancia de resistencia, la fluencia lenta y la retracción del hormigón, y el cambio en

las condiciones ambientales como la temperatura.

Las suposiciones en que se basan los nuevos modelos estructurales son:

- La estructura tiempo-dependiente se considera bidimensional con un sistema de apuntalamiento, y las uniones entre puntales o repuntales y losas son rotuladas;
- El módulo de elasticidad y la resistencia del hormigón son funciones del tiempo, de modo que la rigidez de las losas y otros miembros, es dependiente del tiempo;
- La fundación es rígida comparada con la rigidez a la flexión de las losas.
- Se toman en consideración los efectos de la colocación del hormigón, el retiro de puntales y repuntales y la acumulación de cargas y desplazamientos;
- Una losa recién hormigonada evoluciona desde no soportar carga, hasta tomar parte de su peso propio. Este proceso lleva a una redistribución del peso propio de esta losa proporcionalmente a su rigidez y la de la estructura temporal bajo ella.

El coeficiente de distribución de carga se obtiene mediante un procedimiento que considera las características geométricas y de material de losas y puntales, dimensiones y distribución de ellos, las condiciones de borde de las losas y la naturaleza de las cargas.

En el análisis se desarrollan modelos bidimensionales para tres tipos de estructuras, un modelo de pisos de placa plana, un modelo de pisos de losa y viga y un modelo de muros de corte y pisos de losa plana. La rigidez del sistema de apuntalamiento puede obtenerse de mediciones o calcularse considerando las propiedades geométricas y de material de los puntales y las viguetas de madera del sistema de apuntalamiento.

Tabla 3.7: Comparación de cargas máximas según Fang y otros con cargas medidas en terreno y calculadas con el método simplificado

Paso de construcción	Nivel	Razones de carga medidas en losas	Método simplificado	Nuevo de Fang y otros	Comparación		
					2 / 1	3 / 1	
		1	2	3			
1. Hormigonado losa segundo piso	2	0.248	N	0.118			
	1		N				0.549
	0		N				
2. Día después de hormigonar	2	0.420	N	0.205			
	1		N				0.505
	0		N				
3. Remoción primer nivel de puntales	2	0.540	1.000	0.513	-31.5	+1.8	
	1	1.460	1.000	1.487			
	0		N				
4. Hormigonado losa tercer piso	3	0.217	0.000	0.118	-15.6	+5.3	
	2	1.006	1.500	1.006			
	1	1.777	1.500	1.877			
5. Día después de	3	0.303	N	0.270			

hormigonar	2	0.949	N	0.920		
	1	1.748	N	1.810		+3.5
6. Remoción segundo nivel de puntales	3	0.544	0.250	0.521	+20.2	+1.6
	2	1.456	1.750	1.479		
	1		1.000	1.000		
7. Hormigonado losa cuarto piso	4	0.186	0.000	0.118	+27.2	+6.0
	3	1.045	0.750	1.007		
	2	1.769	0.225	1.876		
8. Día después de hormigonar	4	0.342	N	0.266		
	3	0.897	N	0.925		
	2	1.761	N	1.809		
9. Remoción tercer nivel de puntales	4	0.419	0.624	0.481	-13.0	-3.9
	3	1.581	1.375	1.519		
	2		1.000	1.000		

N = Paso no considerado

Fang y otros desarrollaron un programa computacional (TDSA-2), que simula los procedimientos de construcción de las estructuras de los tres modelos, basados en las suposiciones antes mencionadas. En la tabla 3.7 se comparan los resultados de este método (valores representan razones de carga) con los resultados del método simplificado y los resultados de las mediciones en terreno realizadas por los mismos autores en un edificio en construcción. En la construcción de este edificio se dispusieron dos niveles de puntales sin repuntales y una velocidad de avance de 1 piso cada 15 días.

Los resultados del método simplificado difieren ampliamente de los resultados de las mediciones en terreno, con un error promedio en la carga de losa máxima de 21.5% y un máximo de 27.2%. En este método, el error no supera el 6%, considerando sólo las cargas de losa o las de losas y vigas. La razón de carga máxima se aproxima a 2.

4. CAPACIDAD RESISTENTE DE LAS LOSAS DURANTE LA CONSTRUCCION.

La capacidad resistente de las losas depende principalmente de las características de la estructura, la velocidad de construcción y la velocidad de ganancia de resistencia del hormigón con la edad. Esta, a su vez, depende básicamente de la temperatura de construcción y el tipo de cemento usado.

Varios autores han abordado este tema. En la referencia 1 se resumen sus estudios.

4.1 ANÁLISIS DE SEGURIDAD

- Agarwal y Gardner (1974) entregaron recomendaciones de requisitos de niveles de puntales y repuntales para distintos tipos de cemento, velocidad de construcción y temperatura de curado y mezclado del hormigón. Según ellos, el aumento de

resistencia de las losas con la edad se supone, directamente proporcional a la resistencia cilíndrica. Los desarrollos de resistencia a la compresión del hormigón se obtienen de los datos entregados por Klieger, quien proporciona valores para distintas temperaturas de curado y diferentes tipos de cemento. Para planificar programas de apuntalamiento se supone:

- El peso y los detalles estructurales son iguales en todos los pisos;
- El peso de moldajes + puntales en cada nivel equivale al 10% del peso de la losa;
- Los puntales y repuntales están repartidos uniformemente en cada piso y son suficientes en todos los niveles.

Los autores postularon que, conociendo la temperatura de curado y la velocidad de construcción, la seguridad se obtiene determinando el número de niveles de puntales y repuntales necesarios para diversas razones de carga viva / carga muerta de diseño, y entregan los requerimientos que se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.1: Requerimientos de niveles de puntales y repuntales según Agarwal y Gardner

Carga viva / Carga muerta			0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
Capacidad de carga última teórica (N° x carga muerta)			2.25	2.67	3.10	3.52	3.95	4.37	4.80
Ciclo de construcción	T° °F °C	Tipo de cemento	Número requerido de niveles de: puntales + repuntales						
14 días	73	I	1 + 5	1 + 3 1 + 4	1 + 2 1 + 2	1 + 1 1 + 2 1 + 5	1 + 1 1 + 1 1 + 3	1 + 1 1 + 1 1 + 2	1 + 1 1 + 1 1 + 2
	22.8								
	55								
	12.8 40 4.4								
7 días	73	II			2 + 4 2 + 5	2 + 2 2 + 3	2 + 1 2 + 1	2 + 0 2 + 1	2 + 0 2 + 0 2 + 4
	22.8								
	55								
	12.8 40 4.4								
3 días	73	III					3 + 2	3 + 1 3 + 4	3 + 1 3 + 2
	22.8								
	55								
	12.8 40 4.4								
14 días	73	I	1 + 5	1 + 3 1 + 5 1 + 5	1 + 2 1 + 3 1 + 3	1 + 1 1 + 2 1 + 2	1 + 1 1 + 1 1 + 1	1 + 1 1 + 1 1 + 1	1 + 1 1 + 1 1 + 1
	22.8								
	55								
	12.8 40 4.4								
7 días	73	II			2 + 4	2 + 2 2 + 4	2 + 1 2 + 2	2 + 0 2 + 1	2 + 0 2 + 1
	22.8								

	55 12.8 40 4.4					2 + 4	2 + 2	2 + 1	2 + 1
3 días	73 22.8 55 12.8 40 4.4	III				3 + 5	3 + 2 3 + 5 3 + 5	3 + 1 3 + 3 3 + 3	3 + 1 3 + 1 3 + 1

En 1985, Gardner planteó una nueva forma de calcular la capacidad resistente disponible de las losas a edades tempranas. Utilizando la ecuación de la carga última, determinó la capacidad de carga última de diseño para varias razones de carga viva a carga muerta. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 4.3. En este análisis, Gardner indica que la resistencia disponible en una losa de hormigón armado depende de cuál propiedad del hormigón, es decir, flexión, tracción, corte o adherencia, limita la resistencia de la losa. Mas tarde, Gardner y Poon concluyeron que las resistencias de tracción y adherencia del hormigón se desarrollan aproximadamente en proporción a la potencia 0.8 de la ganancia de la resistencia cilíndrica ($f_{\text{tracción (adherencia)}} \propto f_c^{0.8}$). Como el corte está gobernado por la tracción, se supone que la ganancia de resistencia al corte es también proporcional a la potencia 0.8 de la resistencia cilíndrica.

Tabla 4.2: Capacidades de carga última según Gardner

Carga viva / Carga muerta	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	2.00
Capacidad de carga última de diseño	2.25	2.67	3.10	3.53	3.95	4.80

Gardner enfatiza la inexistencia de especificaciones para los factores de mayoración de cargas de construcción y sugiere un factor de 1.4 para carga muerta. Para la carga última de construcción sugiere una ecuación. Ver referencia 1.

De acuerdo a Gardner, el concepto básico de seguridad implica asumir el posible procedimiento de construcción, el número de niveles de puntales y repuntales y la velocidad de avance del hormigonado, y determinar la carga que reciben las losas en los momentos críticos. Luego se deben comparar las cargas mayoradas con las resistencias de losa disponibles para determinar si el procedimiento de construcción elegido es viable.

4.2.1 CARGAS VIVAS DE CONSTRUCCIÓN. FACTORES DE MAYORACION

Un aspecto clave para asegurar la seguridad estructural en la construcción de edificios en altura es la estimación racional de las cargas actuantes en la estructura. La carga muerta de construcción, que incluye el peso de las losas y el sistema de apuntalamiento, siempre puede calcularse con una exactitud aceptable. Pero, la estimación de la carga viva de construcción, compuesta por trabajadores, equipamiento e impacto por el vertido del hormigón, es un proceso más dificultoso. El código ACI 347 sugiere una carga viva de construcción de 244.1 Kg/m^2 (50 psf) para el diseño de moldajes y puntales. El código OSHA recomienda, al menos, 97.7 Kg/m^2 (20 psf). Un estudio de Fattal en el NIST, sugirió una carga viva de entre 195.3 Kg/m^2 (40 psf) y 244.11 Kg/m^2 (50 psf). Esta carga se aplica generalmente en el piso que se está hormigonando y se supone que dura hasta el final del día del hormigonado.

5. ESTUDIO DE UN EDIFICIO REAL CHILENO. CARGAS DE CONSTRUCCION Y ANALISIS DE SEGURIDAD.

5.1 Introducción

Con el objeto de aplicar los conceptos tratados en los capítulos anteriores a la realidad del país, se realizó un análisis estructural del apuntalamiento de un edificio real construido en Chile para determinar la distribución de las cargas generadas durante su construcción. Además se efectúa un análisis de seguridad de la estructura durante su edificación, aplicando conceptos de madurez del hormigón.

2 Análisis de un edificio típico.

Se buscó un edificio, ya

construido, que tuviera una planta típica de edificio de uso habitacional. La losa a modelar (losa 24), con sus dimensiones, armaduras y condiciones de borde supuestas, se muestra en la Fig. 5.1. Se la seleccionó, atendiendo a que ella es la losa cruzada de mayores dimensiones de la planta típica del edificio, por lo que los momentos aplicados en ella, producto de las cargas actuantes, son los de mayor magnitud. Sus dimensiones (5.45 x 5.55 m) se pueden asociar a las dimensiones corrientes de losas de hormigón armado utilizadas actualmente en la construcción de edificios de uso habitacional en el país. La altura entre pisos del edificio a analizar es de 2.5 m. Los puntales están separados 1.09 m en la dirección x y 1.11 m en la dirección y .

Figura. 5.1 Losa típica estudiada.

5.3 Cargas de construcción

Las cargas que se aplican en el análisis se dividen en cargas muertas y cargas vivas de construcción. Las cargas muertas se componen del peso propio de la losa y el peso del moldaje más el apuntalamiento, que como se señaló en la sección 3, puede considerarse con un peso igual al 10% del peso propio de la losa en cada nivel. La determinación de las cargas vivas de construcción es bastante más compleja y existen grandes variaciones en cuanto a los requerimientos establecidos por las distintas normas acerca de ellas. En todo

caso, las normativas existentes recomiendan valores entre 97.7 Kg/m^2 (20 psf) y 244.1 Kg/m^2 (50 psf), por lo que el análisis se realiza para estos dos valores límite. Las cargas vivas de construcción se aplican en la losa superior el día de su hormigonado y se supone que se retiran al final de ese mismo día. Por lo tanto, las cargas a aplicar son las siguientes:

$$\text{Peso propio losa 12 cm espesor} = 288 \text{ (Kg/m}^2\text{)}$$

$$\text{Peso de moldaje y apuntalamiento} = 28.8 \text{ (Kg/m}^2\text{)}$$

$$\text{Carga viva de construcción} = 244.1 \text{ (Kg/m}^2\text{)} \text{ (a) } \text{ó} \text{ } 97.7 \text{ (Kg/m}^2\text{)}$$

(b)

4 Programas de apuntalamiento y reapuntalamiento

Como se mencionó, la práctica habitual en Chile es el uso de 3 niveles de puntales sin repuntales. Como entre los objetivos del presente trabajo está el introducir el concepto de reapuntalamiento que, se sabe, disminuye las cargas máximas que soportan las losas durante la construcción, el análisis se efectúa considerando ambos procedimientos.

Los programas de apuntalamiento y reapuntalamiento a analizar son:

- 3 niveles de puntales con velocidades de avance de un piso cada 7, 6 y 5 días considerando hormigón curado a una temperatura de 25°C ;
- 3 niveles de puntales con velocidades de avance de un piso cada 7 y 6 días considerando hormigón curado a una temperatura de 15°C ;
- 2 niveles de puntales más 1 nivel de repuntales con velocidades de avance de un piso cada 5, 4 y 3 días considerando hormigón curado a 25°C ; y
- 2 niveles de puntales más 1 nivel de repuntales con velocidades de avance de un piso cada 5 y 4 días considerando hormigón curado a 15°C .

En todos los casos anteriores, se supone que el retiro del nivel más bajo de puntales y/o repuntales se realiza un día antes del hormigonado de la losa superior. Los puntales y repuntales considerados son tubulares de acero de D exterior = 60 mm.

Para realizar el análisis estructural por medio del SAP 2000 se necesita conocer los valores del módulo de elasticidad del hormigón (E_c) a las diferentes edades de losa para

las dos temperaturas consideradas. Ellos se dan en la Tabla 5.1..

TABLA 5.1: VALORES DE R_c , R_{cil} Y E_c

EDAD (días)	T = 25°C			T = 15°C		
	R_c (Kg/cm ²)	R_{cil} (Kg/cm ²)	E_c (Kg/cm ²)	R_c (Kg/cm ²)	R_{cil} (Kg/cm ²)	E_c (Kg/cm ²)
2	129.03	103.22	1.624 x 10 ⁵	*	*	*
3	166.03	132.82	1.843 x 10 ⁵	134.29	107.43	1.657 x 10 ⁵
4	191.48	153.18	1.979 x 10 ⁵	161.49	129.19	1.817 x 10 ⁵
5	210.05	168.04	2.072 x 10 ⁵	182.46	145.96	1.932 x 10 ⁵
6	224.20	179.36	2.141 x 10 ⁵	199.12	159.29	2.018 x 10 ⁵
7	235.34	188.27	2.194 x 10 ⁵	212.67	170.14	2.085 x 10 ⁵
8	244.34	195.47	2.235 x 10 ⁵	223.92	179.14	2.140 x 10 ⁵
9	251.76	201.41	2.269 x 10 ⁵	233.40	186.72	2.185 x 10 ⁵
10	257.98	206.39	2.297 x 10 ⁵	241.50	193.20	2.222 x 10 ⁵
11	263.28	210.62	2.320 x 10 ⁵	248.50	198.80	2.254 x 10 ⁵
12	267.84	214.27	2.340 x 10 ⁵	254.61	203.69	2.282 x 10 ⁵
13	271.80	217.44	2.358 x 10 ⁵	259.99	207.99	2.306 x 10 ⁵
14	275.29	220.23	2.373 x 10 ⁵	264.76	211.81	2.327 x 10 ⁵
15	278.37	222.70	2.386 x 10 ⁵	*	*	*
17	283.59	226.87	2.408 x 10 ⁵	276.32	221.06	2.377 x 10 ⁵
18	285.81	228.65	2.418 x 10 ⁵	279.46	223.57	2.391 x 10 ⁵
20	289.66	231.73	2.434 x 10 ⁵	284.95	227.96	2.414 x 10 ⁵
21	291.34	233.07	2.441 x 10 ⁵	287.37	229.89	2.424 x 10 ⁵
28	300	240	2.477 x 10 ⁵	300	240	2.477 x 10 ⁵

* no son necesarios

5.5 Resultados

El análisis se efectúa para dos procedimientos de apuntalamiento, uno con tres niveles de puntales sin niveles de repuntales y el otro con dos niveles de puntales más un

nivel de repuntales. Los resultados corresponden a los momentos máximos aplicados en la losa analizada tanto en los bordes como en los tramos, en ambas direcciones. Los momentos en la dirección x en el borde, corresponden al borde izquierdo de la losa, que se encuentra empotrado. Los momentos en la dirección y en el borde, corresponden a ambos bordes de la losa, ya que ésta se encuentra empotrada en ambos extremos.

Para el caso de tres niveles de puntales, el análisis se efectúa hasta el día del hormigonado de la losa del nivel 6, cuando la losa más baja del sistema es la losa del nivel 3, ya que, de acuerdo a Grundy y Kabaila, las cargas máximas a diversas edades de losa se registran precisamente en la última losa que ha estado conectada por puntales hasta el nivel del suelo. Para el caso de dos niveles de puntales más un nivel de repuntales sucede algo similar. Según Grundy y Kabaila y Liu y otros, las cargas máximas de losa a las distintas edades en que ésta se somete a la acción de nuevas cargas o la remoción de puntales/repuntales se registran en la losa del nivel 2, que es la última losa que ha tenido trayectoria de carga directa al suelo por medio de puntales. En las Fig. 5.2 y 5.3 se muestran secuencialmente los pasos de construcción considerados en el análisis. En general, luego de los pasos de construcción mencionados anteriormente, todos los métodos de análisis tienden a converger, como señalan algunos autores.

En la Referencia 1 se tabulan los valores de los momentos máximos registrados para los dos procedimientos de construcción ya descritos y las velocidades de construcción

señaladas. Los resultados entregados en esas tablas corresponden a razones de momento, obtenidas al dividir los momentos aplicados por los momentos calculados por otros métodos. Para el hormigonado de las losas se considera en (a) una carga viva de 244.1 Kg/m² (50 psf) y en (b) una carga viva de 97.7 Kg/m² (20 psf).

Figura 5.2: Secuencia de pasos de construcción analizados (3 niveles de puntales)

Figura

5.3: Secuencia de pasos de construcción (2 niveles de puntales +1 de repuntales)

Se encontro que los momentos máximos se registran en las losas del nivel 3 a todas las edades de análisis al considerar 3 niveles de puntales. Por ello, se selecciona este nivel para comparar los momentos máximos para las distintas velocidades de avance.

.TABLA 5.2: COMPARACIÓN DE RAZONES DE MOMENTO MÁXIMAS EN LA LOSA DEL NIVEL 3 (3 NIVELES DE PUNTALES)

T (°C)	CICLO (días)	PASO DE CONSTRUCCIÓN									
		1	2a	2b	3	4a	4b	5	6a	6b	
25	Mx Tramo	7	0.96	1.77	1.55	1.59	2.43	2.21	2.48	3.34	3.12

		6	0.95	1.74	1.53	1.57	2.41	2.19	2.46	3.32	3.10
		5	0.93	1.70	1.50	1.55	2.41	2.18	2.47	3.36	3.13
	Mx Borde	7	0.98	1.66	1.48	1.46	2.05	1.90	2.10	2.63	2.50
		6	0.96	1.64	1.47	1.45	2.04	1.88	2.10	2.63	2.49
		5	0.93	1.58	1.41	1.41	2.01	1.85	2.08	2.63	2.49
	My Tramo	7	0.96	1.67	1.48	1.52	2.32	2.11	2.37	3.18	2.96
		6	0.95	1.64	1.46	1.50	2.31	2.10	2.36	3.17	2.96
		5	0.93	1.60	1.42	1.48	2.29	2.08	2.36	3.19	2.97
	My Borde	7	0.98	1.64	1.47	1.46	2.04	1.89	2.09	2.63	2.49
		6	0.96	1.63	1.45	1.42	2.01	1.86	2.07	2.61	2.47
		5	0.95	1.59	1.42	1.42	2.02	1.86	2.09	2.65	2.50
15	Mx Tramo	7	0.93	1.72	1.51	1.56	2.41	2.19	2.47	3.35	3.12
		6	0.93	1.70	1.50	1.55	2.40	2.18	2.47	3.36	3.13
	Mx Borde	7	0.95	1.62	1.44	1.44	2.02	1.87	2.09	2.63	2.49
		6	0.94	1.60	1.42	1.43	2.02	1.86	2.09	2.64	2.50
	My Tramo	7	0.94	1.62	1.44	1.49	2.30	2.09	2.36	3.19	2.97
		6	0.92	1.59	1.41	1.48	2.29	2.08	2.36	3.19	2.97
	My Borde	7	0.95	1.60	1.43	1.43	2.02	1.87	2.09	2.63	2.49
		6	0.94	1.58	1.41	1.42	2.01	1.85	2.08	2.64	2.49

Los mayores momentos se encuentran en la dirección x en el tramo, con un máximo de 3.36 veces el momento que produce el peso propio de la losa. En cuanto a los momentos en los bordes, se ve que los máximos en ambas direcciones son prácticamente iguales, con un máximo de 2.65 veces el momento que produce el peso propio de la losa en la dirección y . Estos máximos ocurren al aplicar una carga viva de 244.1 (Kg/m²),

Para los procedimientos con dos niveles de puntales más uno de repuntales, se encontró que los mayores momentos se encuentran en la losa del nivel 2, es decir, la última apuntalada (no reapuntalada) hasta el nivel del suelo. La Tabla 5.5 muestra una comparación entre las razones de momento máximas en esa losa. Se tiene que la variación de los momentos máximos, producto del aumento de la velocidad de construcción es mínima, al igual que al usar 3 niveles de puntales sin repuntales.

TABLA 5.3: COMPARACIÓN DE RAZONES DE MOMENTO MÁXIMAS EN

LA LOSA DEL NIVEL 2 (2 NIVELES DE PUNTALES MÁS 1 DE REPUNTALES)

T (°C)		CICLO (días)	PASO DE CONSTRUCCIÓN						
			1	2a	2b	4	5a	5b	6
25	Mx Tramo	5	0.96	1.45	1.32	1.98	2.83	2.61	2.64
		4	0.94	1.42	1.29	1.98	2.84	2.61	2.65
		3	0.90	1.38	1.25	1.99	2.84	2.62	2.66
	Mx Borde	5	0.97	1.27	1.20	1.62	2.21	2.05	2.08
		4	0.95	1.25	1.17	1.62	2.21	2.06	2.08
		3	0.92	1.20	1.13	1.61	2.21	2.05	2.08
15	My Tramo	5	0.96	1.38	1.27	1.90	2.71	2.49	2.53
		4	0.94	1.36	1.25	1.90	2.71	2.50	2.53
		3	0.90	1.31	1.21	1.91	2.72	2.50	2.55
	My Borde	5	0.97	1.25	1.17	1.61	2.20	2.05	2.07
		4	0.95	1.22	1.15	1.61	2.20	2.04	2.07
		3	0.92	1.17	1.11	1.60	2.20	2.04	2.07
15	Mx Tramo	5	0.93	1.41	1.29	1.98	2.84	2.61	2.65
		4	0.91	1.38	1.26	1.98	2.84	2.61	2.66
		5	0.95	1.24	1.16	1.62	2.21	2.06	2.08
	My Tramo	4	0.93	1.20	1.13	1.61	2.21	2.06	2.09
		5	0.93	1.35	1.24	1.90	2.71	2.50	2.53
		4	0.91	1.32	1.21	1.90	2.71	2.50	2.54
My Borde	5	0.95	1.21	1.14	1.61	2.20	2.05	2.07	
	4	0.93	1.18	1.11	1.60	2.20	2.04	2.07	

Los mayores momentos se encuentran en la dirección x en el tramo, con un máximo de 2.84 veces el momento que produce el peso propio de la losa. En tanto, los momentos máximos en los bordes se registran en la dirección x , con un máximo de 2.21 veces el momento que produce el peso propio de la losa.

En los procedimientos que consideran 3 niveles de puntales, los momentos máximos absolutos se producen en la losa del nivel 3 al hormigonar la losa del nivel 6 (paso 6). En procedimientos con dos niveles de puntales más un nivel de repuntales, se registran en la losa del nivel 2 durante el hormigonado de la losa del nivel 4 (paso 5).

Al comparar los momentos máximos absolutos para ambos procedimientos de apuntalamiento, se aprecia que los momentos máximos aplicados a las losas disminuyen

entre 15 y 17% al reapuntalar, aunque estos momentos máximos se aplican a losas de menor edad, que han desarrollado menor resistencia al momento de soportarlos.

6 Análisis de seguridad

Se realizó un análisis de seguridad, basado en el ACI 318. Su desarrollo completo se incluye en la Referencia 1. Este concluyó que, en el caso de tres niveles de puntales, la losa del Nivel 3 queda sometida a momentos superiores a los nominales de diseño para cualquier sobrecarga y velocidad de avance, lo cual torna inviable este sistema en este caso. Sin embargo, en el edificio existente, probablemente se lo usó, según la práctica habitual chilena. El colapso podría haber estado cerca de producirse y se sospecha que pudieron haber quedado deformaciones residuales.

En el caso de dos niveles de puntales y uno de repuntales, en ningún caso, los momentos aplicados a la losa del Nivel 2 sobrepasan su capacidad de diseño para las condiciones de servicio, manteniéndose prácticamente constantes. Esto permite estimar que, a 25°C, se podría usar un ciclo de 10 días para la carga viva (a) y de 7 días para la (b). A temperatura de 15°C, la obra podría avanzar a razón de un piso cada 11 y 8 días para cargas (a) y (b).

6. CONCLUSIONES

En visitas a obras, se constató que los apuntalamientos de las losas en Chile, en general, los planifican los profesionales a cargo de las obras. Los calculistas no consideran en el diseño las cargas de construcción y, usualmente, delegan la responsabilidad de la planificación de estas faenas en los constructores, no existiendo una real interdependencia entre su diseño y construcción. Además, quienes planifican dichas faenas, usualmente proceden de acuerdo a su experiencia personal y a la costumbre, más que a análisis estructurales de distribución de las cargas generadas durante el período de edificación.

Mediante una completa revisión bibliográfica, con apoyo de un programa de análisis estructural, se mostró que la introducción y puesta en práctica del concepto de reapuntalamiento puede reducir considerablemente las cargas generadas en las losas durante la construcción, permitiendo aumentar su velocidad. Sin embargo, en las obras visitadas, los responsables de la construcción se manifestaron reacios a esta práctica ya que, a priori, estimaban que ella podría incrementar los riesgos de falla. Esta práctica es

ampliamente usada en países extranjeros, sin que se le haya atribuido, hasta el momento, accidentes ni colapsos en estructuras en construcción.

En el estudio de un edificio real, se detectó que las cargas de construcción pueden en algunos casos exceder la capacidad resistente de diseño de las losas. Para agravar aún más el asunto, estas cargas se aplican a losas jóvenes en momentos en que ellas no han adquirido completamente su capacidad de resistencia, con lo cual, al menos, podrían quedar con deformaciones residuales.

Hay problemas no resueltos que son preocupantes, como: a) la determinación de la magnitud de las cargas vivas de construcción, asunto en el cual existen grandes discrepancias en las normas extranjeras y entre los investigadores. b) la inexistencia de normativas claras respecto de importantes parámetros necesarios para llevar a cabo un análisis de seguridad estructural durante la construcción. Entre estos se incluyen, factores de mayoración de cargas para aplicar a las cargas de construcción y factores de reducción de resistencias nominales para determinar las capacidades resistentes máximas de las losas. En todo caso, éste no es un problema particular chileno, ya que los códigos y normas extranjeras presentan carencias similares. y c) que en Chile no existan normas y recomendaciones acerca de estos procesos.

En cumplimiento de uno de los objetivos de este estudio, en el edificio analizado, se aplicó el concepto de reapuntalamiento usado en otros países. El análisis demostró que la velocidad de construcción podría aumentar significativamente en tal caso.

REFERENCIA 1: Suarez, J. “Apuntalamiento, descimbre y desapuntalado de losas de pisos consecutivos en edificios en altura” Memoria de título,USACH 2001.Incluye 34 ref.