

Análisis de la Productividad en Obras de Edificación en Chile

Abril 2013

Análisis de la Productividad en Obras de Edificación en Chile

Abril 2013

Juan Carlos LEON F.

Gerente General

Francisco García M.

Jefe de Innovación y Desarrollo – Asesorías CALIBRE

Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT

Cámara Chilena de la Construcción, CChC

Marchant Pereira 221 Of.11, Providencia. Santiago de Chile. Fono (56 2) 2718 7500 - cdt@cdt.cl - www.cdt.cl

Los contenidos del presente documento consideran el estado actual del arte en la materia al momento de su publicación. CDT no escatima esfuerzos para procurar la calidad de la información presentada en sus documentos técnicos. Sin embargo, advierte que es el usuario quien debe velar porque el personal que va a utilizar la información y recomendaciones entregadas esté adecuadamente calificado en la operación y uso de las técnicas y buenas prácticas descritas en este documento, y que dicho personal sea supervisado por profesionales o técnicos especialmente competentes en estas operaciones o usos. El contenido e información de este documento puede modificarse o actualizarse sin previo aviso. CDT puede efectuar también mejoras y/o cambios en los productos y programas informativos descritos en cualquier momento y sin previo aviso, producto de nuevas técnicas o mayor eficiencia en aplicación de habilidades ya existentes. Sin perjuicio de lo anterior, toda persona que haga uso de este documento, de sus indicaciones, recomendaciones o instrucciones, es personalmente responsable del cumplimiento de todas las medidas de seguridad y prevención de riesgos necesarias frente a las leyes, ordenanzas e instrucciones que las entidades encargadas imparten para prevenir accidentes o enfermedades. Asimismo, el usuario de este documento será responsable del cumplimiento de toda la normativa técnica obligatoria que esté vigente, por sobre la interpretación que pueda derivar de la lectura de este documento.



I INTRODUCCIÓN

El escenario actual del sector construcción a nivel nacional está marcado por una intensa demanda de mano de obra desde el sector minería y el propio de edificación, lo que se ha traducido en la necesidad de optimizar el uso de este recurso y la necesidad de aprender a convivir con recursos humanos menos capacitados y especializados. Por ello, es necesario considerar este factor a la hora de hacer proyecciones de plazos y generar presupuestos de obra, ya que los rendimientos y los ritmos de avance que se obtenían en años anteriores no son acordes a esta nueva realidad y por ende no son buenos patrones a considerar. Si bien el efecto sobre los costos unitarios de la mano de obra es relativamente sencillo de incorporar en las proyecciones presupuestarias, en cambio es necesario contar con información veraz y realista de los niveles de actividad y rendimientos a la hora de establecer la relación de cantidad de trabajadores, ritmo de avance y plazo de ejecución de los proyectos.

En el contexto del subsector de edificación en altura, el efecto señalado está claramente marcado y la productividad y aprovechamiento de los recursos humanos cobra una relevancia en aumento, siendo necesario analizar los factores que afectan directamente al desempeño de estos proyectos.

Los factores que afectan la productividad en los proyectos específicamente de edificación en altura se pueden agrupar en tres categorías: diseño, asociada a la estructuración del edificio y estándar del mismo; Tecnología, referente a los equipos empleados para desarrollar los proyectos y la utilización de insumos industrializados; Metodología de trabajo, relativa al esquema de desarrollo de tareas, programación y conformación de cuadrillas. La productividad de un proyecto dependerá de la atención que se dé a estos factores, si bien se ha de considerar que la tipología de proyecto y los objetivos de la empresa, así como plazo, costo y calidad del proyecto, pueden hacer que se centre la atención con mayor fuerza en ciertos tipos de factores. De forma análoga, en función de la etapa del proyecto -diseño, planificación o construcción-, serán diversos los factores sobre los que se tendrá la posibilidad de actuar.

La productividad en construcción, visto como el retorno de la inversión, también merece especial atención, teniendo relación con la capacidad de acelerar el proceso de construcción y por ende la puesta en operación o “producción” de la edificación. Sin embargo, durante la construcción la posibilidad de optimización está ligada a la capacidad de evitar la generación de “lucro cesante”, entendiendo que éste se genera cuando la secuencia constructiva se pierde y por tanto se acumula avance de obra gruesa, o de terminaciones gruesas, sin que se desarrollen actividades tendientes a reducir ese stock. Por ello, podemos considerar que siempre que la obra gruesa ha terminado y no hacen ingreso las faenas de terminaciones, se produce un daño para el proyecto en términos financieros y se considera “lucro cesante”. En ese sentido el conocimiento de la velocidad de avance de los diversos procesos y partidas del proyecto es vital a la hora de determinar el ritmo óptimo de avance de cada una de ellas, para evitar los problemas de secuencia, así como las actividades donde se deben centrar los recursos por su factor de limitante del avance global del proyecto.

El “aprovechamiento del tiempo” es un factor clave para aumentar la productividad de los proyectos, determinando a nivel de proyecto, partida, e incluso cuadrilla, la distribución del tiempo en actividades productivas o que agregan valor al proyecto; las de soporte necesarias para el proyecto pero que no aportan valor en sí; y las que suponen pérdidas, dado que no aportan valor ni son necesarias para el desarrollo del mismo. En este sentido Asesorías CDT, en especial el Servicio CALIBRE de la Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, ha hecho extensas mediciones en diversos proyectos del sector, tanto edificación, obras civiles e industriales, faenas mineras, entre otros, contando con más de 300 mediciones y más de 850.000 Horas-Hombre y Horas-Máquina controladas.

Específicamente en el subsector de edificación en altura, se ha determinado que las principales causas de estas pérdidas están agrupadas en problemas de coordinación, supervisión y metodologías de trabajo eficientes. Sin embargo, estas pérdidas de tiempo en más de un 80% corresponden a causas o problemas evitables a través de medidas mayoritariamente de gestión.

Todas estas temáticas son tratadas en extenso en este documento, con orientación al subsector de edificación en altura, a través de casos reales e información empírica generada por Asesorías CDT, en especial el Servicio CALIBRE, culminando con un análisis detallado de los factores o aspectos que inciden en la productividad de los principales partidas de obra gruesa, hormigonado, moldaje y enfierradura, así como pautas para cuantificar los recursos de grúa para un proyecto, dado el papel crítico que tiene en los proyectos de edificación en altura, y su rol determinante en la programación y definición de fases de obra gruesa.

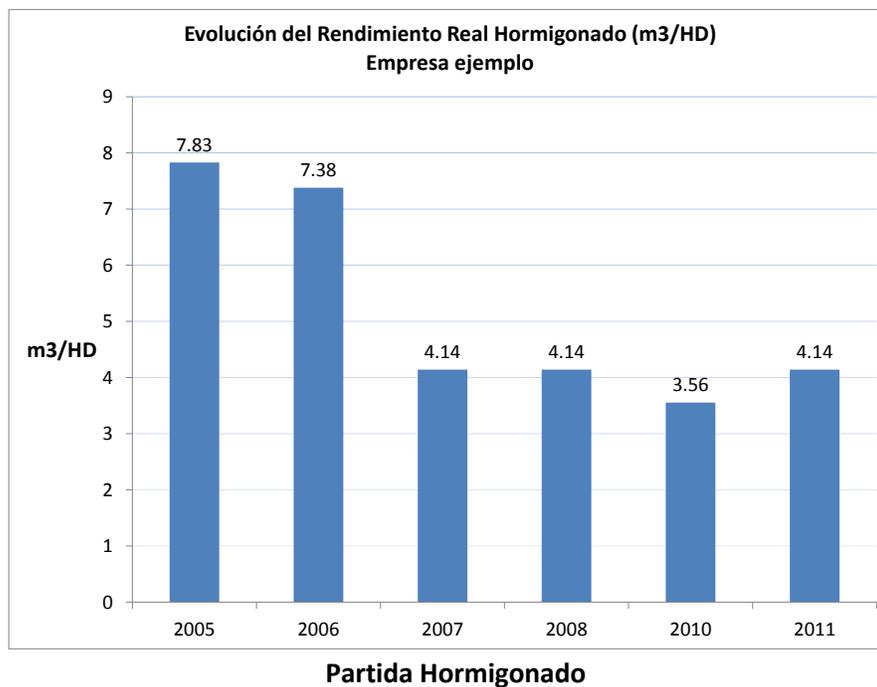
En síntesis, el desafío queda planteado y las opciones para mejorar la productividad están a nuestra disposición. Sólo depende de cada uno.

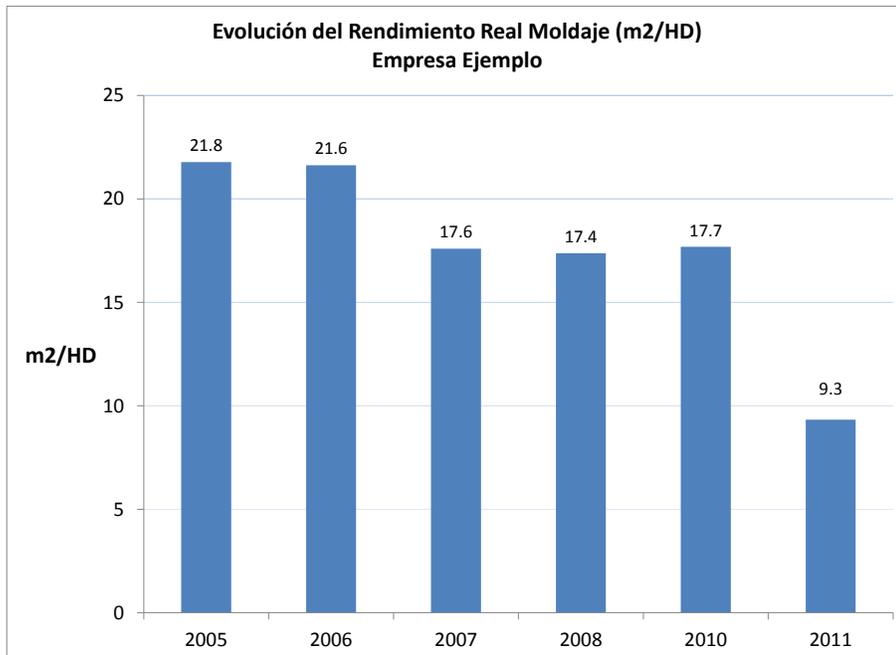
“Lo que NO se puede medir NO se puede controlar, y lo que no se puede controlar NO se puede mejorar”

II EFECTO EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA ESCASEZ DE MANO DE OBRA EN LA CONSTRUCCIÓN

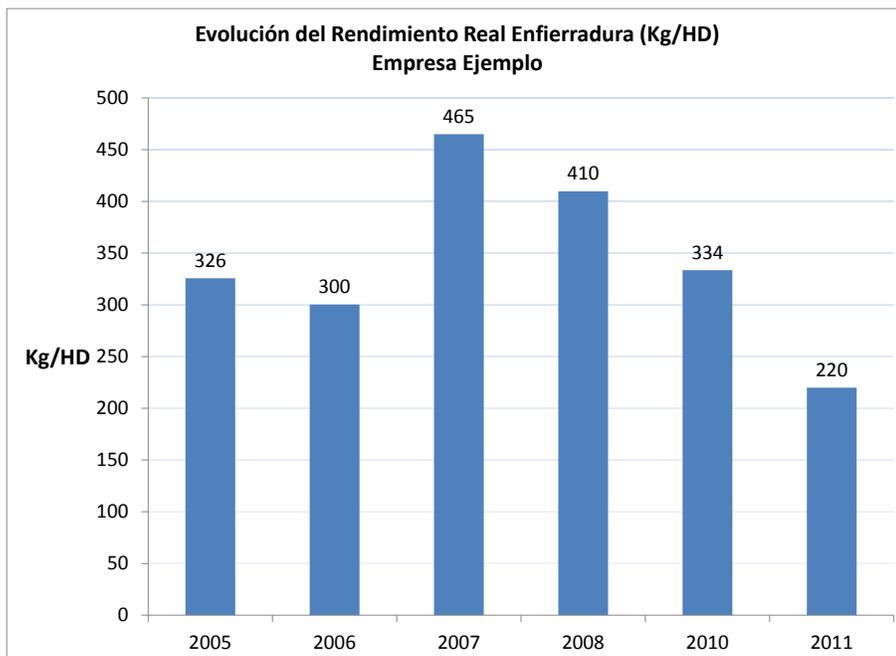
La alta demanda de mano de obra en el sector, producto de la gran actividad y número de proyectos en ejecución, que se ve acrecentada por el explosivo aumento de los requerimientos de mano de obra por el sector minero, ha generado un escenario donde los proyectos de edificación han tenido que reestructurar sus procesos y asumir ritmos de avance menores a los proyectados. A su vez, la situación de pleno empleo hace que la demanda de trabajadores para el sector sea “reemplazada” por trabajadores menos capacitados, con un efecto adicional en el desempeño y productividad de los proyectos.

A modo de ejemplo, tomaremos una empresa evaluada por Asesorías CDT, en especial el Servicio CALIBRE desde el 2005 hasta la fecha, con metodologías de trabajo contrastadas y procesos claramente definidos, la cual ha visto cómo sus rendimientos y ritmos de avance se han mermado de forma significativa.





Partida Moldaje

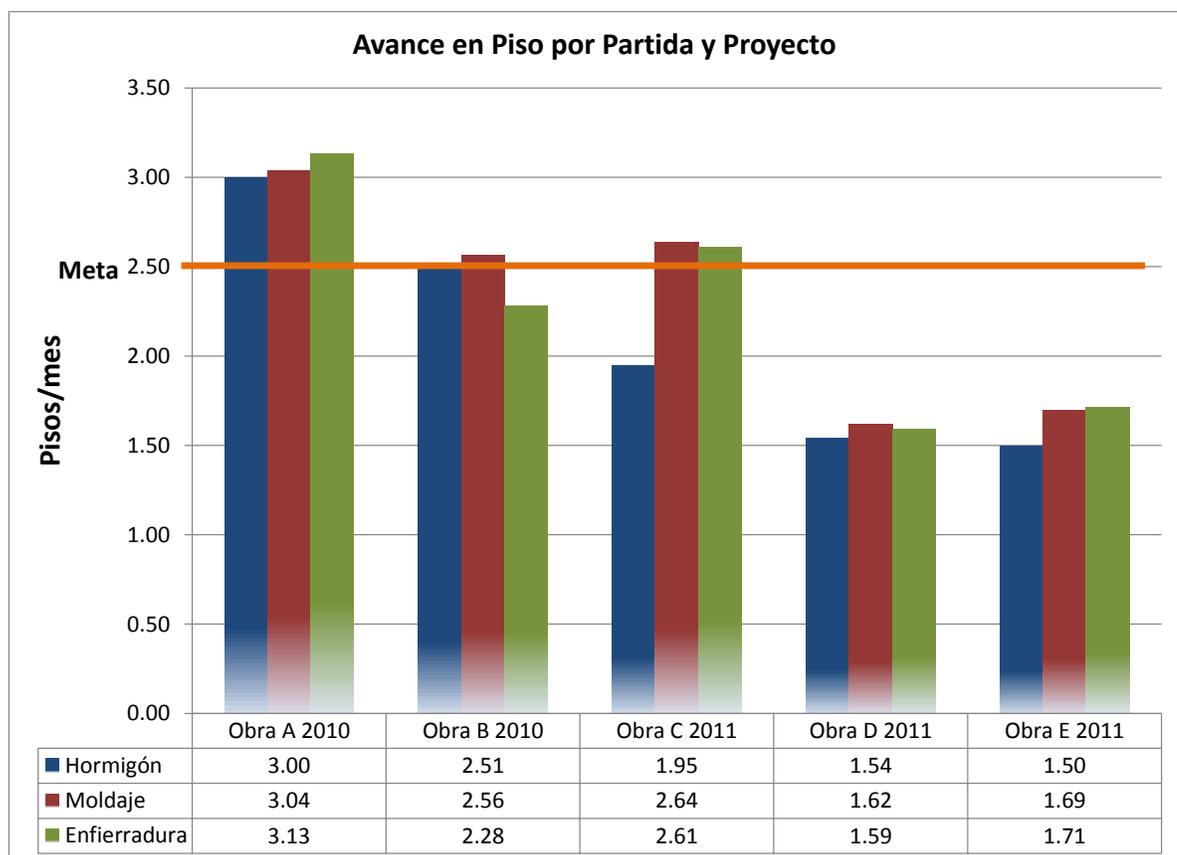


Partida Enfierradura

En los tres gráficos se aprecia que el rendimiento ha ido disminuyendo de forma progresiva, denotando una estabilización entre el 2007 y 2010, siendo el año 2011 el que muestra un fuerte descenso del rendimiento de las partidas de moldaje y enfierraduras, precisamente las que necesitan mayor cantidad de mano de obra especializada y donde las tecnologías con mejor rendimiento hace tiempo que han sido implementadas.

Cabe destacar que los rendimientos de los años 2007 a 2010 fueron referenciados por la empresa a la hora de fijar las metas de avance para los proyectos del 2010 y 2011, si bien se puede apreciar que fueron un buen predictor para el año 2010, en cambio no lo fueron para el 2011, donde la escasez de mano de obra unido a cambios normativos tras el terremoto del 2010, hicieron cada vez más difícil alcanzar las metas de avance.

En este ejemplo, se toma como referencia los avances registrados en cada una de las partidas de obra gruesa de 5 proyectos de edificación de altura y se establece una meta de avance en 2,5 pisos tipo, basado en una planta promedio de 1.000 m².



Este ejemplo da un llamado de alerta a la hora de proyectar y/o reevaluar las metas de avance de los proyectos de edificación en altura, en especial en este escenario de déficit de mano de obra, particularmente la calificada.

III ANÁLISIS GLOBAL DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCTIVIDAD Y SU GRADO DE INCIDENCIA

La productividad de un proyecto está ligada a diversos factores, cada uno con un grado de incidencia que se puede valorar al comparar con distintos proyectos y metodologías de trabajo disímiles.

Se pueden considerar 3 grandes grupos de factores

A) Factores de diseño:

- Grado de Simetría: a mayor simetría se logra un mayor desempeño global del proyecto, especialmente en labores de moldajes.
- Nivel de complejidad de elementos: Elementos muy complejos afectan negativamente el desempeño de las partidas, debido a la baja modularización, necesidad de aprendizaje y efectos sobre la metodología de trabajo.
- Cantidad de Muros: La cantidad de muros por m2 de planta es un indicador del estándar del producto y repercute en el desempeño; a menos cantidad de muros mayor desempeño en términos de avance en pisos construidos.
- Unidades por Piso: un mayor número de unidades o departamentos por piso genera un aprovechamiento mayor de las zonas comunes y es cómplice con la simetría del proyecto, por tanto se da muchas veces que a mayor número de unidades mayor desempeño.
- Estándar de Calidad del Producto: proyectos de alto estándar tienden a tener mayores niveles de detalle tanto en obra gruesa como en terminaciones y se asocian a mayor cantidad de muros y mayor dimensión de los mismos. Luego, afecta negativamente al rendimiento de moldajes, pero puede verse reflejado de forma indirecta en un mayor rendimiento de enfierradura y hormigón.

A modo de ejemplo se presenta un cuadro comparativo entre dos tipologías distintas de proyectos, con un puntaje de 1 (baja incidencia) a 4 (muy alta incidencia) respecto a su incidencia para un buen desempeño.

| | Diseño | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------|------|-----------------------------------|------|-------------------|------|------------------------|------|----------------------|------|---------------|
| | Grado de Simetría | Ptos | Nivel de complejidad de elementos | Ptos | Cantidad de muros | Ptos | Departamentos por piso | Ptos | Estándar de Producto | Ptos | Global Diseño |
| Empresa A | Muy Alto | 4 | Muy Bajo | 4 | Medio | 3 | más de 15 | 4 | Medio | 3 | 90% |
| Empresa B | Medio | 2 | Medio | 2 | Alto | 2 | 4 a 8 | 2 | Alto | 2 | 50% |

B) Tecnología:

- Cantidad de Grúas: Una mayor cantidad de grúas favorece sin duda las labores de moldajes. Lo anterior está relacionado al sistema de hormigonado que se utilice, y por ende, la disponibilidad de tiempo para faenas de moldajes. Dos grúas son necesarias para alcanzar niveles máximos de rendimiento de moldajes.
- Bombas de Hormigón: La disponibilidad de un sistema de bombeo de hormigón aumenta de manera considerable el rendimiento en la colocación de hormigón. Si bien el uso de un sistema de placing, así como de bomba y manga, permiten hormigonar muros y losas sin necesidad del uso de grúa, liberando por ende este recurso escaso. Por otra parte, en segundo orden se encuentra el uso de bomba para las losas y capacho para los muros, aunque podría tener un menor desempeño en hormigón y afectar la faena de moldaje.
- Tipo de Moldajes: para edificación habitacional en altura, a la fecha está ampliamente difundido y consolidado como práctica estándar el uso de moldaje industrializado pesado, que es el que mayor desempeño presenta en este tipo de proyectos.
- Tipología de Enfierradura:
 - i. C&D+I: Confección de enfierradura en fábrica e instalación por parte de la empresa que confeccionó la enfierradura. Se asume un óptimo desempeño dado el mayor nivel de especialización y máximo provecho de la modalidad de confección en fábrica.
 - ii. C&D+i: confección en fábrica e instalación en terreno por un tercero. Esta modalidad depende del nivel de conocimiento que tenga el instalador en el uso de armadura pre doblada y pre armada en fábrica; puede ser altamente productivo o muy ineficiente.
 - iii. c+d+i. corte, doblado e instalación en terreno, todo por la misma empresa. Esta modalidad exige mayor cantidad de trabajadores en terreno, lo que merma la productividad laboral, y mayor supervisión al tener dos frentes diferentes de trabajo a controlar. Si bien tiene un desempeño más estable, independientemente del grado de experiencia que tengan los trabajadores, esto se logra siempre y cuando la supervisión sea eficiente.

Usando la misma categorización que en el punto anterior, obtenemos:

| | Tecnología | | | | | | | | Global Tecnología |
|-----------|-------------------|------|----------------|------|------------------------|------|---------------------------|------|-------------------|
| | Cantidad de Grúas | Ptos | Bombas | Ptos | Tipo de moldajes | Ptos | Tipología de enfierradura | Ptos | |
| Empresa A | 2 | 4 | 1 estacionaria | 2 | industrializado pesado | 4 | c+d+i | 2 | 75% |
| Empresa B | 1 | 3 | 1 Placing | 4 | Industrializado pesado | 4 | C+D+I y C+D+i | 4 | 94% |

C) Metodología de Trabajo

- Fases Definidas: la división de la planta tipo en fases claras de muros y losas y el tamaño de las mismas, es un factor clave para el desempeño global del proyecto. Un alto nivel de foco y planificación orientada a las fases se traduce en un elevado rendimiento global del proyecto, en desmedro de un rendimiento potencialmente elevado de una partida de forma puntual, que en general no es sostenible en el tiempo.
- Cuadrillas Especializadas: la especialización de las cuadrillas viene ligada de un aumento del desempeño de las partidas que cuentan con ese recurso. Es importante que este ha de ser parejo en las distintas partidas, ya que el avance final del proyecto estará marcado por la partida que tenga menor avance o desempeño. La especialización no debe limitar la posibilidad de transferir recursos entre las partidas de ser necesario.
- Subcontratos de Obra Gruesa: la subcontratación de las labores de obra gruesa si bien supone una tendencia hacia la especialización de los trabajadores, no siempre redundan en mejores resultados. En la actualidad, las implicaciones de la ley de subcontratación y la necesidad de generar estrategias de fidelización, hace algunas veces que no sea recomendable subcontratar las labores que marquen el ritmo de la obra, como es el caso de la faena de moldaje. Por otra parte, partidas donde hay verdaderas empresa expertas, como es el caso de la enfierradura, destaca como la principal partida a subcontratar. Respecto de la actividad de hormigonado, el bajo nivel de especialización de la mano de obra de muchas de estas empresas PYME, hacen recomendable que se realice por la casa, bajo un esquema en el que se tenga claridad y supervisión de sus tareas propias.
- Rango de Mano de Obra: la obra debe tener una cantidad de trabajadores que asegure un avance acorde con las metas de la empresa, si bien un elevado número de trabajadores requiere necesariamente de correcta metodología de trabajo, un eficiente nivel de supervisión y de coordinación entre las partidas, los cuales en ocasiones resultan difíciles de llevar a cabo por los administradores de obras.
- Movilidad de Trabajadores: se deben buscar estrategias de fidelización de los trabajadores, ya que el efecto de aprendizaje y las inversiones en capacitación y/o prevención de riesgos tienen así un mayor retorno. En general se asocia mayor rendimiento a trabajadores que posee mayor permanencia en la empresa.
- Meta de Avance: este factor es gravitante en el desempeño de las diferentes partidas, así como en la metodología de trabajo. La determinación de una meta ambiciosa, pero alcanzable, y el diseño de un proyecto y metodología acorde, mejoran el desempeño, especialmente de las partidas que marcan el avance como es el caso de moldajes. Metas poco ambiciosas pueden incluso frenar el avance y afectar al rendimiento global de la obra

| | Metodología de Trabajo | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------------------------|------|---------------------------|------|-----------------------------|------|----------------------------|------|---------------------------|------|----------------|------|--------------------|
| | Fases definidas | Ptos | Cuadrillas especializadas | Ptos | Subcontratos de obra gruesa | Ptos | Rango de mano de Obra (OG) | Ptos | Movilidad de Trabajadores | Ptos | Meta de Avance | Ptos | Global Metodología |
| Empresa A | Medio | 2 | Alto | 3 | Ninguno | 3 | 42 | 3 | Media | 2 | 6 pisos/mes | 4 | 71% |
| Empresa B | Alto | 3 | Alto | 3 | Enfierradura | 4 | 38 | 3 | Baja | 3 | 3 pisos/mes | 2 | 75% |

La evaluación de estos factores, y otros adicionales, marcan el rendimiento del proyecto. Es difícil definir cuál tiene una mayor incidencia en el desempeño global del proyecto, ya que diversos factores potencian el rendimiento de una partida y otros se enfocan en el aumento de productividad de las restantes.

En general se puede señalar que:

- El rendimiento de moldajes depende fundamentalmente del diseño, de la disponibilidad de grúa y de la utilización de bombas para el hormigonado, a fin de liberar este recurso para moldajes. Sólo es posible alcanzar desempeños sobre el 80% si se conjugan ambos factores y está asociado al proyecto con metas de avance elevadas.
- El rendimiento de enfierradura depende principalmente de la tipología de enfierradura a utilizar, ya que se podrían lograr los avances requeridos por la planificación, con metodologías menos eficientes, a costa de un mayor número de trabajadores, lo que afecta fuertemente el rendimiento total de esta partida.
- El hormigonado, si bien es el principal indicador físico de avance, es una partida que normalmente tiene poca incidencia en el ritmo de la obra; es el fin de un ciclo. Obviamente, de no ejecutarse esta partida afectará significativamente el desempeño global, pero en la mayoría de los casos no se ha apreciado como un proceso crítico, ya que incluso en algunos casos se materializa fuera del horario oficial de la obra.

El rendimiento global se puede determinar de múltiples formas, en función de la relevancia que se le quiera dar a cada una de las partidas de obra gruesa. Si bien el cuadro refleja que el diseño del proyecto es un factor determinante, sobre todo para proyectos que buscan ritmos de avance elevados, la incorporación de nuevas tecnologías y soluciones constructivas son necesarias para lograr rendimientos competitivos, mientras que la metodología de trabajo es necesaria para asegurar un mejor aprovechamiento de los recursos. Para el caso, de ambas empresas en análisis, el desempeño global es superior al 70%, lo cual es perfectible, pero guarda relación con el efectivo cumplimiento de las metas de avance de ambas.

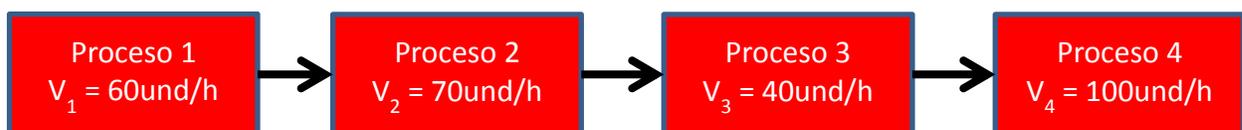
| | Factores | | | Rendimiento de Mano de Obra | | | | | | Rendimiento Global (60% Mol + 30% Enf + 10% Hor) |
|-----------|---------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|-------|----------------------------------|-------|--|-------|---|
| | Global Diseño | Global Tecnología | Global Metodología | Hormigón Colocación | | Moldaje (colocación y descimbre) | | Enfierradura (confección y colocación) | | |
| | | | | m3/HH | Bench | m2/HH | Bench | Kg/HH | Bench | |
| Empresa A | 90% | 75% | 71% | 1.3 | 65% | 2.8 | 98% | 22 | 16% | 70% |
| Empresa B | 50% | 94% | 75% | 1.25 | 62% | 1.96 | 80% | 37 | 78% | 79% |

IV SINCRONIZACIÓN DEL RITMO DE OBRA GRUESA Y TERMINACIONES PARA EVITAR “LUCRO CESANTE”

El desempeño de un proyecto habitacional está determinado por el aprovechamiento de los recursos, el cumplimiento de los plazos y el logro del retorno económico esperado. Más allá de los cada vez más estrechos plazos de construcción, se debe además atender a factores que atentan contra el objetivo de un máximo retorno en un mínimo de tiempo. Entre ellos, podemos destacar el “lucro cesante”, término de carácter jurídico que básicamente señala la compensación económica por el beneficio que se deja de percibir fruto de un hecho. En la construcción se puede hablar de lucro cesante, cuando la secuencia constructiva se pierde y por ende se acumula avance de obra gruesa, o de terminaciones gruesas, sin que se desarrollen actividades tendientes a reducir ese stock. Por ello, podemos considerar que siempre que la obra gruesa ha terminado y no hace ingreso las faenas de terminaciones, es un daño para el proyecto en términos financieros y se considera “lucro cesante”.

La generación de lucro cesante en los proyectos de edificación recae en la diferencia que existe entre la actividad económica de la construcción y la de un proceso industrial. En un proceso industrial, que sigue una cadena de montaje, un elemento no pasa al siguiente puesto de trabajo hasta que esté terminado, pues no existe la posibilidad de devolverse en la cadena de montaje a terminar ese elemento. En la construcción donde el recurso de mano de obra se mueve alrededor del producto y no al revés, esta regla se puede y suele romper. Ahí entonces surge el problema de lucro cesante y falso avance.

A modo de ejemplo la máxima cantidad de producto que se puede producir en un proceso en serie está definida por la actividad que tenga una menor capacidad de avance o un menor rendimiento en términos unitarios. Así en un proceso de cuatro etapas como el siguiente:



- La máxima capacidad de producción es de 40 und/h dada por el rendimiento del proceso 3.
- Entre el proceso 1 y el 2 se genera una capacidad ociosa de 10 und/h del proceso 2.
- Entre el proceso 2 y 3 se genera un stock de producción de 20 und/h
- El proceso 4 tiene una capacidad ociosa de 60 und/h

El proceso de construcción es similar; podemos considerar tres etapas principales dentro de un proyecto de edificación:



OG: Obra Gruesa TG: Terminaciones Gruesas TF: Terminaciones Finas

Cuando los ritmos de avance no son iguales en cualquiera de estas etapas se produce una merma en el resultado económico del proyecto.

Por ende, se debe detectar el proceso que tiene menor desempeño, ya que éste marcará la producción máxima del proyecto. El generar una elevada tasa de producción en obra gruesa perdería su sentido, o al menos se vería disminuido, si las labores de terminaciones no son capaces de alcanzar esa misma cuota de avance.

Velocidad de Obra Gruesa > Velocidad de Terminaciones Gruesas → aumento de stock de obra gruesa. El **stock de obra gruesa es lucro cesante**, pues se han invertido recursos humanos y materiales en desarrollar la obra gruesa, pero hay retraso en la continuidad del proceso hacia un producto terminado. El efecto real de esta situación dependerá del número de obras que tenga la empresa en paralelo, de la capacidad de reasignación y movilidad de trabajadores, y del tipo de contrato y costo en caso de subcontrato.

La velocidad de obra gruesa está limitada principalmente por condiciones físicas de diseño y tecnología aplicada, donde un aumento de recursos no genera necesariamente un aumento del avance. No así las labores de terminaciones, donde a través un aumento o redistribución de los recursos humanos, sí se puede generar un aumento del avance del proyecto, en caso de ser necesario, para así ajustar a la velocidad de avance de obra gruesa y mantener el stock bajo control.

En contrapartida, en caso de que la velocidad de terminaciones sea mayor al de obra gruesa, llegará un momento en que se acabará la cancha de obra gruesa y se generará capacidad ociosa y/o pérdida de tiempo.

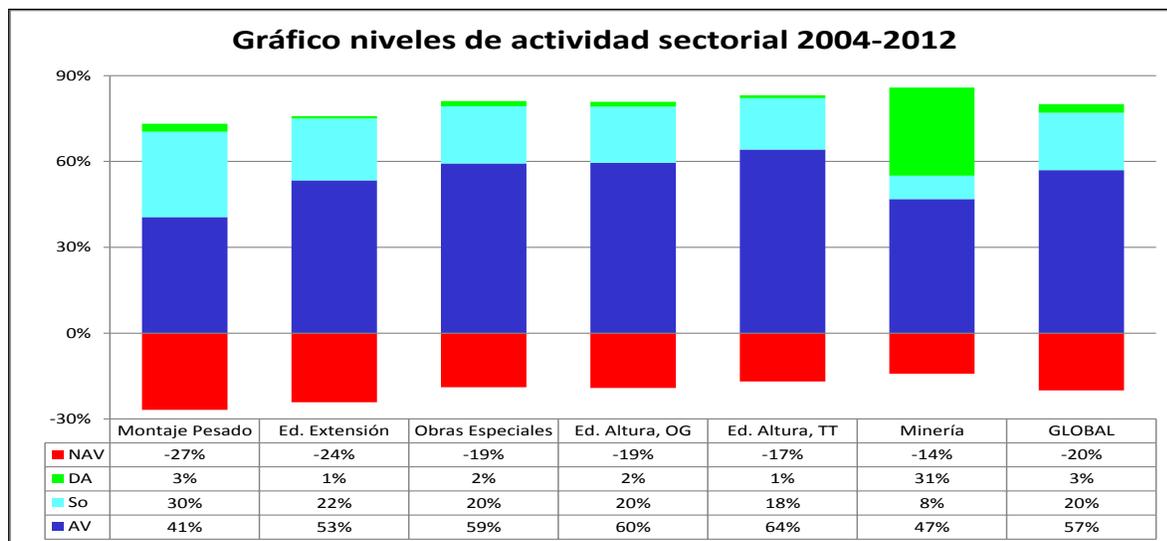
Estos efectos se pueden trasladar a un ámbito más micro como partida, siendo necesario que haya una constante vigilancia que las partidas tiendan a una velocidad de avance estable que no genere una acumulación de stock, ni una falta de cancha. Es **necesario evaluar el rendimiento de todas las partidas** y eliminar las ineficiencias a fin de tener claridad de la necesidad efectiva de recursos y las medidas

correctivas o cambios a realizar para maximizar el avance del proyecto como un todo. El mejoramiento de un proceso sin analizar el efecto sobre la cadena de valor no es una mejora perdurable en el tiempo.

A modo de ejemplo, en una secuencia eficiente y lógica de un proyecto que tiene un ritmo de 1 piso de avance en obra gruesa a la semana, debería llevar un ritmo equivalente en las partidas de yesos, tabiques, instalaciones eléctricas, cerámicas, entre otras. Para el logro de esto, una metodología empleada se basa en la dedicación de la totalidad de los recursos de cada una de las partidas de terminaciones a la realización de todas las tareas de un piso diferente cada una, sólo permitiendo el avance a un nuevo piso tras el término completo del piso asignado. Este esquema favorece el control de avance y aseguramiento de la calidad, al limitar la dispersión de los recursos, minimizando las labores de remates, evitando los avances ficticios y la generación de stock excesivo y lucro cesante. Básicamente se basa en que en cada uno de los pisos del edificio se estén realizando labores tendientes a finalizar el proyecto, pero con una estructura de avance y ejecución controlada.

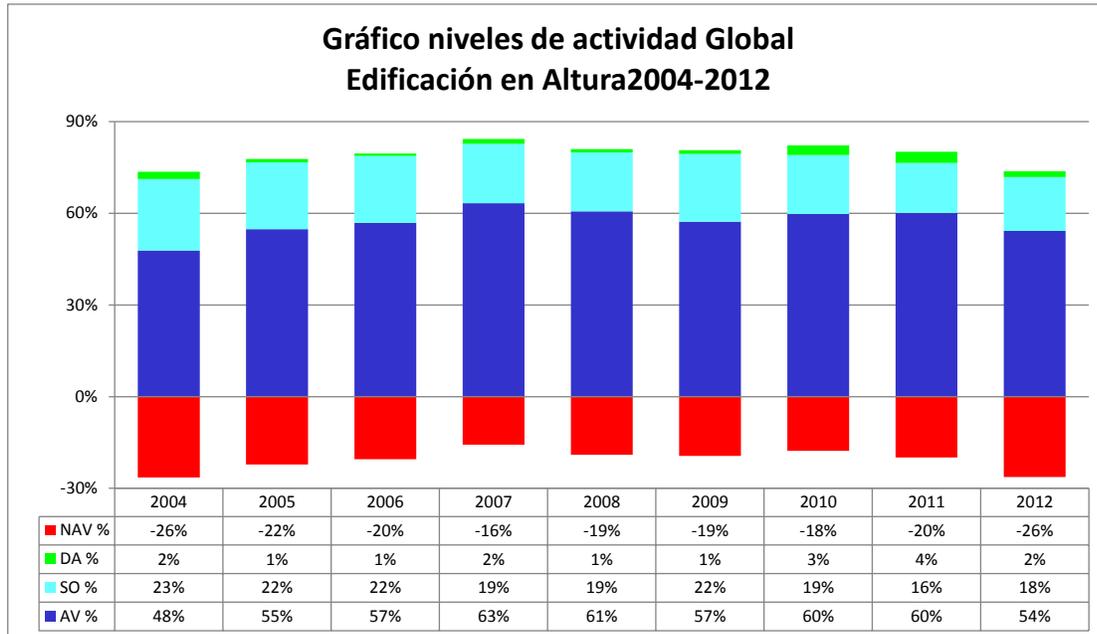
V PRINCIPALES CAUSAS DE PÉRDIDA DE TIEMPO EN EDIFICACIÓN EN ALTURA

La comparación de los niveles de actividad del subsector de edificación en altura versus los otros sectores, muestran que este sector es el que ostenta mejores niveles de actividad en toda la industria, tanto en obra gruesa (OG) como en terminaciones (TT)

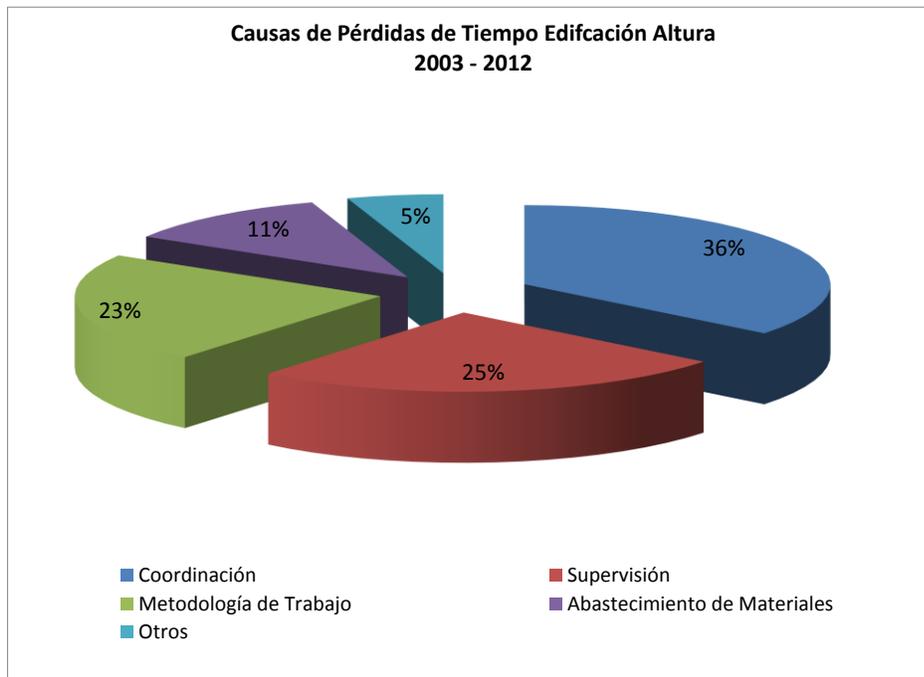


NAV: Actividades que No Agregan Valor DA: Detenciones Autorizadas SO: Actividades de Soporte AV: Actividades Agregan Valor

Cabe destacar que los niveles de actividad global del sector muestran una reducción progresiva del tiempo perdido, que se había estabilizado a partir del 2008 y que sufre un repunte entre el 2011 y el 2012 asociado al déficit actual de mano de obra calificada. Los datos provienen de mediciones realizadas por la CDT desde el año 2003 por Asesorías CDT, en especial el Servicio CALIBRE, a más de 55 empresas. Se han realizado cerca de 315 mediciones con más de 850.000 Horas-Hombre y Horas-Máquina controladas.



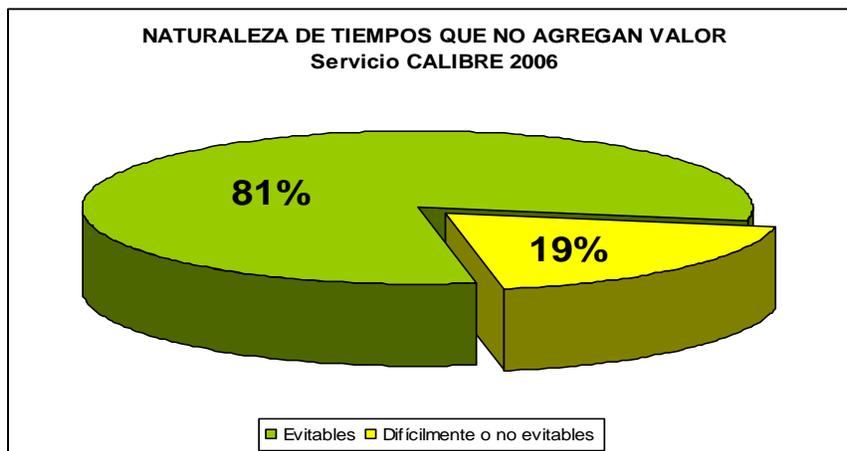
La distribución de las causas de tiempo perdido en categorías entrega lo siguiente:



Se muestra que los problemas de **coordinación interna** son los que generan la mayor cantidad de las pérdidas de tiempo, asociadas a Faltas de Cancha, Trabajos Rehechos, Cambios de Frente, Falta de Asignación de Tareas, entre otros

En segunda instancia se encuentran los problemas de **supervisión** asociados a descanso y detenciones de los trabajadores y problemas de conformación de cuadrillas. También destacan las pérdidas por Metodología de Trabajo, asociadas a procesos de trabajo ineficientes, que pueden ser perfectibles, pero cuyo cambio en ocasiones requiere la incorporación de equipos o maquinaria.

Los problemas de abastecimiento de materiales, se deben principalmente a fallas en la distribución interna de los mismos, y en menor medida, por falta de disponibilidad de materiales en terreno o atraso en la llegada de ellos.



La buena noticia para la industria es que más del 80% de las causas de pérdidas son “evitables”, es decir, pueden ser gestionadas y controladas por los profesionales de obras, lo que entrega un potencial de mejora de productividad significativo.

VI PRODUCTIVIDAD EN EDIFICACIÓN EN ALTURA

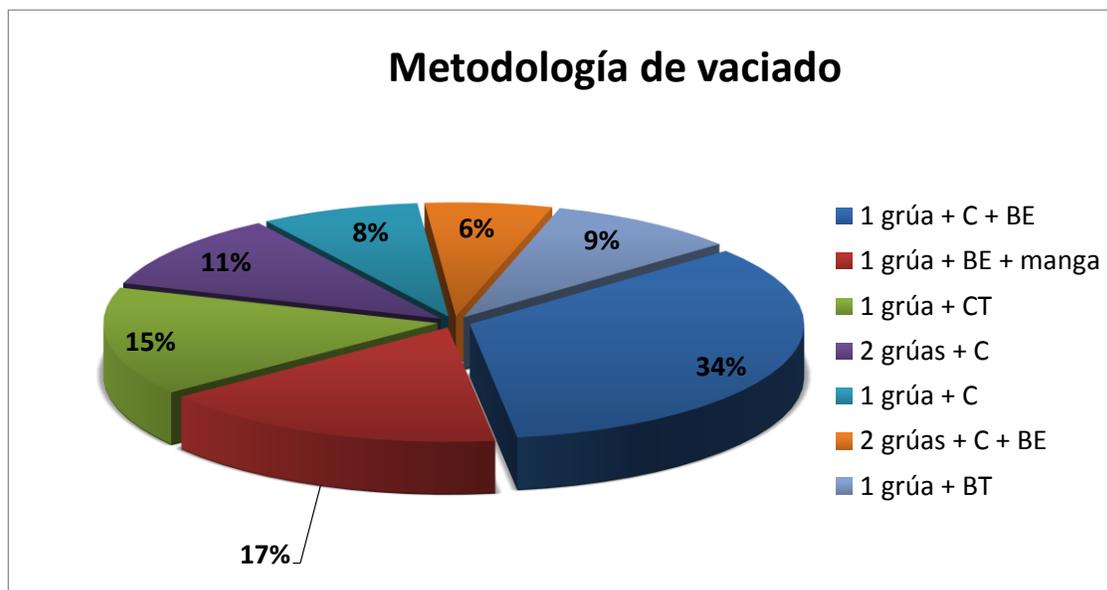
6.1 Hormigonado

En edificación habitacional en altura, la partida que sirve como indicador del avance físico durante la etapa de obra gruesa es el hormigón, siendo el método de vaciado del hormigón un tema clave a definir a la hora de afrontar un proyecto de esta naturaleza. Los esquemas de vaciado disponibles en la actualidad son los siguientes:

- Capacho (C)
- Manga (como adición al capacho o a la bomba para materializar muros)
- Bomba estacionaria (BE)
- Bomba Telescópica Fija (BT)
- Camión con bomba telescópica (CT)

Sin desmedro de que una metodología se base en un esquema que reemplaza el uso de capacho para vaciar el hormigón, en la práctica es común que labores aisladas donde el uso de otro equipo es complejo, se requiera el uso del capacho, y por ende en la práctica todos los proyectos de edificación requieren de grúa como apoyo a las labores de hormigonado.

La distribución del grado de uso de los distintos esquemas que se basan en el uso de uno o más de estos equipos es la siguiente:

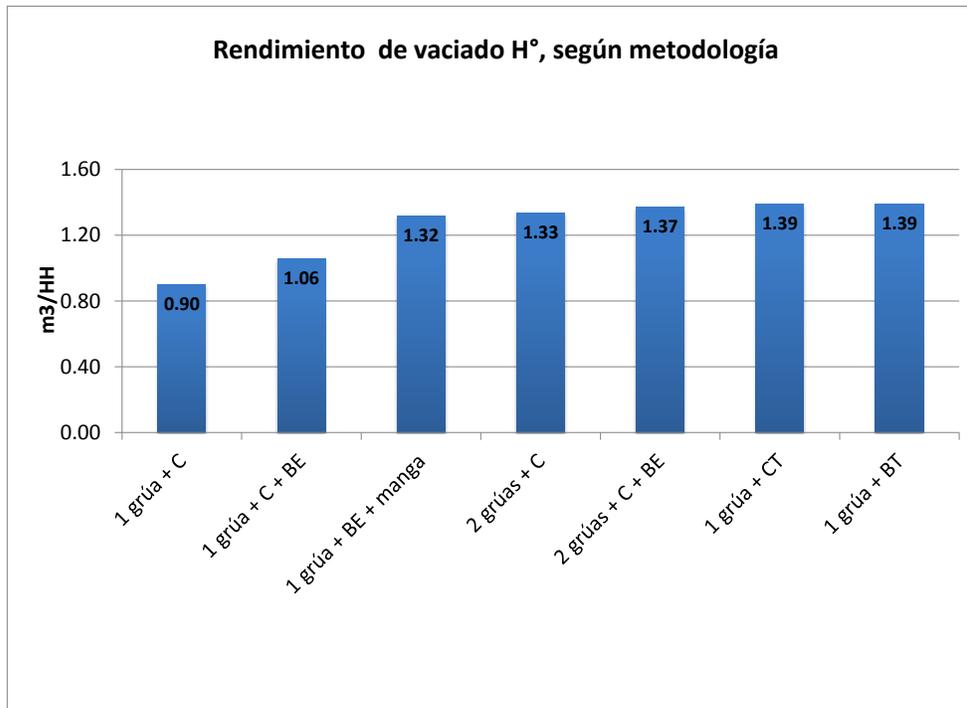


La metodología más empleada en el grupo de estudio (65 proyectos) es la combinación del uso de **una grúa y capacho para muros, y bomba estacionaria para losas**, que emplea más de 1/3 de los proyectos. Posteriormente se encuentran los sistemas que usan bomba estacionaria para losas como para muros, esto último con la adición de una manga.

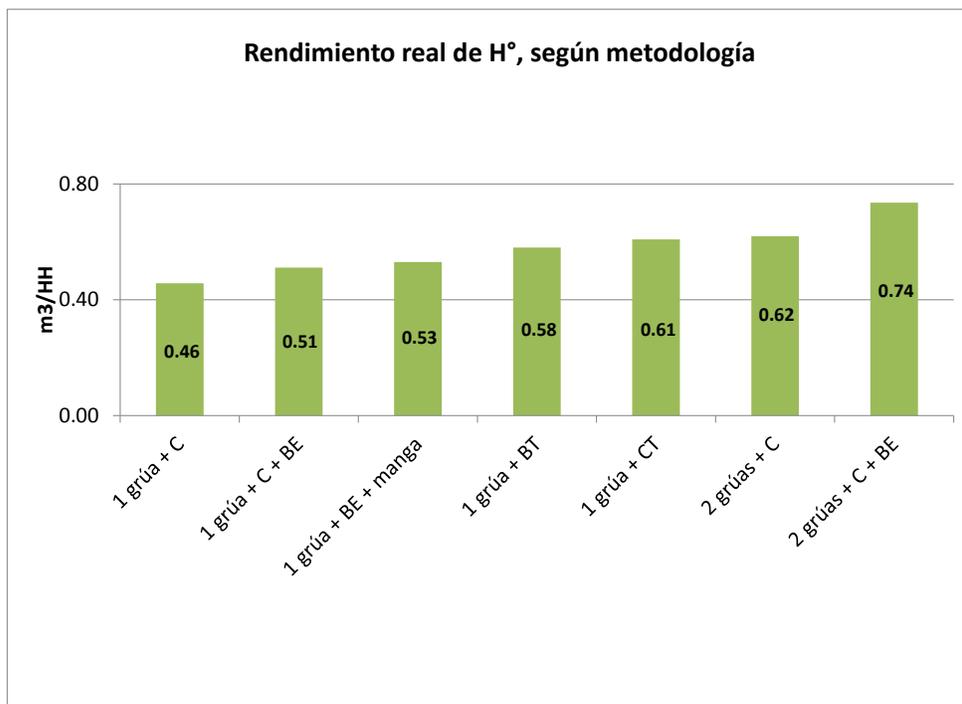
Luego, es muy relevante determinar la metodología que redunde en una mayor velocidad de vaciado, es decir la que tiene un mayor rendimiento, considerando los recursos humanos empleados para las labores netas de colocación de hormigón, independientemente de que éstas labores sean sólo un fracción de la jornada de los concreteros.

Como se puede observar en la tabla a continuación, el sistema más eficiente, o con mayor rendimiento en colocación de hormigón, es el que utiliza una Bomba Telescópica o “placing”, tanto para muros como losas, siendo la grúa un mero apoyo puntual en elementos singulares fuera del alcance del brazo telescópico de la bomba, liberando este recurso para apoyo a otras partidas, especialmente Moldajes.

Las diferencias entre los sistemas no son muy significativas, lo que indica que la velocidad de vaciado del hormigón no necesariamente sería un factor determinante a la hora de la elección de una tecnología y/o metodología versus otra.



Un análisis más relevante se desprende del Rendimiento Real de la partida de hormigonado, es decir la evaluación de toda la jornada de trabajo de los concreteros, independientemente de que se encuentren o no en tarea de colocación de hormigón, como lo reflejado en el siguiente gráfico.



Este gráfico refleja que los sistemas que utilizan 2 grúas son los que presentan un mayor rendimiento real, esto debido a que, independientemente del uso de bomba estacionaria y capacho, o sólo capacho, estos sistemas permiten generar una labor más constante de hormigonado a lo largo del día, generándose múltiples instancias de colocación. Lo anterior está ligado a su vez al gran ritmo de avance de las tareas de moldajes y la posibilidad de realizar tareas de moldajes durante las faenas de hormigonado. Es decir, la disponibilidad de una mayor cantidad de horas de grúa posibilita la generación de un mayor avance de las partidas de obra gruesa que generan cancha para la labor específica de hormigonado, de esta forma los concreteros dedican la mayor parte del día a labores netas de colocación de hormigón lo que supone un mayor aprovechamiento de estos trabajadores.

Las empresas que usan este sistema buscan ritmos de avance de obra gruesa que llegan incluso a los 6 pisos por mes.

6.2 Cantidad de grúas

La productividad de un proyecto de edificación en altura se basa en el aprovechamiento de sus recursos críticos, y en el rendimiento y desempeño de las partidas críticas. En el ámbito de obra gruesa la partida que marca el ritmo es el moldaje y el recurso crítico es la grúa.

A continuación se describen los fundamentos para la estimación de suficiencia de grúas, que tienen como concepto principal los puntos críticos en el avance de obra gruesa.

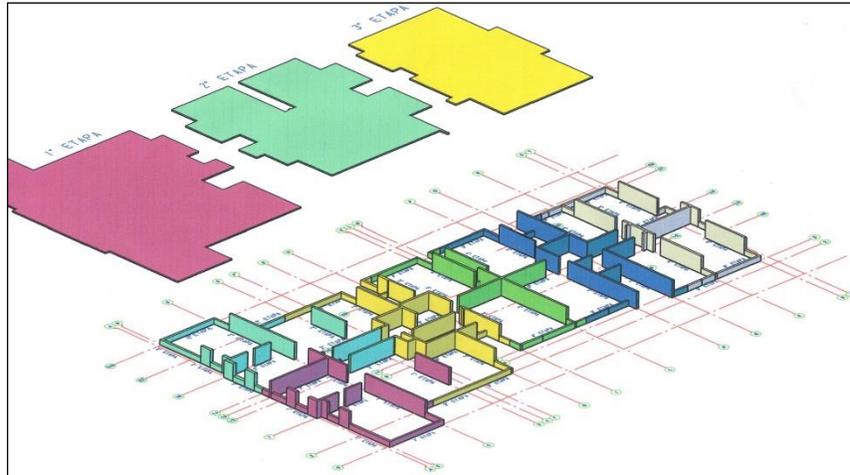
La experiencia CALIBRE indica que una obra exitosa en rendimientos y con capacidad de mejora continua debe contar con tres requisitos básicos:

1. Meta de avance definida

Meta que es definida en el estudio de propuesta (2, 3, 4, etc. pisos/mes), que no siempre es cumplida en terreno, ya sea por problemas de estudios o complicaciones técnicas en obra.

2. Definir etapas controlables y repetitivas de un piso tipo

Toda obra debería contar con etapas marcadas tanto de muros como losa, para de esta forma reducir la variabilidad de los ciclos y generar oportunidades de mejoramiento que sean aplicables a pisos superiores.



Planta de edificación con fases definidas.

En el ejemplo se trata de una obra con 6 fases de muro (1 por día) y 3 de losas (cada 2 días), equivalentes a 3,5 pisos/mes de cumplirse a cabalidad las fases.

3. Controlar el cumplimiento de dichas etapas

De nada sirve elaborar un plan de fases si estas en la práctica no son cumplidas, puesto que dificulta cualquier opción de mejora que sea replicable en pisos superiores. Por otro lado, el no cumplimiento de fases es una fuente de pérdida de tiempo en obra ya que se traduce en problemas de cancha transversal para las partidas de obra gruesa.

Para el control de estas etapas se ha determinado que el método más simple es enfocar los recursos en la partida de moldaje en su cuadrilla de muros, ya que estos liberan una gran cantidad de cancha – actividades-, para el resto de las partidas.

Por tanto si los esfuerzos se enfocan en cumplir las fases de muros de moldaje se tiene gran parte de la tarea realizada, en virtud de aquello el análisis sobre la grúa se encuentra fuertemente referido al apoyo que se realiza en los elementos verticales de obra.

Se ha definido una **ecuación que permita estimar la cantidad de horas grúa que son requeridas** para el cumplimiento de las metas en m² de moldaje de elementos verticales por día, es así como se acotan las siguientes variables:

- a. **Avance diario (m²/día):** m² de moldaje vertical diario que es requerido poner en función de las fases de muros definidas, dadas por el tiempo en que se quiere completar el piso.
- b. **Cantidad de grúas:** corresponde a la cantidad de grúas a proyectar para el cumplimiento de las metas propuestas, generalmente entre 1 a 2 grúas.

- c. **Factor utilización Grúa:** tiempo que la grúa es utilizada en el proceso de moldaje, dado que para el cumplimiento de metas éste recurso no sólo debe apoyar moldaje. Dicho factor es de tipo estadístico y varía en función de la metodología de vaciado de hormigones, dentro de las metodologías más usadas destacan:

| Método de vaciado de hormigón | % utilización moldaje | % mercado |
|---|-----------------------|-----------|
| Capacho-Bomba estacionaria | 55% | 50% |
| Sólo bomba (estacionaria o telescópica) | 70% | 19% |
| Solo capaho (2 grúas) | 45% | 13% |
| Sólo Placing | 70% | 11% |
| Sólo capacho (1 grúa) | 55% | 7% |

- d. **Rendimiento esperado grúa** (variable X), corresponde al desempeño que debiera tener el recurso grúa, medido en m2 de moldaje por hora de grúa disponible (m2/HG) para alcanzar las metas propuestas. Dado según el mercado.

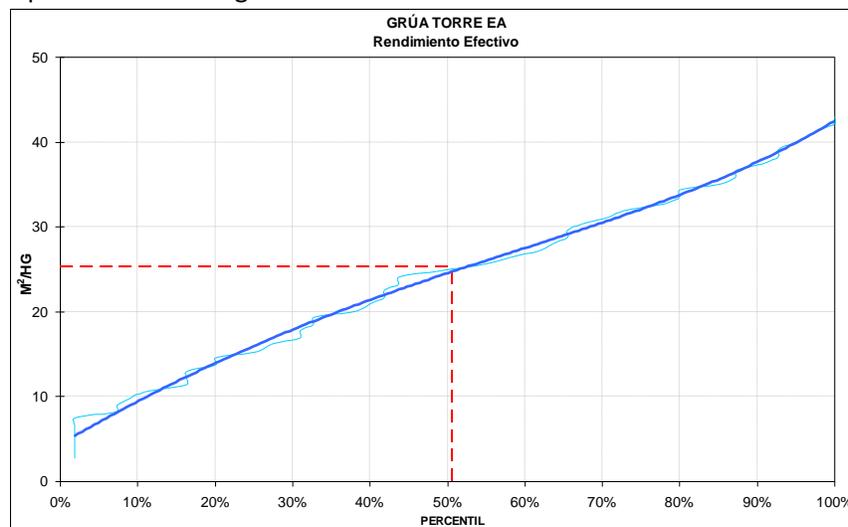


Gráfico CALIBRE de Benchmarking rendimientos grúa (Edificación en Altura).

Como se observa en el gráfico de benchmarking el 50% de las grúas monitoreadas tienen un rendimiento aproximado de 25 m2/Hora Grúa y el máximo registrado es de 42m2/HG

- e. **Horas grúa requeridas** (variable y), es la variable a despejar, donde la ecuación no debería sobrepasar las 9 horas grúa de la jornada, aunque en la práctica la grúa suele ser usada 11 horas diarias (1 hora colación + hora extra).

En base a esto se han desarrollado unos ábacos que nos permiten en función de la tipología de método de colocación de hormigón (determina la cantidad de la jornada dedicada a moldajes) y considerando el rendimiento efectivo esperado y las horas grúa totales disponible, determinar el avance diario.

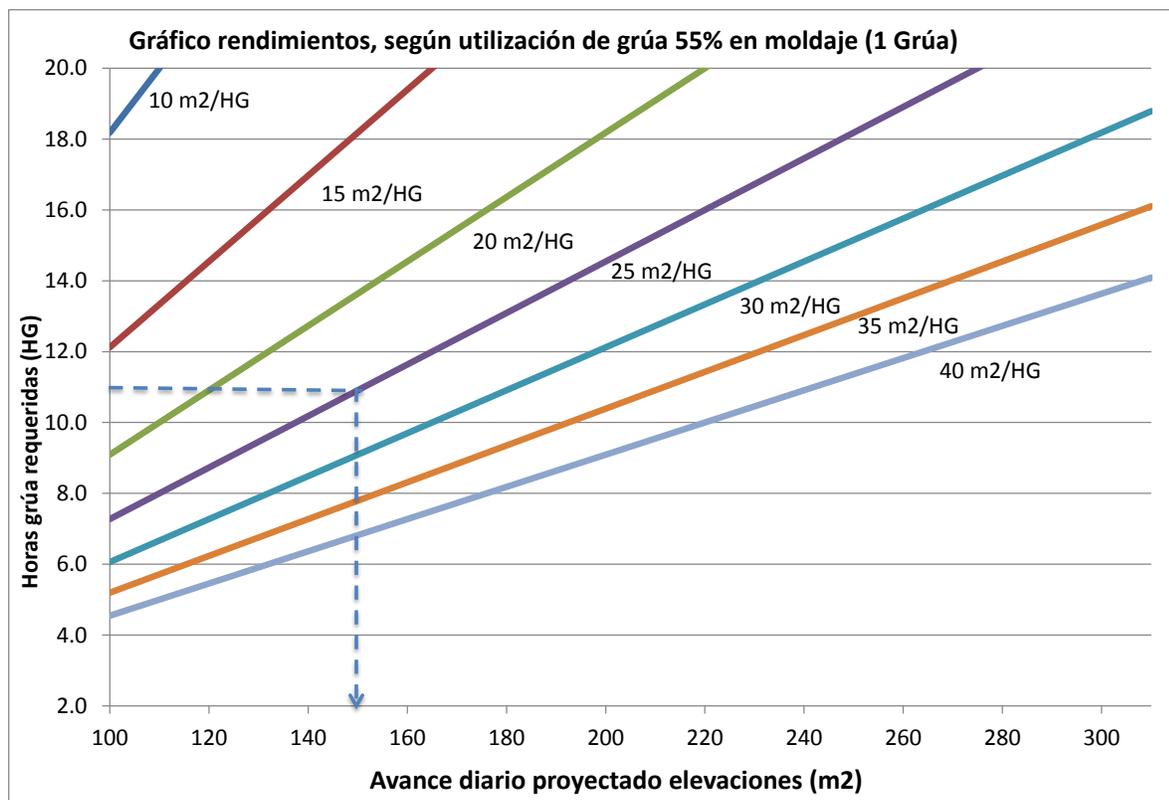
Para el ejemplo:

- Hormigonado: con capacho, bamba estacionaria y 1 grúa
- Rendimiento esperado de la grúa: 25m²/HG (la media)
- Tiempo diario de grúa: 9 horas + 1 hora de colación +1 hora extra.= 11 horas

Luego se podría tener un avance de moldaje de muros de aproximadamente **150 m²/día** y definir cuantas fases de muro tengo que programar por planta

O bien puedo en función del avance que necesito según mis fases, suponiendo un rendimiento efectivo en la media (25m²/HG), optimistas (35m²/HG) o pesimista (15m²/HG), determinar cuantas horas de grúa necesito y definir una alternativa

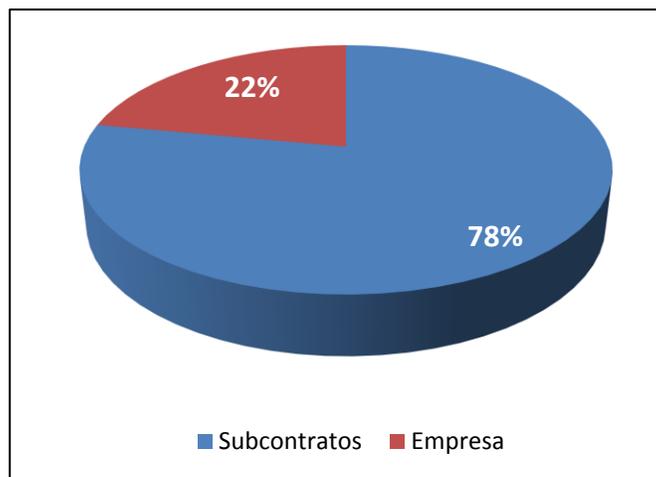
- Incorporar una grúa adicional
- o cambiar mi estilo de hormigonado
- o redefinir mis fases y plantearme una nueva meta de avance



6.3 Enfierradura

a) Análisis por Dependencia Laboral

Según las estadísticas de Asesorías CDT, en especial del Servicio Calibre, desde el año 2005 a la fecha se aprecia una notable preferencia por delegar la colocación de Enfierradura a empresas contratistas, tal como lo presenta el gráfico a continuación:



Observando los valores alcanzados por cada grupo de instaladores de acuerdo a su dependencia laboral, se verifica que la especialización de los subcontratistas aumenta los rendimientos con que desarrollan sus faenas.

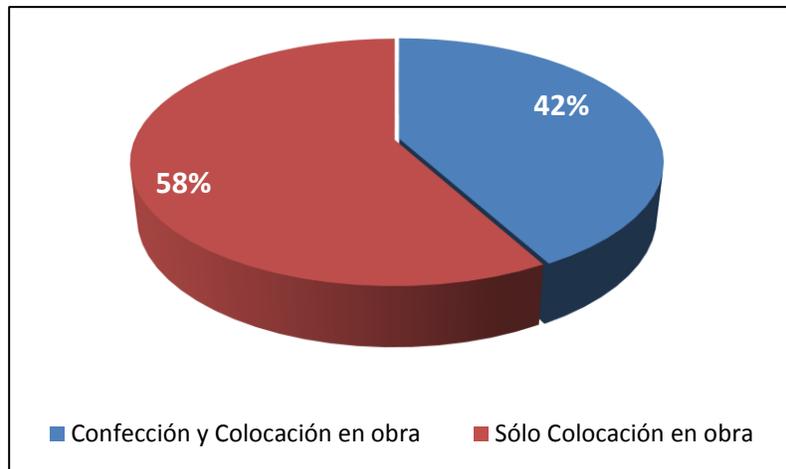
| Análisis por Tareas Ejecutadas | Rendimiento Real Promedio (Kg/HH) |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Subcontratos | 34.18 |
| Empresa Principal | 28.70 |
| Total Instaladores | 33.10 |

b) Análisis por Asignación de Tareas

Según las faenas realizadas por los instaladores, los contratos se diferencian en 2 grupos

- Corte y doblado interno + instalación (c+d+i)
- Solo instalación en obra; corte y doblado externo (C&D + i)

De acuerdo a las obras monitoreadas por Asesorías CDT, en especial el Servicio CALIBRE se aprecia que se inclinan por delegar la confección a talleres externos, los que en su mayoría son parte de los mismos subcontratistas encargados de la instalación



| Análisis por Tareas Ejecutadas | Rendimiento Real Promedio (Kg/HH) |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Confección y Colocación en obra | 31.59 |
| Sólo Colocación en obra | 34.70 |
| Total Instaladores | 33.10 |

De acuerdo a los resultados obtenidos en cuanto a rendimiento real para cada uno de los grupos de instaladores, se verifica que nuevamente están en lo correcto los administradores de obra al delegar la confección a talleres externos.

c) Factores que inciden en el Desempeño

Sin duda, la tendencia mundial en los proyectos de construcción en países desarrollados apunta a la industrialización y modularización, eliminando en lo posible las faenas húmedas. Asimismo, en Chile ya se percibe una tendencia hacia la provisión de materiales y elementos confeccionados en fábrica, más aún en el escenario actual de escasez de mano de obra calificada. Para el éxito de lo anterior, se debe tener presente algunos factores a considerar para el uso de la enfierradura cortada y doblada en fábrica:

- **Mantener un Stock acotado:** se recomienda que no se acopie más del material a usarse en una semana.
- **Adecuado orden de los acopios:** el material confeccionado en fábrica debería venir en paquetes destinados a una estructura en particular del proyecto. Si el acopio no está ordenado, puede ser difícil acceder al paquete que se necesita en es momento. Se debe coordinar la descarga de forma que se ajuste a la secuencia de construcción dejando al alcance los elementos que se van a ocupar en primera instancia.

- **Coordinar los pedidos:** se debe coordinar el equipo de instalación con los profesionales de obra, para asegurar que los pedidos sean con la antelación adecuada y así mantener un stock reducido, a la vez cerciorarse de que se pidan a fábrica los elementos que se van a colocar.
- **Verificar los pedidos:** se debe validar que los materiales entregados correspondan a las estructuras a ejecutar solicitadas y que los paquetes cuenten con todos los elementos necesarios
- **Evitar el desarme de paquetes:** si el acopio no está ordenado es posible que no se encuentre el paquete que se necesita, en cuyo caso se debe evitar la tentación de extraer los elementos de otro paquete para utilizarlos en la estructura, pues eso generara una merma del material y aumenta el desorden del acopio, acrecentando el problema.
- **Mantener un stock de fierro sin confeccionar:** se debe mantener una cierta cantidad de material adicional en barras para suplir la eventual falta de un elemento puntual, de forma que esto no genere una interrupción del proceso productivo.

6.4 Moldajes

El moldaje es la partida que marca el ritmo de obra gruesa, y del proyecto en general, pues una vez definido el ritmo de obra gruesa, las labores de terminaciones deben adoptar ese mismo ritmo para evitar, como fue mencionado, el Lucro Cesante, asociado a la acumulación de stock de obra gruesa.

Se distinguen 2 tipos de moldaje a saber:

- Industrializado: modularizados
- Tradicional: Materializados In situ a la medida y en base a madera.

Los elementos desarrollados por ellos son:

- Elementos Verticales: Muros y Columnas
- Elementos Horizontales: Losas y Vigas

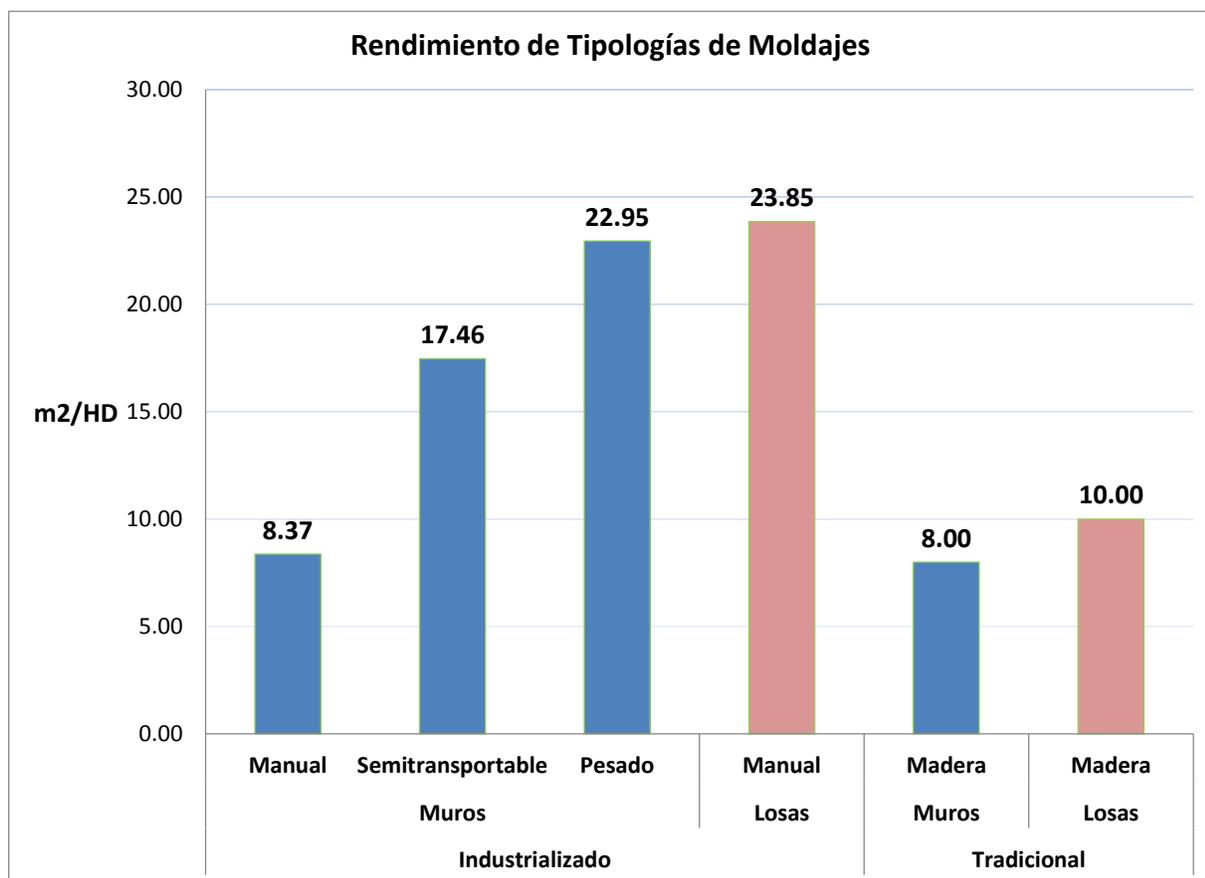
Dentro de los moldajes industrializados de Muros, hay tipologías basadas en el peso de los mismos; necesidad de ocupar grúa para la colocación y el descimbre. En función de ello, más allá de la multitud de marcas del mercado se distinguen 3 tipologías:

- Manual: Elementos de pequeñas dimensiones que pueden ser transportados y montados manualmente por los trabajadores.
- Semitransportable: Elementos de dimensiones pequeña y medianas con pesos variables que pueden ser transportados por los trabajadores o bien ser apoyados con equipos auxiliares de levante.
- Pesados: Elementos de grandes dimensiones, que sólo pueden ser instalados con el apoyo permanente de la grúa.

Independiente de ellos, es común que todas las tipologías tengan elementos de apoyo que permitan unir varios elementos y transportarlos e instalarlos como uno sólo elemento con el apoyo de una grúa.

En el caso de las losas, si bien también existente multitud de marcas y modelos, la estructura general es muy similar sin que existan diferencias significativas a la hora de su uso. En general se trata placas fenólicas, vigas y puntales telescópicos.

Los rendimientos de colocación de las distintas tipologías son los señalados en el gráfico, verificándose que los rendimientos de los moldajes industrializados son significativamente mayores que los tradicionales, siendo los elementos de mayor tamaño, que requieren apoyo de grúa, los que tienen mejores resultados.



Como se ha mencionado, el rendimiento de la partida de moldajes, depende de la correcta coordinación entre las distintas partidas de obra gruesa y la disposición del recurso de grúa suficiente para las labores de colocación y descimbre.

Los factores que se deben considerar para obtener el máximo rendimiento son:

- Diseño del edificio:
 - Simetría: que evite la constante remodularización

- Elementos sencillos: pocos quiebres y singularidades.
- Tecnología de transporte
 - Disposición de recurso grúa: horas grúas dedicadas a moldaje especialmente de muros, dependerá de los equipos para hormigonar.
- Metodología:
 - Fases definidas y de tamaño acorde, en términos de moldajes de muros, a la capacidad de avance diario:
 - 1 grúa: de 150 a 200 m²
 - 2 grúas : ±300 m²
 - Apoyo de otras partidas en labores de descimbre.
 - Distribución de moldaje de losas: con el apoyo de grúa y/o cuadrillas de apoyo

6.5 Secuencia óptima de ingreso de partidas de terminaciones

La secuencia en que entran las partidas de terminaciones debe ser adecuada en función de evitar problemas por trabajo rehecho y eventuales faltas de cancha.

Las partidas claves que deben entrar en primera instancia son:

- a. **Instalaciones Eléctricas:** La tarea de alambrado permite verificar que los conduit no estén obstruidos ni sufran desviaciones. Busca adelantar las reparaciones y evitar tareas rehechas de partidas posteriores
- b. **Yeso:** esta partida es una “liberadora de cancha”, ya que permite el ingreso de las partidas de tabiques, ventanas, puertas, entre otras.
- c. **Tabiques:** al igual que yeso es una “liberadora de cancha” que permite el ingreso de las partidas de cerámica, nivelación de pisos, cornisas, entre otras.
- d. **Nivelación de pisos**

El orden de las restantes partidas puede variar entre un proyecto y otro. Si bien se debe tener especial atención a no generar **avance ficticio**, que es la realización de gran cantidad de trabajo de una cierta partida (especialmente yesos y tabiques), pero dejando tareas inconclusas, ya que el efecto de estos remates, tiene un efecto progresivo en las tareas subsiguientes, no permitiendo su ingreso o que éstas al ingresar generen nuevos remates asociados a los anteriores

El avance ficticio, supone un mayor consumo de recursos y hace más compleja la supervisión y aseguramiento de calidad del proyecto.

Análisis de la Productividad en Obras de Edificación en Chile

Gracias a las mediciones realizadas por Asesorías CDT y el servicio CALIBRE, este informe técnico entrega un análisis detallado de los factores o aspectos que inciden en la productividad de las principales partidas de obra gruesa, hormigonado, moldaje y enfierradura, así como pauta para cuantificar los recursos de grúa para un proyecto, dado el papel crítico que tiene en los proyectos de edificación en altura, y su rol determinante en la programación y definición de fases de obra gruesa.

