

# PRE-PLANIFICACIÓN: UNA EXPERIENCIA RECONFORTANTE

Por Virgilio Ghio C., Ernesto Valle V. y  
Leonardo Rischmoller D.

**Resumen:** Este artículo describe la metodología y resultados obtenidos, después la realización de un trabajo de mejoramiento de la productividad realizado en dos obras de edificación consecutivas. La primera obra sirvió para evaluar la situación de los trabajos en relación a rendimientos de producción y productividad, métodos de construcción, potenciales y deficiencias de los equipos, metodología de planificación, y herramientas existentes para asegurar la productividad. Todo lo anterior se describe brevemente en este artículo. La segunda obra fue Pre-Planificada basada en la experiencia y la documentación detallada obtenida en la primera obra. El trabajo consistió en el diseño detallado de métodos de construcción y el desarrollo de una planificación de la producción, basada en la selección de componentes de las cuadrillas y sus tareas específicas, y el diseño de herramientas de comunicación y control. Aunque la programación y el presupuesto para la segunda obra fueron realizados originalmente utilizando métodos estándar (i.e. Precios unitarios, rendimientos históricos), se realizó también un presupuesto y un programa basados en el esfuerzo de pre-planificación. El desarrollo de la construcción y los costos pudieron ser comparados así con ambos programas y presupuestos.

## INTRODUCCION

En el sentido más amplio, la pre-planificación de la construcción en terreno provee el pensamiento, la disposición de los elementos necesarios, establece requerimientos, y desarrolla las reglas de operación para todo lo que pase en el frente de trabajo (Oglesby et al 1989). Este artículo describe un caso de aplicación, en el cual se decidió llevar a cabo una pre-planificación formal hasta el más alto nivel factible. El trabajo de mejoramiento de la productividad comenzó durante la construcción de 560 departamentos destinados a vivienda social en Santiago, Chile. Se realizaron muchas medidas de optimización importantes en ese momento. Sin embargo, como siempre ocurre, algunas de las medidas de mejoramiento de más alto impacto se aferraron al diseño y a la planificación original (equipos disponibles, cuadrillas, organización en terreno, etc.). El programa de pre-planificación fue desarrollado para obtener el máximo beneficio del próximo trabajo de la empresa constructora. Por lo tanto, la pre-planificación fue realizada para un proyecto de 240 departamentos destinados a vivienda social. Este proyecto, aunque más pequeño, es muy similar en

muchas partes al proyecto anterior. La pre-planificación se llevó a cabo, cubriendo el máximo nivel de detalle posible. El segundo proyecto se encuentra en construcción actualmente. La pre-planificación ha trabajado bastante bien, produciendo ahorros significativos a la empresa constructora.

## PROGRAMA INICIAL DE MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

Se realizaron mediciones de productividad de acuerdo a lo recomendado por Serpell (1993) y Oglesby et al (1989). Junto a las mediciones de productividad, se obtuvo información detallada sobre los métodos de construcción. En este sentido cada cuadrilla fue categorizada por : componentes de la cuadrilla, equipos y herramientas, clientes y proveedores, materiales, producto final, descripción detallada del método de construcción, productividad, observaciones generales, y recomendaciones. Esta información fue fundamental cuando se reestructuraron los métodos existentes de construcción, orientados a racionalizar el trabajo que se venía haciendo. Adicionalmente, las mediciones dieron a los ingenieros de terreno una herramienta de verificación para emplear con los capataces (quienes sostenían que no habían cuadrillas sobre dimensionales) usando más que el sentido común (i.e. resultados numéricos que probaban su punto de vista). Los ingenieros de terreno probaron la frase : "Aquello que se mide , se mejora".

## CONSTRUCTABILIDAD

Se aplicaron los principios básicos de constructabilidad durante las fases de arquitectura y diseño. La empresa constructora trabajó muy de cerca con las firmas de arquitectura y diseño. La experiencia desarrollada en proyectos previos fue usada para optimizar cada aspecto negativo particular encontrado en el segundo proyecto. En ese sentido, el esfuerzo de mejoramiento de la productividad conducido ayudó a obtener una lección aprendida, la cual fue utilizada en este proyecto. Los departamentos fueron modularizados para encajar con la tecnología de construcción seleccionada para el proyecto. Todas las dimensiones de los departamentos coinciden con las de los moldajes, los cerámicos, los artefactos, etc. Por otro lado, los equipos tales como grúas, planta de hormigón, etc., fueron seleccionados para complementarse entre ellos, y las cuadrillas fueron diseñadas de modo de coincidir con el resto del esquema de construcción.

## CPM VS. TODAS LAS ACTIVIDADES CRÍTICAS

La mayoría de los proyectos de construcción son desarrollados basados en una suerte de método de planificación CPM. Aunque hay numerosos beneficios asociados con este método, su fundamento es encontrar una ruta que sea crítica. El programa es desarrollado bajo esta premisa. Sin embargo, el hecho de tener una "ruta crítica" esta directamente relacionado con tener varias rutas que no lo son (rutas con cierta holgura, con pérdidas\*\*). Esto significa que el método CPM se aparta significativamente de la filosofía de la construcción sin pérdidas (lean construcción), debido a que se fundamenta en planificarlas en la construcción, las cuales son introducidas voluntariamente dentro de la programación y el presupuesto.

Por otro lado, los proyectos repetitivos (rítmicos) permiten trabajar con una planificación rítmica. En este caso, de modo de encontrar el uso óptimo de los recursos, se usa un tipo diferente de planificación. Las cuadrillas y equipos son diseñados para lograr el mismo rendimiento de producción, en términos de unidades de construcción (i.e. un piso/día, un apartamento /día, etc.). Si se planifica la realización de las actividades de esta manera, todas las actividades pueden resultar críticas. De esta forma (al menos teóricamente), no se planifican o introducen holguras dentro del programa. Este esquema de planificación esta mucho más cerca de la filosofía de la construcción sin pérdidas. No obstante, la mayoría de proyectos de construcción (aún los de edificaciones simples) no son repetitivos. Así, podría pensarse que la planificación en base a todas las actividades críticas (ACP "all activities critical" planning) resulta no aplicable. Esto no es cierto, sin embargo, para la mayoría de proyectos de construcción. En realidad, cuando la planificación esta basada en velocidades y unidades de producción, pueden ser desarrolladas subdivisiones de construcción bastante repetitivas en proyectos no repetitivos. En este caso la programación es desarrollada basada en las velocidades de producción, de tal forma de generar el mismo ritmo de trabajo para todas las cuadrillas involucradas. El número de cuadrillas óptimas es seleccionado tal que todas las cuadrillas realicen la misma cantidad de unidades de construcción en el mismo período de tiempo. Debe considerarse cuando el volumen actual tiene que ser dividido en más de un día, este volumen debe ser dividido en elementos de construcción (como muros, vigas, columnas, etc.), de modo de encajar los volúmenes actuales de terreno, pero manteniendo el volumen de trabajo diario bastante constante. El método propuesto ACP es una versión modificada de la programación mediante la línea de balance. Este tipo de enfoque fue utilizado en el proyecto descrito en este artículo.

\*\* Se ha adoptado la palabra PÉRDIDAS, para traducir la palabra en ingles WASTE

## PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION

Se desarrollaron procedimientos detallados de construcción para cada actividad. El hecho de trabajar con un proyecto repetitivo de edificación de departamentos facilitó el trabajo y permitió el desarrollo de un significativo nivel de detalle para la construcción entera. Cabe destacar que el alto nivel de detalle fue obtenido varias semanas antes de comenzar la construcción actual. Los procedimientos de construcción incluyeron :

- Descripción detallada de las funciones del líder (capataz) de la cuadrilla
- Volumen diario de construcción
- Componentes de la cuadrilla
- Función específica de cada componente de la cuadrilla
- Equipos y herramientas necesarios
- Cuadrillas y actividades de apoyo
- Tiempo de inicio y término de la actividad
- Especificaciones de calidad para las tareas, y calidad esperada del "proveedor"

## PROGRAMA Y PRESUPUESTO

El programa y el presupuesto de obra, son típicamente calculados (para los estándares Sudamericanos) usando la "experiencia" desarrollada en proyectos previos. El plazo de construcción esperado se deriva de una primera aproximación basada en los plazos obtenidos en proyectos previos (y el plazo y restricciones dados por el mandante, por supuesto). Una situación similar puede ser observada para la realización del presupuesto. Los volúmenes de materiales de construcción son calculados para cada actividad, y estos números son multiplicados por rendimientos de construcción, expresados en términos de "horas hombre/unidad de construcción" y "horas máquina/unidad de construcción". La sumatoria de pesos obtenidos de este procedimiento dan como resultado el costo directo final. Aunque alguna información respecto a la tecnología de construcción a ser aplicada, es introducida en el programa inicial, así como en los sistemas de administración y control, usualmente las consideraciones introducidas a la planificación y presupuesto inicial no son muy específicas ni precisas. Desde que no se ha conducido una pre-planificación detallada formalmente, hay cierto nivel de incertidumbre. Esta incertidumbre es transformada en los mencionados rendimientos de construcción en los cuales se resume la experiencia de la empresa constructora. Este enfoque, al igual que el método CPM incluye demasiadas pérdidas que son "intencionalmente introducidas en el presupuesto y el programa de la obra.

El uso de un enfoque como el ACP, para proyectos repetitivos y no repetitivos, permite una planificación y presupuestos mucho más precisos. Durante el desarrollo del esfuerzo de pre-planificación descrito en este artículo, se realizó una precisa y detallada planificación de actividades diarias desde el principio hasta el final del proyecto. Aunque es claro que problemas internos y externos afectaran el

desarrollo del programa, se calculó un presupuesto de obra a partir de la pre-planificación detallada. El costo de los materiales no varió en relación al presupuesto original, ya que los materiales son independientes del esfuerzo de planificación. Cada cuadrilla tenía una tarea específica, y por lo tanto, se definió por cuanto tiempo trabajarían en el proyecto. El total de horas hombre fue calculado basado en la composición óptima de las cuadrillas, multiplicado por el tiempo que trabajarían en el proyecto, multiplicado por el rendimiento horario de cada componente de la cuadrilla. Un enfoque similar fue seguido para calcular el costo de los equipos de construcción. El presupuesto calculado en esta forma mostró ser mucho más preciso. Por otro lado, la pre-planificación permitió encontrar reducciones potenciales en los costos debido a una mejor utilización de la mano de obra.

#### METODOLOGIA DE PRE-PLANIFICACION

A continuación se discute la metodología seguida para generar la pre-planificación detallada de los trabajos de construcción :

*Determinar el ritmo de construcción:* Basándose en las restricciones de tiempo dadas por el mandante, fue determinado el ritmo de trabajo. En este caso, se encontró que aproximadamente 200 m<sup>2</sup> de losa por día era un buen rendimiento de producción diaria para este proyecto particular (200 m<sup>2</sup> es equivalente a medio piso).

*Listar todas las actividades, junto con sus cuadrillas :* Se generó una completa lista de todas las actividades de construcción y sus correspondientes cuadrillas. En el caso en el que una cuadrilla realizaría más de una actividad, esto se hizo notar en la lista.

*Diseño óptimo de cuadrillas:* Es necesario considerar los métodos y tecnología de construcción seleccionados, así como las restricciones de terreno. Las cuadrillas óptimas fueron diseñadas en detalle, considerando esto, así como las

mediciones de productividad y la información detallada sobre los métodos de construcción, obtenidas durante el primer proyecto.

*Velocidad de producción para cada cuadrilla:* Las cuadrillas óptimas, así como sus rendimientos de producción fueron asegurados en el primer proyecto. Esto fue usado para calcular el ACP.

*Calcular los volúmenes de construcción para cada área:* Los volúmenes de construcción fueron calculados para cada área (i.e. fundaciones, piso 1, etc.). Esto es diferente a los cálculos usuales en un presupuesto tradicional, debido a que los volúmenes están dirigidos hacia su uso para la planificación de la construcción.

*Calcular el tiempo de trabajo requerido en cada área:* Dividir el volumen del área entre la velocidad de producción de cada cuadrilla. Esto producirá diferentes periodos de tiempo para cada actividad.

*Ajustar el número de cuadrillas óptimas para generar el mismo ritmo de producción para cada cuadrilla trabajando en la misma área:* De modo de ajustar el tiempo de construcción para generar ritmos iguales, el número de cuadrillas óptimas fue ajustado. En esta forma, cada actividad sería realizada en el mismo tiempo. Las cuadrillas deben ser diseñadas de tal forma que todas ellas estén realizando trabajo productivo continuamente (ver Tabla 1).

*Desarrollar la planificación con todas las actividades críticas (ACP):* Con las cuadrillas óptimas, el número de cuadrillas óptimas, su velocidad de producción, y el volumen de construcción por área, es posible desarrollar una programación ajustada con todas las actividades críticas. Como puede ser visto en la Tabla 2, el trabajo fue planeado para reducir la pérdidas dentro del programa. Las cuadrillas fueron diseñadas para realizar las mismas tareas diarias en diferentes áreas del proyecto. El trabajo diario fue planificado para ser realizado en 8 horas. Por lo tanto, virtualmente no se introdujo pérdidas dentro del programa. Aunque cero pérdidas es una utopía, la metodología propuesta probó reducir significativamente las

**Tabla 1. Volúmenes y velocidades de construcción para el área 1**

Area N° 1	N° de obreros	Volumen de construcción	Unidad	Velocidad de producción	Unidad	Duración con una cuadrilla	N° de cuadrillas	Duración (Días) RITMO
Refuerzo de acero	4	3.500	Kg	980	Kg/día	4	4	1
Moldaje de Muros	4	300	m <sup>2</sup>	85	m <sup>2</sup> /día	4	4	1
Hormigón de muros	7	64	m <sup>3</sup>	80	m <sup>3</sup> /día	3	1	1

**Tabla 2. Programa ACP (E=edificio, Z=zona, P=piso).**

Actividad	día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6	día 7	día 8	día 9
Refuerzo de acero	E1Z1P1	E1Z2P1	E2Z1P1	E2Z2P1	E3Z1P1	E3Z2P1	E4Z1P1	E4Z2P1	E1Z1P2
Moldaje de Muros		E1Z1P1	E1Z2P1	E2Z1P1	E2Z2P1	E3Z1P1	E3Z2P1	E4Z1P1	E4Z2P1
Hormigón de muros			E1Z1P1	E1Z2P1	E2Z1P1	E2Z2P1	E3Z1P1	E3Z2P1	E4Z1P1

pérdidas durante la actual construcción.

## HERRAMIENTAS DE CONTROL

Varias herramientas de control han sido aplicadas para asegurar una implementación cuidadosa y a tiempo del esfuerzo de pre-planificación.

*Orden de trabajo/Reporte diario:* Este es un reporte convencional en el cual las horas de inicio, fin y la cantidad de trabajo realizado son colocados por el líder de cada cuadrilla. Este trabajo es realizado con formatos estándares por cada actividad y cuadrilla. También se especifica el área exacta de trabajo, los materiales a ser usados, y la calidad que el líder de la cuadrilla debe producir, así como la calidad que debe ser demandada de la cuadrilla proveedora (cuadrilla precedente).

*Control de la mano de obra:* El acceso de la mano de obra al sitio de trabajo es controlado por un sistema de código de barras. Cada trabajador tiene un ID, en el cual esta impreso su código de barras personal. A las 8 :30 am (Hora de inicio de la faena) un reporte es impreso, en el cual se resaltan los trabajadores faltantes. Esto permite una acción rápida orientada a modificar las cuadrillas de modo de evitar demoras en la construcción.

*Control del ritmo:* La planificación rítmica es controlada diariamente con una herramienta visual. Un reporte es impreso en el cual la construcción realizada a la fecha es impresa usando diferentes colores para diferentes edificios y pisos. Al final del día es bastante fácil descubrir si hay actividades no terminadas en terreno. Esta es una herramienta visual para controlar el porcentaje de actividades planeadas completado (PAC).

*Control diario del porcentaje de actividades planeadas completado:* Esta es una forma en la cual el PAC es reportado diariamente. Los problemas que generaron cualquier demora son también destacados y descritos en detalle (e.g. lluvia, problemas con los equipos, etc.). Estos problemas son acompañados con soluciones y las medidas que deben ser tomadas para evitar futuras demoras o actividades no completadas a tiempo.

## RESULTADOS

El programa de optimización conducido en el primer proyecto, genero un aumento sobre los beneficios presupuestados del 80%. Adicionalmente, un proyecto similar realizado con el mismo equipamiento, y bajo las mismas condiciones generales, pero con un planificación pobre y sin esfuerzo de constructabilidad, no fue capaz de terminar los trabajos. La compañía quebró. El segundo proyecto comparado con el primero, mostró un incremento adicional del 20 % en la productividad debido al esfuerzo de pre-planificación. El aumento en los beneficios será determinado al final del trabajo, que actualmente se encuentra en construcción.

## CONCLUSIONES

Un importante esfuerzo de pre-planificación ha sido presentado en este artículo. El hecho de tener dos trabajos similares y consecutivos ayudo a generar una completa lección aprendida primero, la cual fue usada eficientemente para la planificación del segundo trabajo. El proceso de aprendizaje de la compañía constructora ha crecido bastante rápido debido al uso de información detallada de proyectos previos. Incrementos de 80 % en los márgenes de construcción son factibles por la optimización de los procedimientos y la productividad en la construcción. Un incremento adicional de 60 % en el margen es esperado en el segundo proyecto por el uso de una pre-planificación formal detallada.

## REFERENCIAS

- Oglesby, C., Parker, H. and Howell, G. (1989) Productivity improvement in construction, McGraw-Hill Book Company.  
Serpell, A. (1993) Administración de operaciones de construcción, Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile.

\* Traducido del paper PREPLANNING : A REWARDING EXPERIENCE, presentado en la quinta conferencia internacional del IGLC (International Group for Lean Construction), realizada en Gold Coast, Australia, en Agosto de 1997

*Virgilio Ghio C., y Ingeniero Civil, M.Sc., Ph.D.  
Gerente CVG Ingenieros S.R.L. Carozzo - Vasquez - Ghio  
Lima-Perú*

*Ernesto Valle V. Gerente general, VAINSA Ingeniería y Construcción  
Santiago-Chile*

*Leonardo Rischmoller D. Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. Estudiante de Magister, Universidad Católica de Chile*