

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**MEJORAMIENTO DE LA PLANIFICACIÓN OPERACIONAL DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE
COMPROMISOS RACIONALES**

TRABAJO DE TITULO PARA OPTAR AL GRADO DE INGENIERO CIVIL

FELIPE GONZÁLEZ CERDA
felipgon@ing.uchile.cl

PROFESOR GUÍA:
LUIS FERNANDO ALARCÓN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CARLOS AGUILERA
WILLIAM WRAGG

SANTIAGO DE CHILE
MARZO 2008

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS-CONSTRUCCIÓN
POR: FELIPE GONZÁLEZ C.
FECHA: 30/03/2009
PROF. GUÍA: LUIS FERNANDO
ALARCÓN

"MEJORAMIENTO DE LA PLANIFICACIÓN OPERACIONAL DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE
COMPROMISOS RACIONALES"

El objetivo general de este trabajo es implementar el Modelo de Compromisos Racionales (MCR), desarrollado en base a la teoría de Lean Construction, por el Centro de Excelencia en la Construcción (GEPUC), en dos obras de construcción en las que se ocupa como herramienta de planificación el Sistema del Último Planificador (SUP); se espera elaborar una metodología de implementación que abarque recomendaciones tanto en el uso del modelo como en su aplicación dentro del SUP.

Desde el año 2000 se ha implementado en decenas de empresas constructoras chilenas el SUP, mejorando los niveles de productividad, y reduciendo la variabilidad que este tipo de proyectos enfrenta. A lo largo de este tiempo han aparecido distintas herramientas que tienen como objetivo facilitar el uso del sistema y aprovechar al máximo los beneficios que éste tiene. Dentro de estas herramientas el MCR se presenta como una ayuda a la estimación de la capacidad que se obtendrá en una semana, ocupando regresiones lineales que tienen como variables de entrada el número de hombres-semana, la cancha disponible y el avance programado recogiendo los resultados de las semanas anteriores de la unidad de producción asociada.

Después de haber escogido las obras de construcción y las actividades a estudiar, se realizó durante 5 meses un trabajo de apoyo a las oficinas técnicas en sus respectivas reuniones semanales de planificación. Se establecieron las formas de medición de datos según el tipo de construcción (Hormigón armado o albañilería confinada), la presentación de las estimaciones empleando los ábacos de estimación del modelo y, a lo largo del estudio, se fueron registrando posibles mejoras tanto al modelo como al software RCMPPLAN.

Los resultados arrojaron un avance que favorecía la productividad en el caso de las actividades en las que se implementó el modelo. Esto se reflejó en el aumento paulatino del Porcentaje de Actividades Completadas (PAC). Por otro lado se elaboró un mecanismo dinámico para facilitar la aplicación del modelo en las reuniones de planificación basado en los resultados obtenidos con RCMPPLAN.

Como conclusión se estableció la importancia de obtener estimaciones de capacidad en forma racional basada en el comportamiento que se ha observado en la misma obra para mejorar la confiabilidad de los compromisos, dejando la intuición sólo como un apoyo adicional.

AGRADECIMIENTOS

En el proceso que hoy culmina, muchísimas personas influyeron en mi vida e hicieron que este momento sea tan especial y único. Debo partir agradeciendo a mi familia que me apoyó incondicionalmente durante estos años, sobre todo en los momentos más difíciles.

En segundo lugar mis compañeros, con los que crecí y maduré, desde los que conocí en los primeros años de la carrera hasta los que me acompañan hasta ahora en la especialidad, fue una gran alegría y orgullo compartir con ellos estos años, muchísimas gracias por todo.

También debo agradecer a la enorme institución en la que me he formado, a los profesores y funcionarios, que me enseñaron que el aprender no tiene límites, y que la calidad de un profesional va más allá de un buen rendimiento académico.

Finalmente quiero agradecer a todos los que participaron más directamente en la elaboración de esta investigación, al ingeniero Sebastián Fuster por su invaluable apoyo durante todo el proceso, a mi Profesor guía Don Luis F. Alarcón por permitirme conocer su visión de la ingeniería y guiarme en la elaboración de este informe, también a las empresas constructoras Queylén y LyD.

*A mis padres Ciro y María I.
y mis hermanos Ciro y Nicolás*

INDICE

	<u>Páginas</u>
CAPÍTULO I: <i>Introducción</i>	1-1
Contextualización	1-1
Estructura del Trabajo	1-2
CAPÍTULO II: <i>Marco Teórico</i>	2-1
Sistema del Último Planificador	2-1
Control del Flujo de Trabajo	2-2
Control de Producción Unitaria	2-5
Modelo de Compromisos Racionales	2-6
Indicador de Confiabilidad por Actividad	2-6
Variables de Medición	2-7
Ábacos de Estimación	2-8
Aplicación en Reuniones	2-9
Administración de Cancha	2-13
Supuestos en la Implementación del Modelo	2-14
CAPÍTULO III: <i>Caso 1-Galpón de Acero</i>	3-1
Descripción del Proyecto	3-1
CAPÍTULO IV: <i>Caso 2-Edificio I</i>	4-1
Descripción del Proyecto	4-1
Implementación del Modelo	4-2
Problemas de Implementación del Modelo	4-17
CAPÍTULO V: <i>Caso 3-Condominio casas de albañilería</i>	5-1
Descripción del Proyecto	5-1
Implementación del Modelo	5-2
Resultados de la Implementación	5-13
Problemas de Implementación del Modelo	5-17

CAPÍTULO VI: <i>Conclusiones</i>	6-1
BIBLIOGRAFÍA	Biblio-1
ANEXO A <i>Manual de Utilización del RCM</i>	A-1
ANEXO B <i>Mejoras al RCM</i>	B-1
ANEXO C <i>Manual de Traspaso del Modelo</i>	C-1

CAPÍTULO UNO: INTRODUCCIÓN

1.1 Contextualización

Nunca antes el intercambio de ideas había crecido tanto como en la actualidad, donde todas las áreas de la ciencia han avanzado en forma paralela y con la misma tasa en distintas partes del mundo gracias a la masificación de los medios de comunicación.

La ingeniería chilena no ha sido indiferente a este fenómeno incorporando distintas filosofías y tendencias internacionales en la concepción y diseño de las estructuras, métodos constructivos, normas de calidad, criterios de evaluación para la ejecución de obras de construcción, programación y gestión.

El año 2000 se introdujo en nuestro país un nuevo sistema de planificación denominado SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR (SUP), el cual durante estos años ha sido implementado en decenas de empresas constructoras (Alarcón, 2005).

Este sistema desarrollado conceptualmente por Herman Glenn Ballard y Greg Howell, investigadores del Lean Construction Institute, y llevado a la realidad chilena por el Centro de Excelencia en Gestión en la Producción de la Universidad Católica (GEPUC), propone mejoras en la calidad de las asignaciones de los planes de trabajo semanales y agrega un proceso de *planificación adelantada* llamado “lookahead” el cual da forma y controla el flujo de trabajo. El SUP proporciona herramientas para mejorar la confiabilidad en la planificación y reducir el negativo impacto de la variabilidad monitoreando las actividades con indicadores como el Porcentaje de Actividades Completadas (PAC) y revisando las razones de no cumplimiento de las mismas (Ballard, 2000).

Uno de los grandes desafíos que se han debido enfrentar en la implementación del sistema está el de materializar los principios en los que se apoya: Realizar asignaciones de trabajos confiables y con alta probabilidad de ser ejecutados.

Con el primer principio en mente es que Mundaca (2006) y González (2008) plantean y desarrollan respectivamente el Modelo de Compromisos Racionales (MCR), un modelo predictivo que estima el avance que una cuadrilla tendrá en una semana determinada considerando como variables de entrada la cancha, el avance programado y la cantidad de hombres ocupados.

Este trabajo tiene como objetivos implementar, observar y mejorar el MCR, entendiendo que debido al constante dinamismo que un proyecto de construcción enfrenta es imprescindible que las herramientas que se incorporen sean útiles y ofrezcan un verdadero avance. Para interiorizarse y observar la calidad de las implementaciones del SUP se estudió su incorporación en la construcción de un galpón industrial. Para implementar e investigar el MCR se estudiaron dos obras: la construcción de un edificio de hormigón armado y la construcción de un condominio de casas de albañilería.

1.2 Estructura del Trabajo

En el capítulo dos se explican a grandes rasgos el sistema de control de planificación El Último Planificador, y las debilidades de la implementación que se quieren corregir. A su vez, se desarrolla el marco teórico en el que se basa el Modelo de Compromisos Racionales. Finalmente en los capítulos tres, cuatro y cinco se detallan los casos de estudio.

CAPÍTULO DOS: MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema del Último Planificador

Planificación se entiende como las acciones llevadas a cabo para alcanzar algún objetivo. Comienza antes de la ejecución del proyecto, momento en el cual los planificadores estudian los objetivos y acciones y basan sus actos no en corazonadas si no en algún método, plan o lógica. Algunos métodos de planificación conocidos son la Carta Gantt, el Camino Crítico, la Representación Mixta, Líneas de Balance o Programación Rítmica.

Los planes guían:

- La obtención y aplicación de los recursos para lograr los **objetivos**
- El desempeño de actividades y la toma de decisiones congruentes con los **objetivos** por parte de los miembros de la organización
- El control de los logros de los **objetivos** organizacionales

Para legitimar una planificación se debe comunicar adecuadamente a todos los involucrados con el objetivo de lograr la mayor transparencia posible a través de los distintos niveles organizacionales, generando compromisos confiables que protegen al proyecto de la variabilidad que enfrenta.

El año 1999 Lauri Koskela propone los siguientes criterios de diseño o principios para un sistema de control de la producción:

- “Todas las restricciones asociadas a las asignaciones programadas deben haber sido removidas considerando las actividades prerrequisitas”
- “El porcentaje de actividades realizadas debe ser medida y monitoreada”
- “Las causas de no cumplimiento deben ser investigadas y removidas”
- “Se debe mantener un inventario de tareas, sin restricciones para su realización, para cada cuadrilla o subcontrato, esto ya que si la tarea asignada se vuelve imposible de llevar a cabo la cuadrilla pueda cambiar a otra tarea”

- “Se debe incorporar un sistema de planificación adelantada (3 a 4 semanas), donde los prerrequisitos de las próximas tareas son preparados para tenerlos listos”

En base a estos principios Ballard y Howell, investigadores del Lean Construction Institute, desarrollaron un sistema de control de la producción denominado LAST PLANNER o Sistema del Último Planificador, basado en los compromisos confiables, el cual regula, gestiona e incorpora un conjunto de herramientas que facilitan la propia implementación.

Para incrementar la fiabilidad de la planificación y mejorar los desempeños del proyecto el sistema se apoya en dos componentes (Ballard, 2000):

a) Control de flujo de trabajo: encausar el trabajo en un flujo a través de las unidades de producción con la mejor secuencia y velocidad posible.

b) Control de producción Unitaria: crear progresivamente mejores asignaciones para los trabajadores que realizan las actividades a través de un continuo aprendizaje y acciones correctivas.

2.1.1 Control del flujo de trabajo

Por lo general en un proyecto se definen implícitamente tres conjuntos de actividades, lo que se DEBE hacer, lo que se PUEDE hacer y lo que se HARÁ. Actualmente en muchos proyectos de construcción se da el caso de que los conjuntos de lo que se PUEDE hacer y lo que se HARÁ son subconjuntos de lo que se DEBE realizar y además están parcialmente sobrepuestos como se muestra en la figura 2.1 (Alarcón, 2008).

Figura 2.1

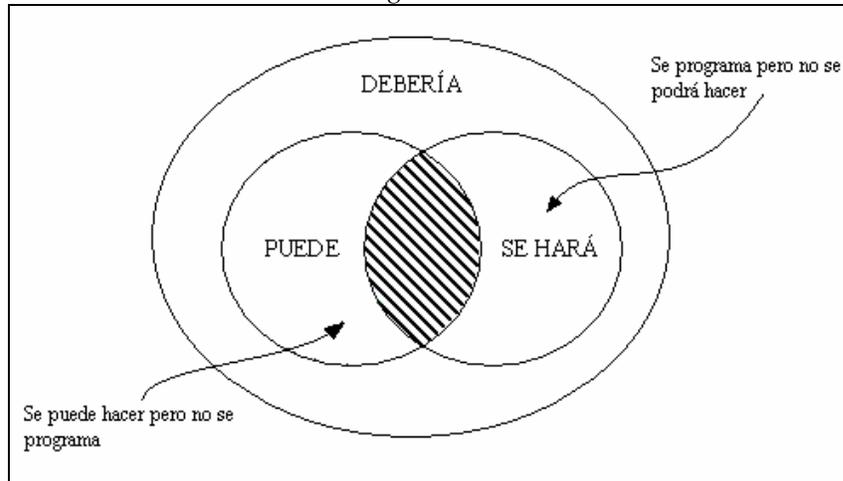


Diagrama actual de conjuntos DEBERÍA, PUEDE y SERÁ hecho

Del diagrama se observa que lo que realmente se hará es la parte achurada, ya que lo demás del conjunto de lo que se PUEDE hacer, por desconocimiento u omisión, no será programado y, lo demás del conjunto de lo que SE HARÁ, por restricciones no consideradas, no se podrá llevar a cabo.

Para lograr un buen Flujo de Trabajo lo que el Sistema del Último Planificador busca es

- Elegir el conjunto de lo que SE HARÁ de acuerdo a lo que el conjunto de lo que SE PUEDE hacer indica
- Agrandar el conjunto de lo que SE HARÁ mediante la liberación anticipada de restricciones.

Llevar esta idea conceptual a la planificación de un proyecto de construcción no es una tarea sencilla ya que se deben tomar en cuenta las características propias de cada proyecto o las capacidades y recursos que se tengan. La metodología que se ha desarrollado se subdivide en tres niveles, a través de los cuales el plan se va refinando y la variabilidad reduciendo. Estos niveles son el Plan Maestro, Planificación Intermedia y Planificación Operacional (o semanal). Cada uno de estos niveles genera uno de los anteriormente mencionados conjuntos de actividades, al Plan Maestro genera el conjunto de lo que se DEBE hacer, a la Planificación Intermedia lo que se PUEDE hacer y a la Planificación Operacional lo que se HARÁ.

- Plan Maestro: A diferencia de la planificación tradicional donde se acostumbra programar todas las actividades en la Planificación Inicial, el Sistema del Último Planificador recomienda que la misión del Programa maestro sea sólo subdividir el trabajo en partes, determinar la secuencia en que serán ejecutadas y generar hitos de control para el proyecto (Alarcón, 2008), esto ya que la confiabilidad que se puede obtener en planificaciones generadas en esta etapa es muy limitada. La confiabilidad del sistema de generar hitos es bastante mayor, ya que sólo compromete aspectos generales del trabajo a ejecutar (Mundaca, 2006). En proyectos largos y complejos el programa maestro también se suele dividir en fases para hacerlo más manejable.

- Planificación Intermedia: En esta etapa se destacan las actividades que se encuentran en un futuro cercano, planificando la liberación de restricciones y arrastrando los recursos necesarios para hacer ejecutables las actividades. Dentro de las funciones de la Planificación Intermedia se encuentran (Ballard, 2000):
 - Crear la secuencia y velocidad del flujo de trabajo
 - Ajustar el flujo de trabajo con la capacidad
 - Descomponer las actividades del plan maestro dentro del inventario de trabajos ejecutables
 - Desarrollar métodos detallados para la ejecución de los trabajos
 - Mantener un inventario de trabajos ejecutables listo para ser ejecutado
 - Revisar y actualizar los altos niveles de programación, como sea necesario.

En conclusión esta etapa de planificación establece el conjunto de lo que se PUEDE HACER, estableciendo las actividades que se pueden ejecutar, y agranda el conjunto de lo que se puede hacer liberando restricciones de las potenciales actividades, generando así un inventario de trabajos ejecutables que es de donde finalmente se obtendrán las actividades a hacer semana a semana en la planificación operacional o semanal.

- Planificación semanal: Etapa en la cual participan los últimos planificadores y se realizan básicamente las siguientes tareas: se registra el Porcentaje de Actividades Completadas (PAC) que es la cantidad de actividades programadas cumplidas dividido por el número total de actividades programadas, se determinan las causas de no cumplimiento y sus

efectos y se identifica el trabajo específico que debe realizarse durante la semana estableciendo con cada uno de los participantes compromisos confiables.

2.1.2 Control de Producción Unitaria

Ya definido el plan de acción para lograr un buen flujo ENTRE las actividades surge la necesidad de lograr una buena planificación DENTRO de las actividades. Esto se logra con las asignaciones de calidad que apuntan a establecer asignaciones bien definidas, ejecutables y con una correcta secuencia y cantidad de trabajo (Ballard, 2000).

En resumen el Sistema del Último Planificador:

- Aumenta la confiabilidad de la planificación y los índices de productividad
- Controla y planifica el proyecto en tres niveles: Plan Maestro, Planificación intermedia y planificación semanal.
- Realiza asignaciones de calidad con alta probabilidad de ser ejecutadas, considerando las condiciones reales del proyecto y lo determinado en el plan maestro.
- Semanalmente evalúa las asignaciones de trabajo y el flujo de trabajo a través del indicador P.A.C.
- Realiza una retroalimentación registrando las causas de no cumplimiento de las actividades.

El tener sólo un buen control de producción unitaria o sólo un buen control de flujo de trabajo, no asegura el éxito del proyecto, por un lado las cuadrillas que realizan el 100% de trabajo demandado se quedarán constantemente sin trabajo ya que el flujo de trabajo no es continuo, y por el otro se proporcionarán actividades a cuadrillas que no tienen la capacidad de llevarlas a cabo, generando acumulación de trabajo. Esto genera el problema del balanceo de carga y capacidad. Para solucionar este problema se puede cambiar la carga a la que se somete una cuadrilla para ajustar su capacidad, o cambiar su capacidad para ajustar la carga. Debido a lo conveniente que es tener una cantidad de mano de obra constante se prefiere balancear la carga manteniendo constante la capacidad (Ballard, 2000). Sin embargo cuando existan presiones para

completar hitos o fechas este problema no se podrá solucionar de esta forma, dejando abierto el problema de ajustar la carga con la capacidad de una forma analítica.

2.2 Modelo de Compromisos Racionales

2.2.1 Indicador De Confiabilidad por Actividad

Partamos definiendo el Indicador de Confiabilidad por Actividad (ICA), que por primera vez enuncia Mundaca (2006).

$$ICA = \frac{Avance Real}{Avance Programado} \quad (1)$$

- Avance Programado: trabajo inicialmente programado
- Avance Real: trabajo realmente ejecutado

En un proyecto se pueden dar 2 casos:

- $ICA < 1$: el trabajo ejecutado no corresponde al trabajo planificado, mas bien es una fracción de éste.
- $ICA = 1$: el trabajo ejecutado alcanzó las expectativas de la programación cumpliendo a cabalidad su diseño.

Los dos casos representan señales importantes que gracias a su análisis revelan el nivel de la planificación semanal con que se cuenta. Por un lado obtener un ICA menor al 100% conduce al coordinador de actividades a preguntarse cuáles son las causas de no cumplimiento. Por otro el obtener un $ICA = 100\%$ no siempre es una buena señal ya que este valor podría estar indicando que los recursos asignados a una actividad están sobredimensionados o las exigencias propuestas están por debajo de las capacidades de la empresa.

Sin embargo el estudio de este indicador al finalizar una semana resulta poco productivo ya que las condiciones con las que se desarrollan las asignaciones varían semana a semana, traduciéndose esto en que el análisis y las conclusiones de una semana pueden resultar absolutamente inapropiadas para otra.

Surge entonces la idea de diseñar un modelo que prediga el avance que tendrá una cuadrilla en una semana de acuerdo a su propio historial de avances. Si el avance es mayor o igual a lo

programado existe la *oportunidad* de mejoramiento y si el avance es menor a lo programado existe la *necesidad* de mejoramiento (Bustamante).

2.2.2 Variables de Medición

Para la elaboración de este modelo se debían detectar las variables más importantes o críticas al estimar los rendimientos de cuadrillas, que están íntimamente relacionadas con las razones de no cumplimiento de las actividades. Después de 3 años de estudios aplicando el Sistema del Último Planificador en 77 proyectos de construcción se determinó que las principales causas de no cumplimiento de actividades están relacionadas con (Alarcón, *et al*, 2006):

1. Mano de Obra
2. Liberación de Restricciones (cancha)
3. Problemas con la Programación

La idea entonces, es elegir las variables a estudiar en base a estas tres causas de no cumplimiento. Las variables que se adoptaron fueron:

Tabla 2.1

Mano de Obra	Cantidad de Hombres Semana (HS)
Liberación de actividades	Cancha Disponible
Problemas con la programación	Programación Semanal

Datos a recolectar para cada Razón de No Cumplimiento

Adicionalmente se recopila el avance, al finalizar la semana, para contraponer las variables adoptadas con el resultado final. Con esta información se analiza cuales variables tuvieron mayor influencia en el avance final y se genera la función lineal que mejor se aproxime a los datos. Así es como nace el Modelo de Compromisos Racionales que en base a información recopilada en el mismo proyecto permite que los compromisos sean tomados con una base más analítica dejando de lado la intuición. Al mismo tiempo permite administrar la cancha disponible para las actividades de una forma más eficiente. Sería lógico pensar que mientras mas cancha tenga una actividad mejor será su rendimiento semanal, y mayor productividad tendrá debido a la liberación de restricciones asociadas, sin embargo generar cancha en forma descontrolada sin lugar a duda significará pérdidas para la empresa constructora.

2.2.3 Ábacos de Estimación

Para facilitar la tabulación y el procesamiento de los datos recogidos en terreno se desarrolló en GEPUC un software llamado *Rational Commitment Model*, RCM, el cual con la información recopilada estima avances y genera gráficos con los que se puede monitorear el comportamiento de la estimación del modelo v/s el comportamiento a la estimación basada en la intuición.

La generación de funciones del MCR va estrechamente ligada al uso de los Ábacos de Estimación que propone Bustamante, los cuales se usan para predecir la cantidad de Hombres Semana que se ocuparán en una semana, dado un avance programado, un nivel de cancha disponible y un Índice de Confiabilidad de la actividad. El modelo asume que el avance se puede predecir como una función lineal de la siguiente forma:

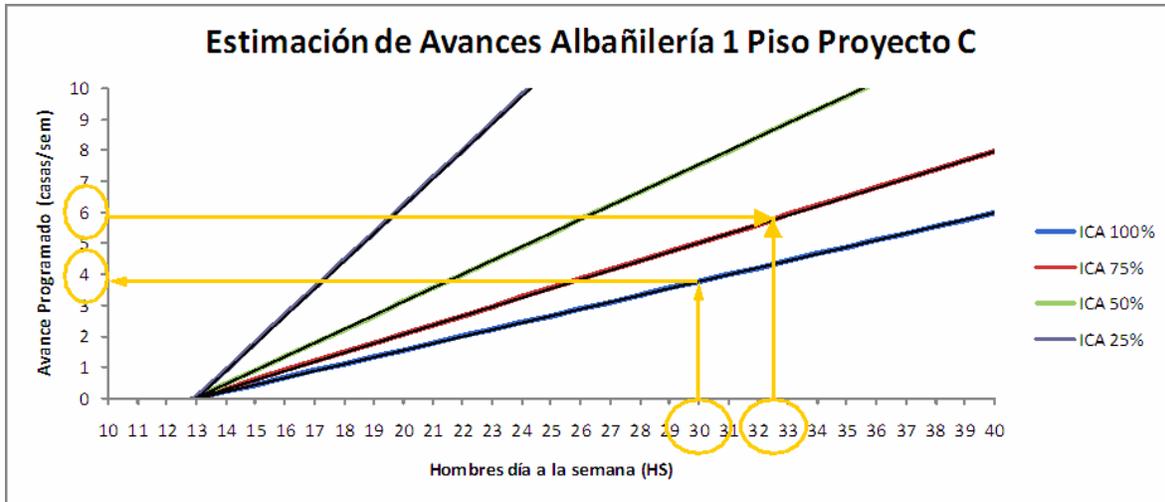
$$\text{Avance Real} = \beta_1 * \text{Hombres Semana} + \beta_2 * \text{Cancha} + \beta_3 * \text{Avance Programado} + \gamma \quad (2)$$

Luego de las ecuaciones (1) y de (2) se obtiene una relación entre el avance programado, la cancha, la cantidad de hombres semana y el nivel de confiabilidad que se tiene de la actividad estudiada:

$$\text{Avance Programado} = \frac{\beta_0 + \beta_1 * HS + \beta_2 * Cancha}{ICA - \beta_3} \quad (3)$$

De esta forma se generan gráficos como el de la figura 3.1. Por ejemplo, si para una semana se necesita programar 6 casas de albañilería, la cantidad de hombres necesarios es de 32 a 33 hombres semana el porcentaje de actividades cumplidas será de un 75 %. Por otro lado se puede estimar que con 30 hombres semana se puede completar la albañilería de 4 casas con un ICA del 100%.

Figura 2.3



Ejemplo uso de Ábacos de Estimación

Los coeficientes β_1 , β_2 , β_3 y β_4 se obtienen del programa RCM. En los anexos se incluye un manual diseñado para las oficinas técnicas de los distintos proyectos en estudio.

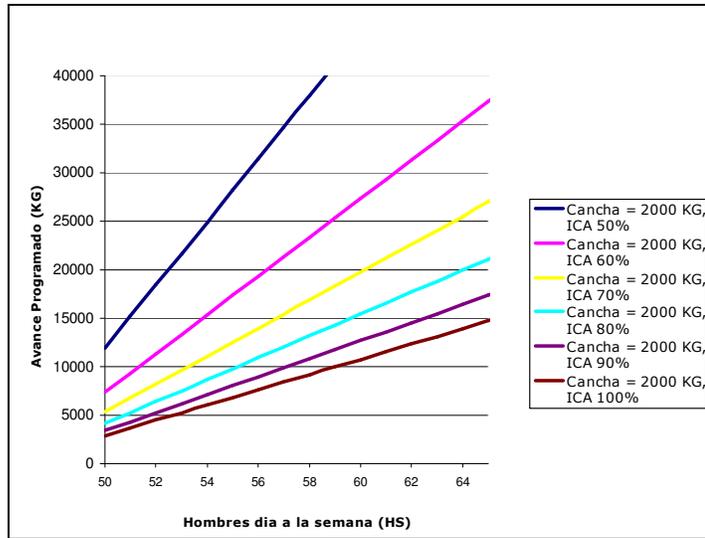
2.2.3.1 Aplicación en las Reuniones

Insertar un nuevo punto en la apretada estructura de una reunión de planificación, significa un gran esfuerzo por parte de su coordinador en lo que se refiere a sintetizar la información que pretende exponer. De este modo, presentar observaciones acerca de los datos recolectados y señalar las estimaciones que de estos se obtienen, debe ser de una manera lo mas sencilla y rápida posible. Aplicar esta herramienta de estimación de los avances semanales, debería ser de la misma manera.

Considerando estos requerimientos, el uso de los ábacos de estimación en la reunión se propuso de la siguiente manera:

- Antes de la reunión semanal, cuantificar el valor de la cancha que al instante se posee. De esta forma la cantidad de rectas en los ábacos disminuye considerablemente al fijar la cancha (Figura 2.5).

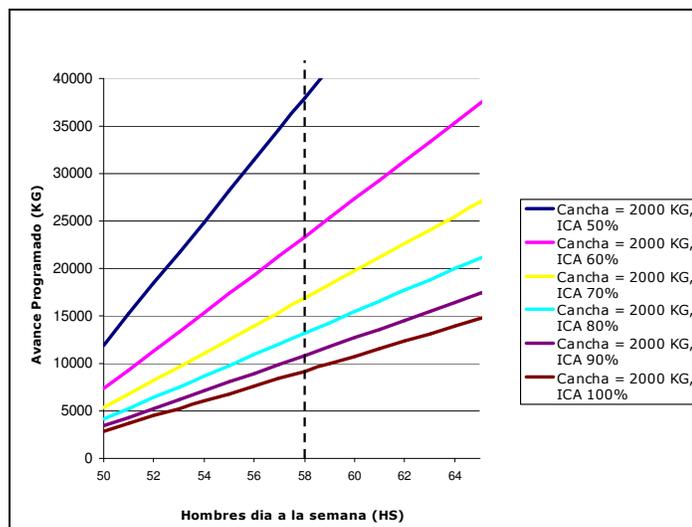
Figura 2.4



Ábacos de Estimación con Cancha fija.

- Al comienzo de la reunión presentarse con los nuevos ábacos de estimación resumidos y consultar el número de hombres-día con el que se piensa trabajar en la semana entrante. Trazar una vertical en este valor (Figura 2.6)

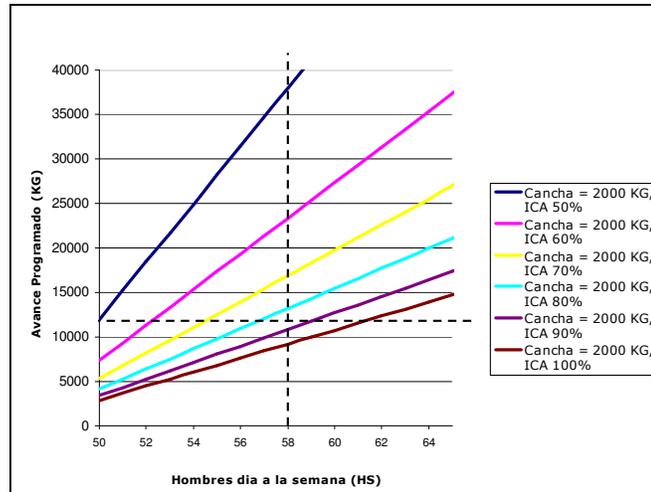
Figura 2.5



Cantidad de Hombres Planificados

- Durante la reunión cuantificar las actividades que se van comprometiendo en el avance programado. Este valor debe materializarse en el ábaco de la misma forma que la cantidad de Hombres-semana pero con una recta horizontal que cruce por el valor de Avance comprometido o programado (Figura 2.7).

Figura 2.6



Intersección Rectas para estimar Avance

- La intersección de las dos rectas dibujadas indica el nivel de cumplimiento que tendrá la actividad. En el ejemplo, el nivel de cumplimiento se estima entre el 80% y el 90%, dado que el punto de intersección se encuentra entre las rectas de estimación correspondiente al 80% y 90%.

Frente a estos gráficos los niveles de cumplimiento estimados se dividen en 2 grupos: $ICA < 100\%$ e $ICA \geq 100\%$.

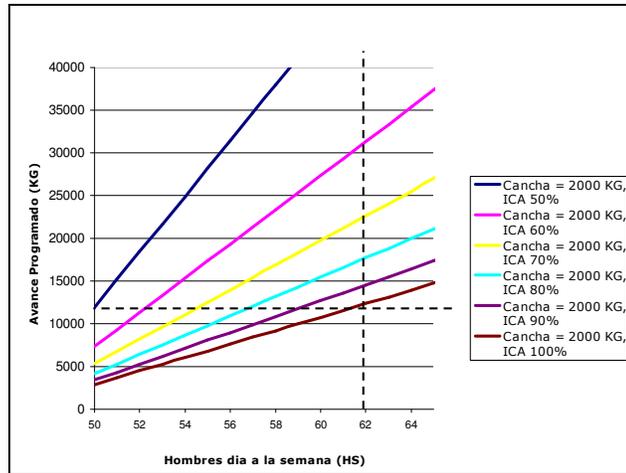
ICA < 100%

Como ya se comentó, frente a esta situación, se debe entender que existe una necesidad de mejoramiento, lo cual se puede mostrar mediante las tres situaciones hipotéticas en las cuales se alcanza el 100% de cumplimiento de una actividad: a) El aumento de Hombres-Semana, b) Mayor cantidad de cancha disponible y c) Programación más adecuada a las realidades de la obra. Los siguientes gráficos basados en el ejemplo de la figura 2.5, indican cómo serían las situaciones hipotéticas:

- a) 100% de cumplimiento estimado aumentando Hombres-Semana

En la figura 2.8 la recta punteada vertical que originalmente estaba en 58 Hombres-Semana, se trasladó a 62 aumentando el avance que se puede programar alcanzando un 100% de cumplimiento en los compromisos.

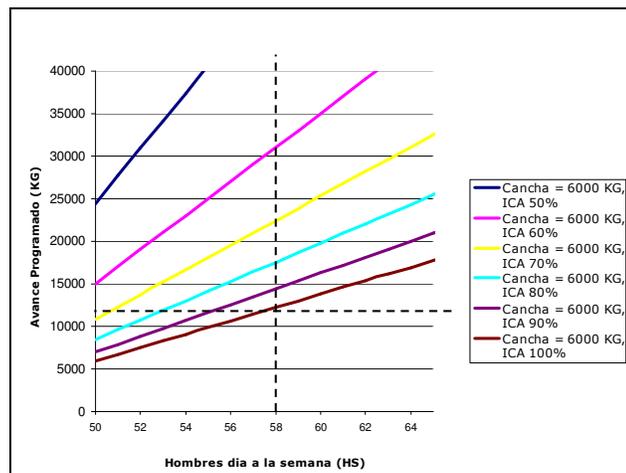
Figura 2.7



Aumento de HS

b) 100% de cumplimiento estimado aumentando la Cancha Disponible

Figura 2.8



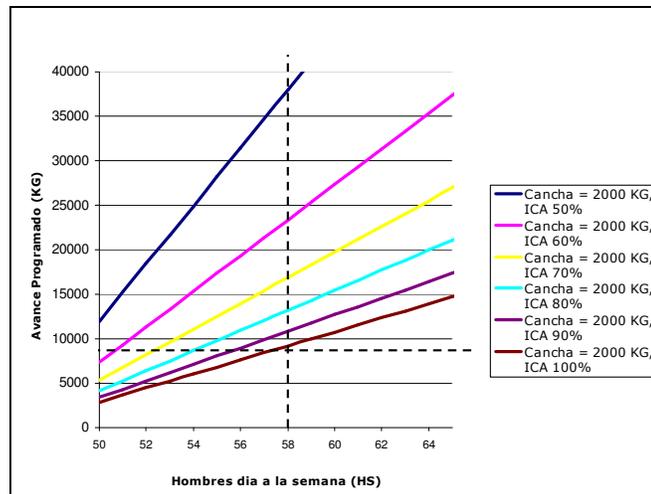
Aumento de Cancha

En este gráfico las rectas punteadas no cambian de lugar, si no que las funciones de estimación (rectas de colores) cambian sus pendientes, lo que se traduce en una mejor liberación de restricciones de campo al iniciar una semana y en un avance mayor.

c) 100% de cumplimiento estimado disminuyendo el Avance Programado

En la figura 2.10 la línea punteada horizontal se desplaza hacia abajo, reduciendo el nivel de compromisos para programar según las realidades de la obra.

Figura 2.9



Disminución del Avance Comprometido

ICA \geq 100%

En esta otra situación se entiende que existe una oportunidad de mejoramiento. Esto se traduce o en una mayor optimización de la mano de obra, o en un mayor avance comprometido.

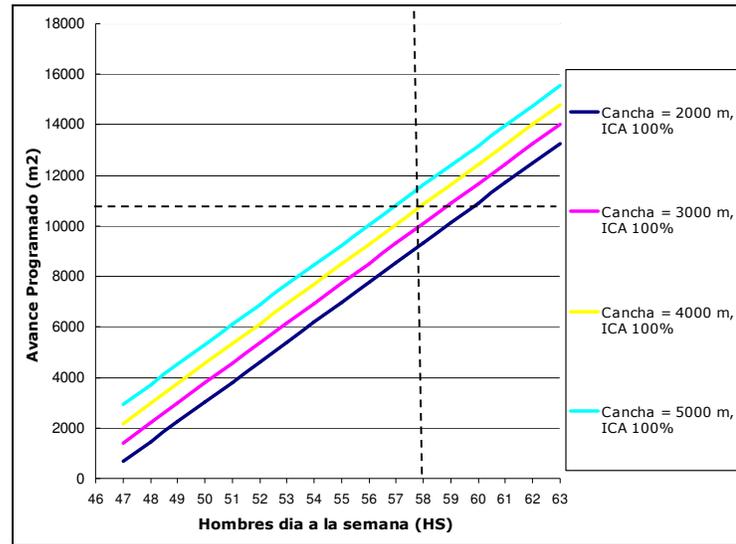
2.2.3.2 Administración de la Cancha

Otra aplicación que tienen los ábacos de estimación, es en la administración de cancha en un horizonte de tiempo mayor (2 a 3 semanas). La importancia de una adecuada administración de cancha en una obra de construcción radica en la reducción de costos y el incremento de la productividad de la mano de obra (González, 2008).

Con un determinado avance programado y un número de Hombres-Semana determinado se puede establecer cuál es la cantidad de cancha óptima que se debería preparar para un actividad e informar a la oficina técnica acerca de la liberación de restricciones correspondiente para que se alcancen los niveles deseados.

Por ejemplo en la figura 2.10, con un valor de 58 HS, y aproximadamente 11.000 m² programados, con una cancha de 4000 m, debiera cumplirse un 100% del compromiso. En otras palabras la oficina técnica de la obra debería arrastrar los recursos necesarios para dejar disponibles 4000 m de cancha al inicio de la semana, para lograr un avance de 11.000 m² al finalizar la semana.

Figura 2.10



Cancha Óptima

Para diseñar este tipo de gráfico se establece un determinado porcentaje de cumplimiento deseado (ICA) y se varía la cancha (C) en la fórmula:

$$AP = \left(\frac{\beta_1}{ICA_{est} - \beta_3} \right) \cdot HS + \left(\frac{\beta_2 C + \beta_0}{ICA_{est} - \beta_3} \right) \quad (4)$$

2.2.4 Supuestos en la implementación del Modelo

- Suele suceder que ciertas cuadrillas dividen su trabajo en distintas actividades que dentro del contexto son absolutamente distintas. Por ejemplo en el caso de construcciones de casas de albañilería armada, para la cuadrilla de enfierradores, la actividad de instalar las barras de acero verticales en el interior de los ladrillos, los tensores, no significa mucha demanda de recursos (tiempo u hombres día). Por otro lado la armadura e instalación de cadenas y vigas si involucra un gran gasto de recursos. Estudiar las actividades por separado resulta ser poco practicable ya que se debería separar también la cantidad de hombres ocupados en cada actividad, y ese nivel de detalle no se posee en ninguna

construcción. Luego, para este estudio se agruparon los kilos de fierro de todas las actividades y se suman como si fueran la misma. Esto significa igualar rendimientos de actividades que no tienen por que ser los mismos.

- Los datos que semanalmente se toman con respecto a la cancha, es el dato instantáneo que se toma el día cuando se inicia la semana, en el resto de la semana no se registra ninguna otra información al respecto. Si las condiciones de la obra permiten que la liberación de restricciones sea rápida y con ésto la generación de cancha sea la apropiada todas las semanas, ésto se reflejará en las predicciones que genere el modelo. Si en una semana la liberación de cancha no sigue el mismo comportamiento que las semanas anteriores, el modelo no asimilará esto, y predecirá avances considerando las mismas características que tuvo la obra en las semanas anteriores y la cancha instantánea medida.
- La rotación de mano de obra en una obra de construcción es un fenómeno muy común que es importante tomar en cuenta. Ya que cuando el modelo predice, no considera que personas están trabajando sino cuantas, por lo tanto al momento de predecir el comportamiento de una cuadrilla en una semana considerará que los hombres trabajarán con la misma tasa que las semanas anteriores. Este es un supuesto mucho mas generalizado en el mundo de la construcción pero que todos modos vale la pena nombrar.

CAPÍTULO TRES: CASO 1-GALPÓN DE ACERO

3.1 Descripción del Proyecto

La empresa constructora a cargo de este proyecto, se dedica principalmente a la construcción en el área habitacional y el área industrial. En esta última área ha desarrollado más de 90 industrias lo que equivale a más de 400 mil metros cuadrados construidos. El galpón que fue estudiado se ubica en la periferia de la ciudad de Santiago, y su función será la distribución de acero. La empresa constructora trabaja hace más de 5 años con GEPUC incorporando diversas herramientas para mejorar su sistema de gestión.

La investigación en este proyecto comenzó en el momento de las terminaciones del galpón y consistió solo en visitas periódicas a las reuniones de planificación semanales. En la obra se utilizaba el Sistema del Último Planificador y en forma piloto el Modelo de Compromisos Racionales. La idea era observar de qué manera se había implementado el SUP y que características tenía la reunión de planificación.

La reunión se desarrollaba los lunes de cada semana con la presencia de la jefa de oficina técnica, el jefe de obra, supervisores de distintos subcontratos y el encargado de bodega. Los encargados de subcontratos o cuadrillas que participaban de la reunión debían llegar a esta con una clara noción del rendimiento promedio de su cuadrilla, causas de no cumplimiento de los compromisos adoptados la semana anterior y propuestas para los posibles avances para la semana entrante. El primer punto de esta reunión, dirigida por la jefa técnica, era la revisión del valor del PAC de la semana anterior, luego se analizaban las causas de no cumplimiento de las actividades no finalizadas. Finalmente se revisaba la planificación de la semana entrante revisando la factibilidad de las actividades programadas. La programación de las actividades podía ser cancelada si la capacidad del subcontrato asociado no se consideraba apropiada para la tarea o si las restricciones no habían sido liberadas.

En una etapa anterior al inicio de este estudio, a la jefa de oficina técnica se le había explicado el sistema de toma de datos del modelo de compromisos racionales y semana a semana registraba la cantidad de hombres semana, la cancha, el avance programado y el avance real de algunas actividades seleccionadas que se consideraban críticas en la planificación. Con estos datos utilizaba la predicción del programa RCM para predecir el avance que se obtendría y ocupaba esto informalmente al momento de discutir los compromisos que se

establecían en la reunión. Las actividades que se seleccionaron para estudiar son Desarme de Estructuras Metálicas, Pinturas y Montaje de Cubiertas y Revestimientos. Sin embargo no se contaba con un adecuado dominio del SUP ni con un conocimiento teórico del MCR, por lo que una implementación que se ajustara a los supuestos de este modelo y metas del sistema era muy difícil de alcanzar. Razones como esta dieron origen a la incorporación de personas que pudieran llevar a cabo este estudio. Tal como se explicó anteriormente la idea de las visitas a esta obra era conocer el proceso de implementación del SUP en terreno e idear una metodología de incorporación del MCR.

Ciertos problemas relacionados con la productividad de las cuadrillas generaron inquietud en la oficina técnica: cada semana existía una actividad que se tornaba crítica pues retrasaba la ejecución de actividades posteriores ya que no liberaba restricciones al no generar la cancha apropiada. Esto ponía de manifiesto la falta de un inventario de trabajos ejecutables al cual recurrir. Por lo tanto los compromisos que adoptaran los últimos planificadores de las actividades críticas eran cruciales para el buen funcionamiento de la planificación semanal.

También asociado a la no liberación de restricciones ciertos subcontratos se vieron enfrentados a semanas en las que no tenían la suficiente mano de obra como para completar los avances programados. Es preciso comentar que la capacidad que pudiera alcanzar una cuadrilla era estimada por los capataces respectivos, los que cuales se apoyaban sólo en la experiencia que poseían. No existía ninguna herramienta analítica concreta con la que se pudiera estimar un avance de acuerdo a la situación actual de la obra. Los datos registrados por la oficina técnica de la obra se muestran a continuación en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3.

Tabla 3.1

Semana	Hombres Semana	Cancha	Avance Programado	Avance Real	Avance Estimado	ICA Observado	ICA Estimado
1	27	355.8	355.8	355.8		100.00%	
2	28	284.6	213.5	213.5		100.00%	
3	25	597.4	597.4	416.7	597.4	69.75%	100.00%
4	25	414	414	397.6	341.21	96.04%	82.42%
5	28	1023.2	511.6	173.9	240.21	33.99%	46.95%
6	25	849.06	415.6	348.2	385.02	83.78%	92.64%
7	27	500.1	500.1	356.1	109.24	71.21%	21.84%
8	15	144.8	144.8	126.41	456.32	87.30%	100.00%
9	17	312.63	312.63	291.96	292.69	93.39%	93.62%
10	10	156	156	156	186.35	100.00%	100.00%

Resumen de Datos Desarme Estructuras Metálicas

Tabla 3.2

Semana	Hombres Semana	Cancha	Avance Programado	Avance Real	Avance Estimado	ICA Observado	ICA Estimado
1	34	1553.39	1553.39	1553.39		100.00%	
2	28	319.14	319.14	319.14		100.00%	
3	26	442.8	442.8	309.8	442.8	69.96%	100.00%
4	20	132.84	132.84	132.84	58.25	100.00%	43.85%
5	20	1224	1224	867	1206.02	70.83%	98.53%
6	22	1199.22	1199.22	927.52	1159.54	77.34%	96.69%
7	24	1211.44	1211.44	987.44	1168.86	81.51%	96.49%
8	21	414.98	414.98	361.03	332.31	87.00%	80.08%
9	16	196.75	196.75	196.75	199.1	100.00%	100.00%
10	0	54.6	54.6	0	38.84	0.00%	71.13%
11	38	690.96	495.96	443.76	711.02	89.48%	100.00%
12	25	3681.65	3213.05	1931.79	2565.96	60.12%	79.86%
13		1749.86	1502.66		847.18		56.38%

Resumen de Datos Montaje de Cubiertas y Revestimientos

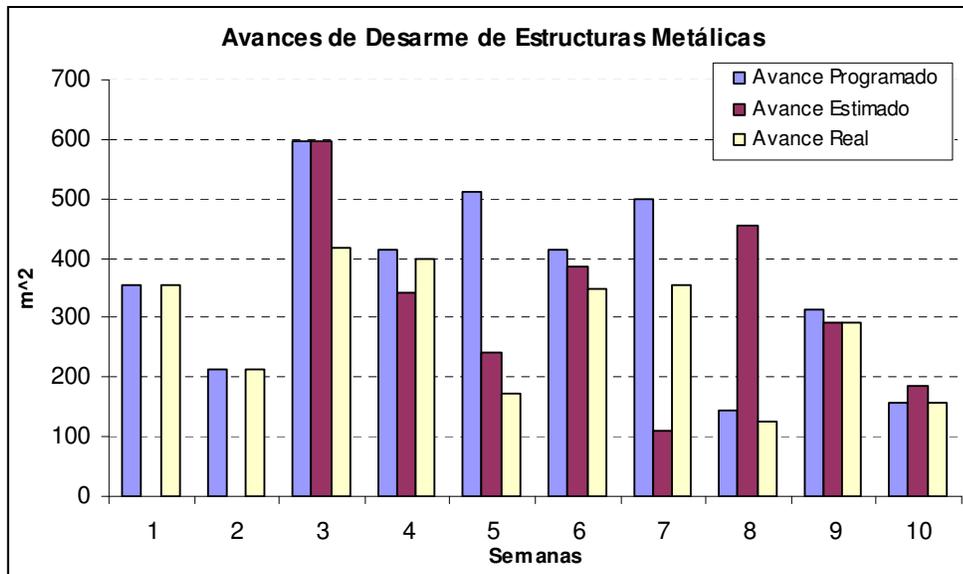
Tabla 3.3

Semana	Hombres Semana	Cancha	Avance Programado	Avance Real	Avance Estimado	ICA Observado	ICA Estimado
2	5	59.65	44.74	40.28		90.03%	
3	5	60.61	42.43	42.43	40.48	100.00%	95.41%
4	5	73.08	73.08	57.06	44.83	78.08%	61.34%
5	10	96.03	96.03	69.93	78.97	60.25%	68.04%
6	5	60.03	60.03	60.03	46.77	100.00%	77.92%
7	5	83.52	68.66	77.67	68.66	93.00%	82.21%
8	9	218.05	218.05	218.05	196.98	100.00%	90.34%
9	13	207.17	207.17	191.27	174.91	92.33%	84.43%
10	16	298.01	192.22	192.22	223.35	100.00%	100.00%
11		504.3	483.29		481.43		99.62%

Resumen de Datos Pintura

Las estimaciones fueron desarrolladas por el programa RCM. Las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 ilustran el comportamiento de las estimaciones a lo largo del estudio.

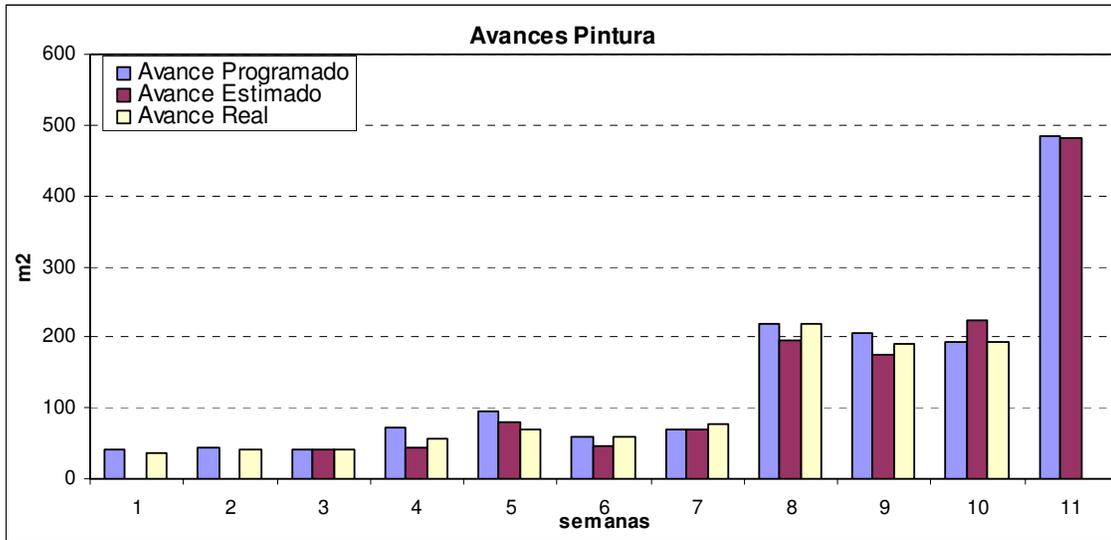
Figura 3.1



Avances Desarme de Estructuras Metálicas

En el gráfico de la figura 3.1, en la tercera semana se observa un caso particular, la tendencia decía que el avance programado era aproximadamente lo mismo que el avance real, además la cancha esta semana era relativamente mayor que las dos semanas anteriores por lo que se esperaba un mayor avance. Finalmente no fue así debido a que las condiciones climáticas impidieron que esta actividad se desarrollara. Este dato que se aleja del comportamiento habitual de la cuadrilla influyó negativamente sobre la estimación en la semana 4, en la cual se subestimó la capacidad. En las semanas 7 y 8 se utilizaron las funciones de estimación que involucran la cancha y los hombres-semana, dejando de lado la influencia del avance programado, lo que perjudicó notoriamente las estimaciones. Queda claro observando el gráfico esas semanas, que cuando subía el avance programado el avance real también subía y cuando bajaba el avance programado el real también lo hacía.

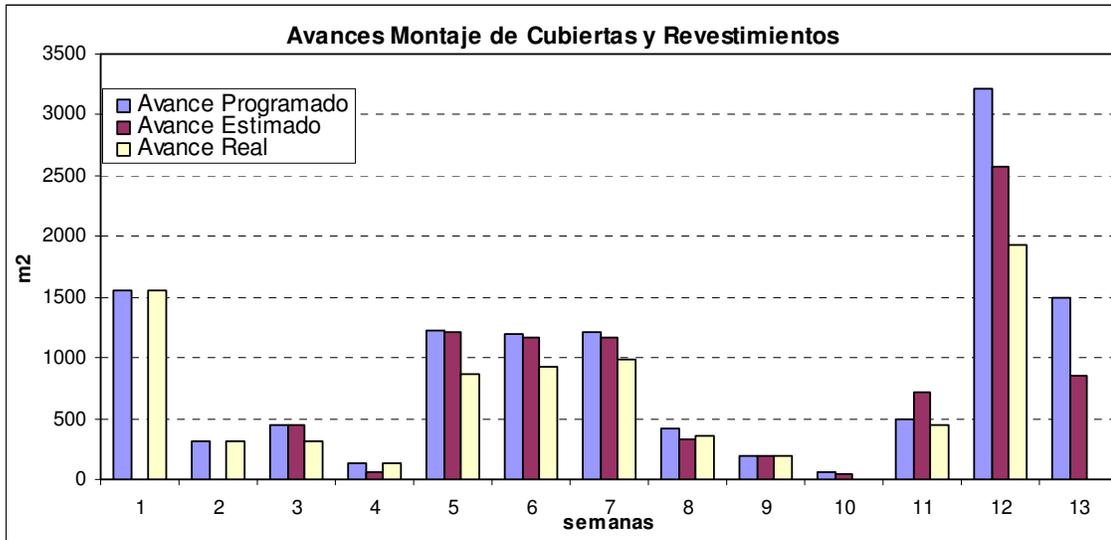
Figura 3.2



Avances Pintura

La característica regular de la actividad de pintura queda clara al observar el gráfico de la figura 3.2, pues se realizaron buenas estimaciones sin ningún problema a lo largo del período de investigación. El análisis del error arroja un error promedio de las estimaciones de un 13.3% contra un 10.96% promedio de error de las programaciones. Esto revela un buen manejo de los rendimientos de los pintores por parte de los planificadores, lo que en este caso era la única variable crítica pues durante el estudio esta cuadrilla nunca tuvo problemas de cancha.

Figura 3.3



Avances Montaje de Cubiertas y Revestimientos

En esta actividad, salvo por la semana 11, las estimaciones estuvieron siempre más cerca del avance real que las programaciones hechas en la reunión semanal. Por lo general las programaciones sobrestimaron la capacidad de la cuadrilla, esto se debió a que las funciones de estimación usadas incluían la influencia de los hombres-semana, variable que tuvo una muy baja correlación con el avance real ($R^2 = 0.091$).

CAPÍTULO CUATRO: CASO 2-EDIFICIO I

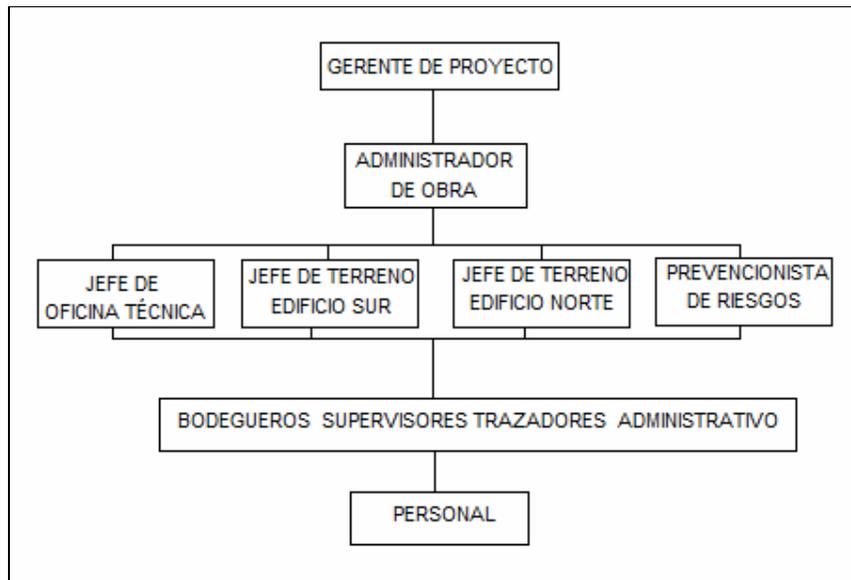
4.1 Descripción del Proyecto

La empresa mandante en este proyecto es una empresa constructora que se ha desarrollado fuertemente en el rubro de la edificación con especial acento en el mercado hospitalario, alcanzando en los últimos años más de 35.000 metros cuadrados construidos (www.ldconstructora.cl). También participa hace algunos años en programas de innovación y mejoramiento de la planificación organizacional de sus proyectos, a cargo de GEPUC.

El proyecto consiste en la construcción de un edificio de hormigón armado de 6 pisos y 4 subterráneos. El período de construcción se estimó en 15 meses. Por la magnitud del proyecto, el plan maestro se dividió en tres programas fases que se desarrollarían en paralelo: La mitad sur del edificio (Edificio Sur), la mitad norte del edificio (Edificio Norte) y los accesos subterráneos (Figura 4.2). Para efectos de este estudio solo se consideraron las dos primeras zonas nombradas.

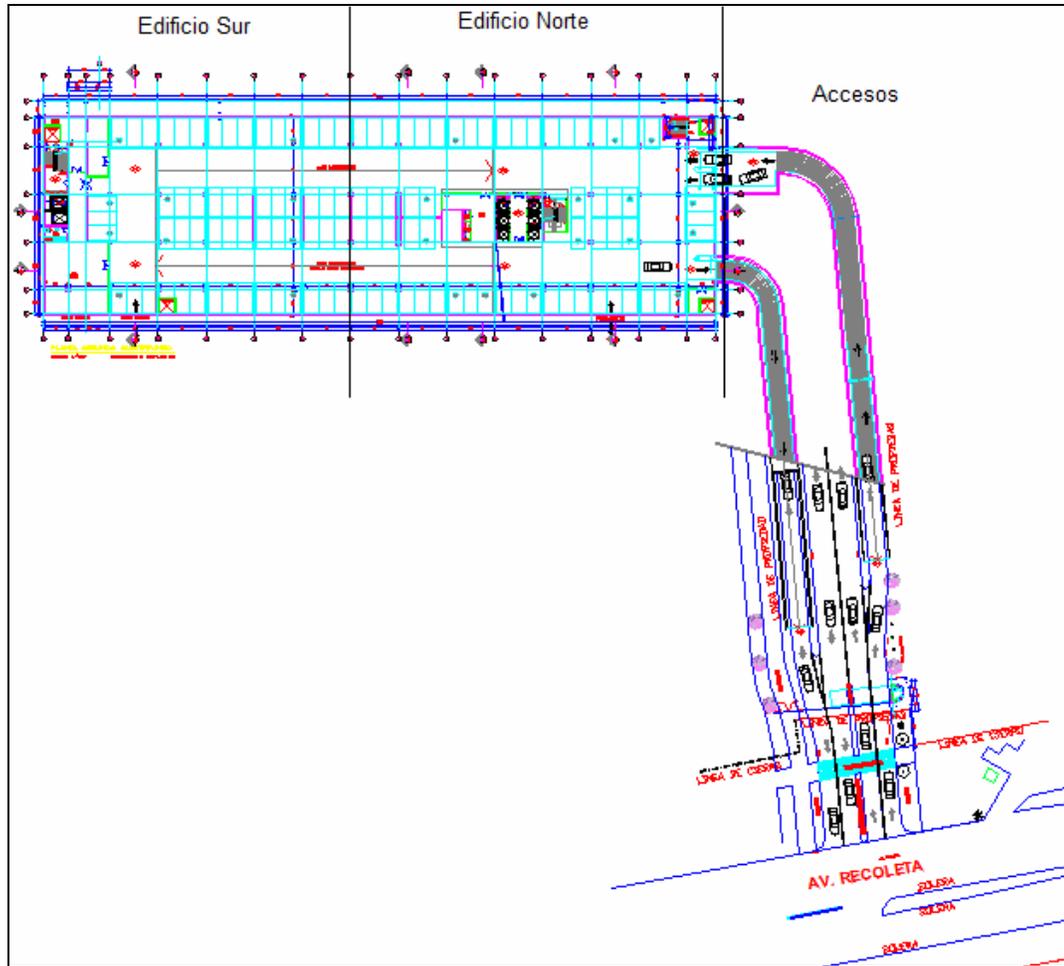
El organigrama dentro de la obra fue diseñado de la siguiente forma:

Figura 4.1



Organigrama Obra Edificio I

Figura 4.2



Plano General Obra Edificio I

4.2 Implementación del Modelo

El estudio del proyecto se inició con visitas periódicas a las reuniones de planificación semanales que se realizaban los días martes para cada fase por separado, a las cuales asistían los jefes de obra respectivos, un representante de la oficina técnica, supervisores de los distintos subcontratos, y el administrador de la obra. Estas reuniones dirigidas por el representante de la oficina técnica, consistían en: la evaluación del PAC de la semana anterior, el análisis de las causas de no cumplimiento, realizándose además un análisis de las restricciones, se formulaba el plan de trabajo de la semana entrante y finalmente se discutían problemas relacionados con la seguridad dentro de la obra. Para estudiar la planificación semanal el jefe de obra respectivo presentaba en la reunión un programa tentativo (figura 4.3). En conjunto, se analizaba la factibilidad de esta planificación de acuerdo a la capacidad de las cuadrillas y/o la cancha con la que se contaba, y se agregaban o sacaban actividades de

acuerdo a la situación en terreno. Esta planificación tentativa incluía también las duraciones aproximadas de cada actividad y en base a esta duración la oficina técnica planificaba un número aproximado de hombres-día necesaria según datos históricos de la empresa. La planificación semanal finalmente establecía qué actividades se realizarían y en qué días se realizarían, en base a los compromisos adoptados.

Figura 4.3

PLANIFICACION SEMANAL EDIF I_2			14	Cubicacion por elemento	Avance Comprometido	Avance Alcanzado	OCTUBRE										
JEFE DE TERRENO: ROBERTO MARDONES R							MA	MI	JU	VI	SA	DO	LU				
Nº	Actividad Semanal	Elemento	14	15	16	17	18	19	20								
OBRA GRUESA SECTOR NORTE																	
FUNDACIONES																	
MUROS																	
1	Enfierradura Viga Envebida	44	MARCOS LECAROS	401	100%												
2	Moldaje Muro	50	HC	48	100%												
3	Hormigon Muro	50	MARCOS LECAROS	8,4	100%												
4	Moldaje Muro	51	HC	48	70%												
5	Hormigon Muro	51	MARCOS LECAROS	8,4	70%												
6	Enfierradura Muro	2	EM	4300	100%												
7	Moldaje Muro	2	HC	88	100%												
8	Hormigon Muro	2	MARCOS LECAROS	19,8	100%												
9	Moldaje Muro	12	HC	63	100%												
10	Hormigon Muro	12	MARCOS LECAROS	7,8	100%												
11	Moldaje Base	15	MARCOS LECAROS		100%												
12	Moldaje Muro	15	HC	17	100%												
13	Hormigon Muro	15	MARCOS LECAROS	3,4	100%												
14	Moldaje Base	8	HC		100%												
15	Moldaje Muro	8	HC	41	100%												
16	Hormigon Muro	8	MARCOS LECAROS	7,6	100%												
17	Impermeabilización Muros	47-48-49-50	ESSYS		100%												
37	Enfierradura VF	EJE i1	EM		100%												

Planificación tentativa

En forma paralela a estas reuniones de planificación semanal se desarrollaba una reunión de análisis de restricciones cada 15 días, en las cuales se trabajaba con un calendario de actividades y se reconocían las restricciones de las actividades que se encontraban en un horizonte de 4 semanas a contar del día de la planificación.

Cuando ya se tuvo conocimiento de las principales actividades del proyecto se procedió a elegir algunas tareas para comenzar a tomar datos destinados a adquirir conocimiento de los problemas eventuales y para acostumbrar a la oficina técnica a la forma de trabajo. Dado que al momento de comenzar la implementación la obra se encontraba en obra gruesa, las actividades escogidas y sus respectivas unidades de medición fueron:

- Moldaje Edificio Sur [m²]
- Moldaje Edificio Norte [m²]
- Enfierradura Edificio Sur [kg]

- Enfierradura Edificio Norte [kg]

Originalmente también se había considerado registrar la actividad hormigonado en la investigación del MCR, sin embargo debido a la característica poco homogénea de esta actividad a lo largo de la semana no se incorporó.

Las reuniones semanales de planificación se realizaban los martes de cada semana, por lo tanto para efectos de estudio de productividad, la semana comenzaba ese día. Los datos se tomaban de la siguiente forma:

- Cada día martes antes de la reunión de planificación semanal, se recogía la **cancha** disponible y la **cantidad de hombres-semana programado** para la semana, por medio de la información que otorgaba el capataz a cargo de cada actividad.
- La oficina técnica proporcionaba el **avance semanal** y la **cantidad de hombres-semana real** de la semana anterior, por medio del estudio de control de producción que poseían.
- Finalmente el jefe de obra proporcionaba el **avance programado** que propondría en la reunión y esta se cubicaba para poder ingresar valores al modelo.

En base a estos datos se formulaban recomendaciones para la reunión, con respecto a la cantidad de actividades programadas o al número de hombres con los que se contaría.

Para cuantificar los datos que se debían ingresar semana a semana referentes a los metros cuadrados de cancha, avance programado y avance real de moldaje, y kilogramos de cancha, avance programado y avance real de enfierradura, se usó un sistema de numeración de cada elemento por separado. Por cada piso, a cada viga de fundación, a cada columna, a cada muro, o a cada losa se le asigna un registro. En base a este registro existía en la oficina técnica una planilla de cubicación de moldaje, enfierradura y hormigón para cada elemento (Figura 4.4).

Figura 4.4

Edificio	Piso	N° Elemento	Plano	Tipo Elemento	Total Moldaje	Total Hormigón	Total Fierro
I1	-2	3	Losa Cielo, Vigas Invertidas y Eleva	M	31,5	4,7	614
I1	-2	4	Losa Cielo, Vigas Invertidas y Eleva	MP	34,9	8,7	1440
I1	-2	5	Losa Cielo, Vigas Invertidas y Eleva	M	36,0	4,5	585
I1	-2	6	Losa Cielo, Vigas Invertidas y Eleva	MP	16,0	4,0	660
I1	-2	7	Losa Cielo, Vigas Invertidas y Eleva	M	36,0	4,5	585
I1	-2	8	Losa Cielo, Vigas Invertidas y Eleva	MP	34,9	8,7	1439
I1	-2	9	Losa Cielo, Vigas Invertidas y Eleva	M	36,0	4,5	585
I1	-2	10	Losa Cielo, Vigas Invertidas y Eleva	MP	16,0	4,0	660
I1	-2	11	Losa Cielo, Vigas Invertidas y Eleva	MP	36,0	4,5	743

Planilla de Cubicación

Cuando se almacenó un número de registros considerable se prepararon semana a semana informes de avance para la oficina técnica que a grandes rasgos monitoreaban el comportamiento de las actividades. Dentro de estos informes se incluían:

- Gráfico Control de Producción Acumulada (figura 4.5)
- Gráfico Control de Producción por Semana (figura 4.6)
- Gráfico Producción v/s Hombres-Semana (figura 4.7)
- Gráfico Producción v/s Cancha (figura 4.8)
- Gráficos de Avance (Estimado, Programado y Real) (figura 4.9)
- Ábacos del Modelo de Compromisos Racionales. (figura 4.12)

Figura 4.5

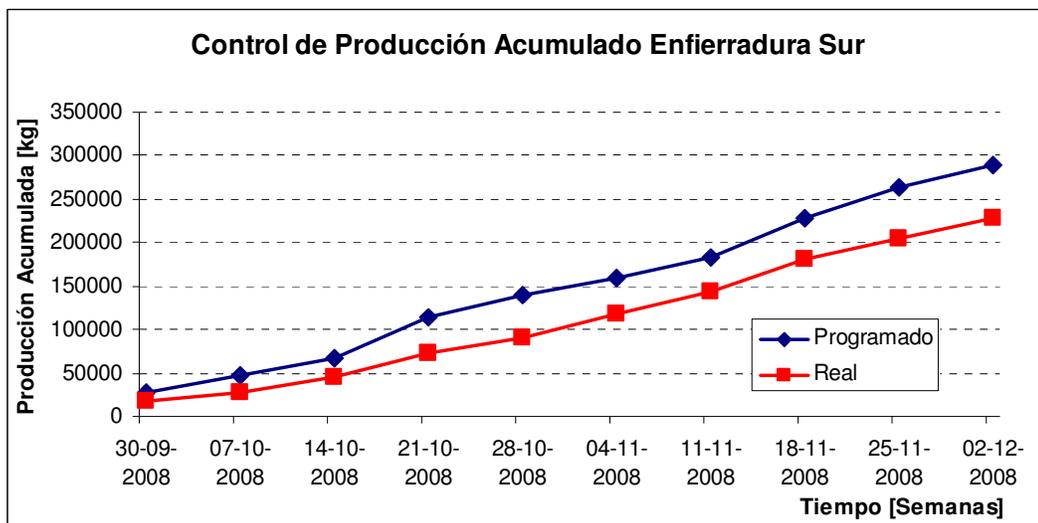


Gráfico Control de Producción Acumulada

Figura 4.6

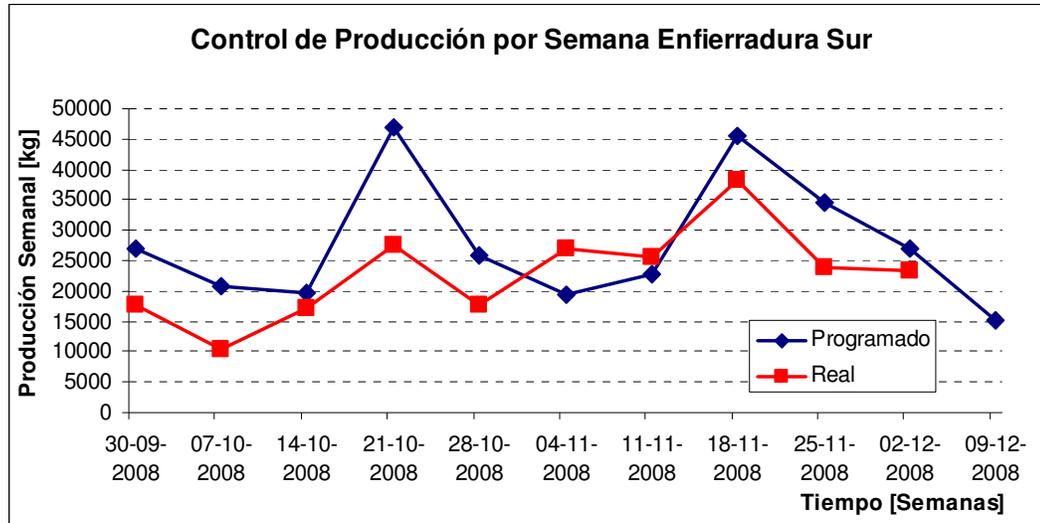


Gráfico Control de Producción por Semana

Por un lado el gráfico de producción acumulada se incluía para mostrar la evolución general de la actividad en el proyecto y poder contrastar esta información con el plan maestro, mientras que el de producción por semana se incluye para ilustrar la evolución de la precisión de la planificación realizada por la reunión semanal.

Figura 4.7

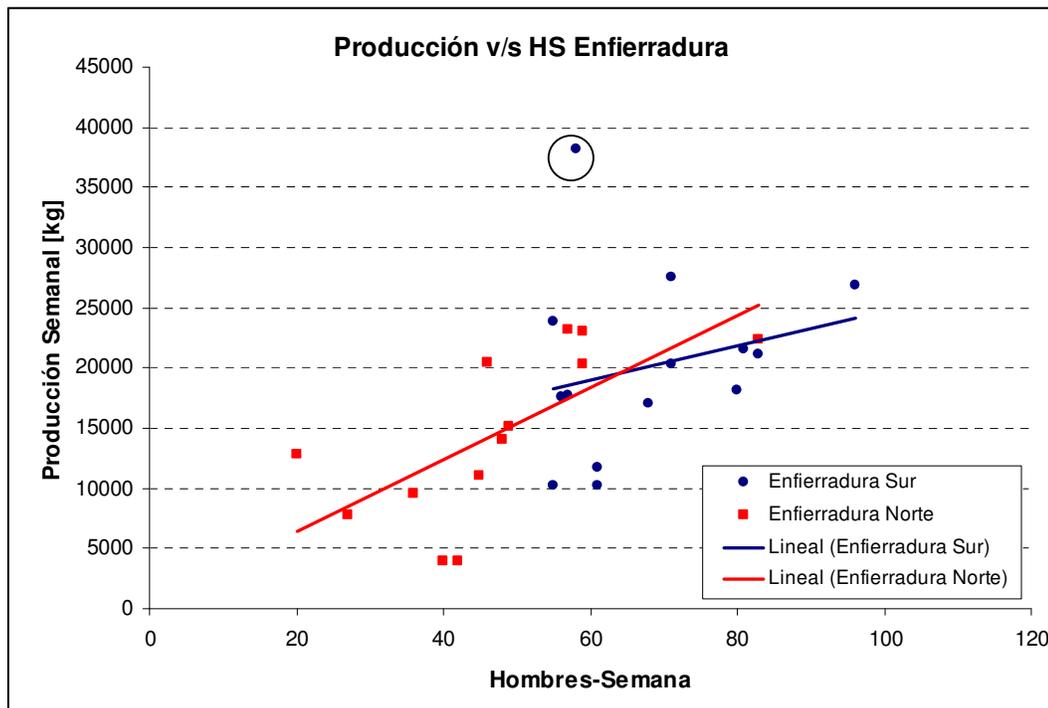


Gráfico Producción v/s Hombres-Semana

Figura 4.8

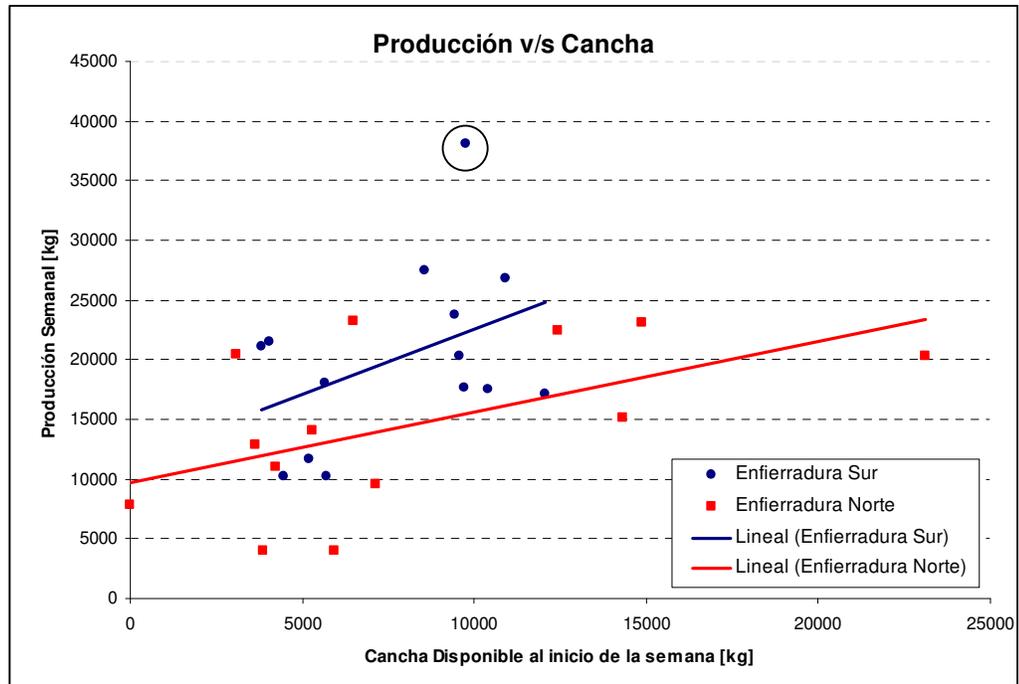
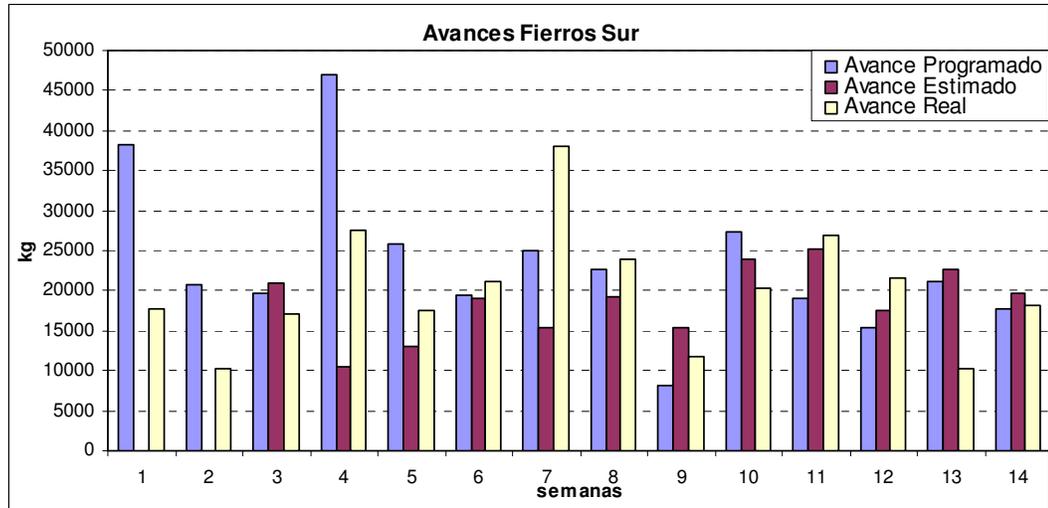


Gráfico Producción v/s Cancha

Cada semana se registraban los gráficos que aparecen en las figuras 4.7 y 4.8, Producción Semanal v/s Hombres-Semana y Producción Semanal v/s Cancha, esto para identificar si habían semanas en las que no se siguiera un comportamiento lineal como el modelo lo supone. La semana en que se alcanzaron casi 37 toneladas de acero, por ejemplo, no sigue el patrón general, por esta razón fue eliminada del registro general del software para que no influyera en las futuras estimaciones.

Figura 4.9



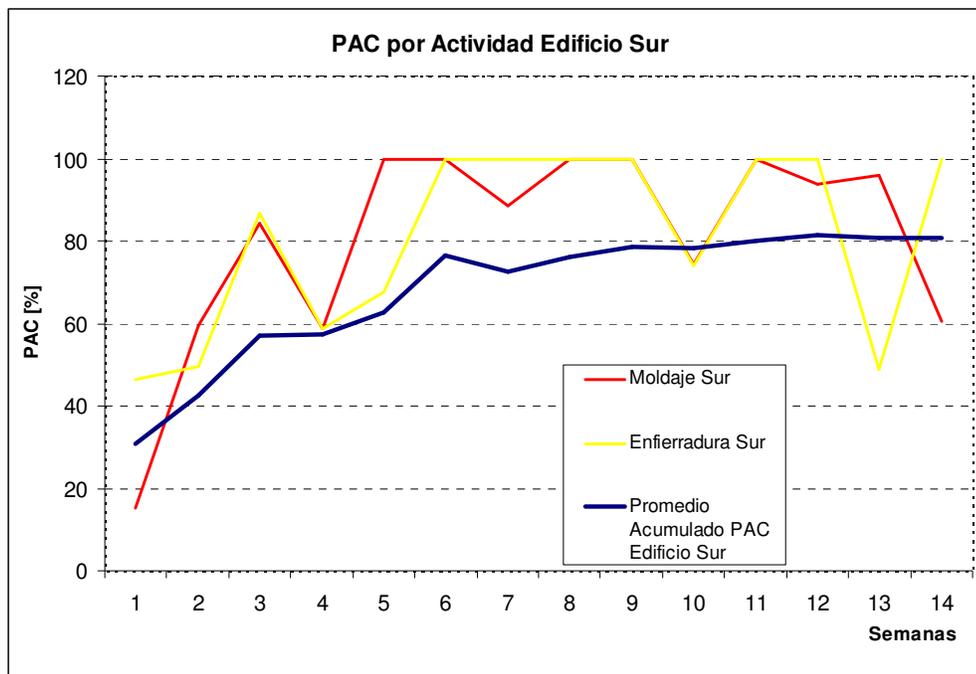
Gráficos de Avance

En la figura 4.9 se muestra el gráfico que genera el software RCM, y que confronta el avance programado con el avance estimado por el software y el avance real. A medida que se avanzaba en el tiempo se pueden observar acercamientos entre los tres avances debido a varias razones. 1) el proceso de aprendizaje de la metodología del MCR semana a semana. 2) el aprendizaje de los últimos planificadores de la capacidad de sus cuadrillas y las condiciones de la obra. 3) la participación en la implementación de los altos administrativos de la obra. En algunos casos como la semana 13 se aprecia una gran diferencia entre lo estimado y programado con lo que realmente se realizó, esto se debió a que esa fue una semana de gran ausentismo laboral no considerada ni por el modelo ni por el último planificador. Algunas otras razones de la poca precisión de la estimación en algunas semanas durante el proceso de implementación son expuestas al final de este capítulo.

Ya que el estudio se realizó solo en 2 actividades, el PAC que se analizó fue el de cada actividad por separado, esto para apreciar el efecto del MCR mas claramente. Las figuras 4.10 y 4.12 muestran el PAC de ambas actividades en los dos edificios del proyecto. En la curva que representa el promedio acumulado del PAC de ambas actividades en el edificio sur se aprecia un crecimiento frente a la situación inicial, aún cuando en la semana 10 el porcentaje de actividades cumplidas se reduce hasta un 80% en ambas actividades, esto debido en parte que estas semanas coincidieron con las celebraciones de fin de año, semanas de gran ausentismo laboral. Al comparar el comportamiento del PAC de las actividades de enfierradura y moldaje con el PAC global que aparece en la figura 4.11 se nota una gran diferencia puesto que esta última tiene un comportamiento sin crecimiento notorio.

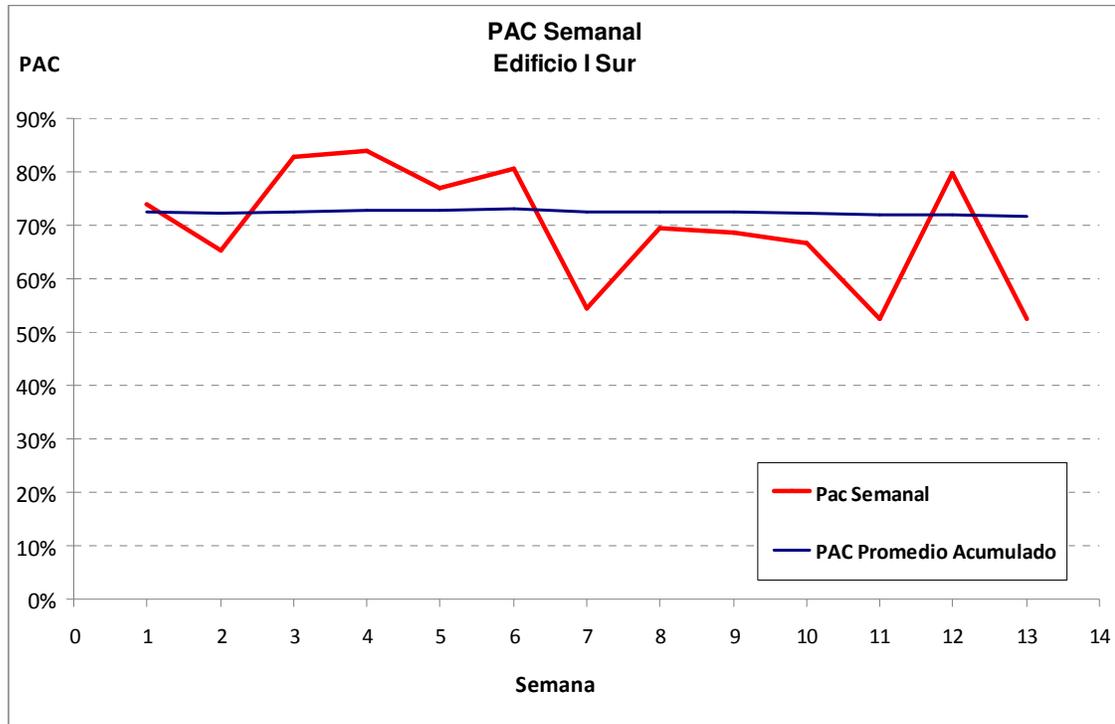
En el edificio norte existe una gran diferencia en los comportamientos de las actividades, por un lado la enfierradura sigue un buen comportamiento bordeando la mayoría de las semanas el 100% de cumplimiento, mientras que el cumplimiento de la actividad de moldaje oscila semanalmente. Esto coincidió con la irregular entrega de recursos y cancha que tuvo la actividad de moldaje. La cantidad de actividades disponibles que poseía esta actividad variaba semana a semana, se intentaba planificar la misma cantidad de avance sin poseer la misma cantidad de cancha u hombres semana. Sin embargo también se muestra un crecimiento del PAC en el promedio acumulado de ambas actividades a diferencia del PAC global ilustrado en la figura 4.13.

Figura 4.10



PAC por Actividad Edificio Sur

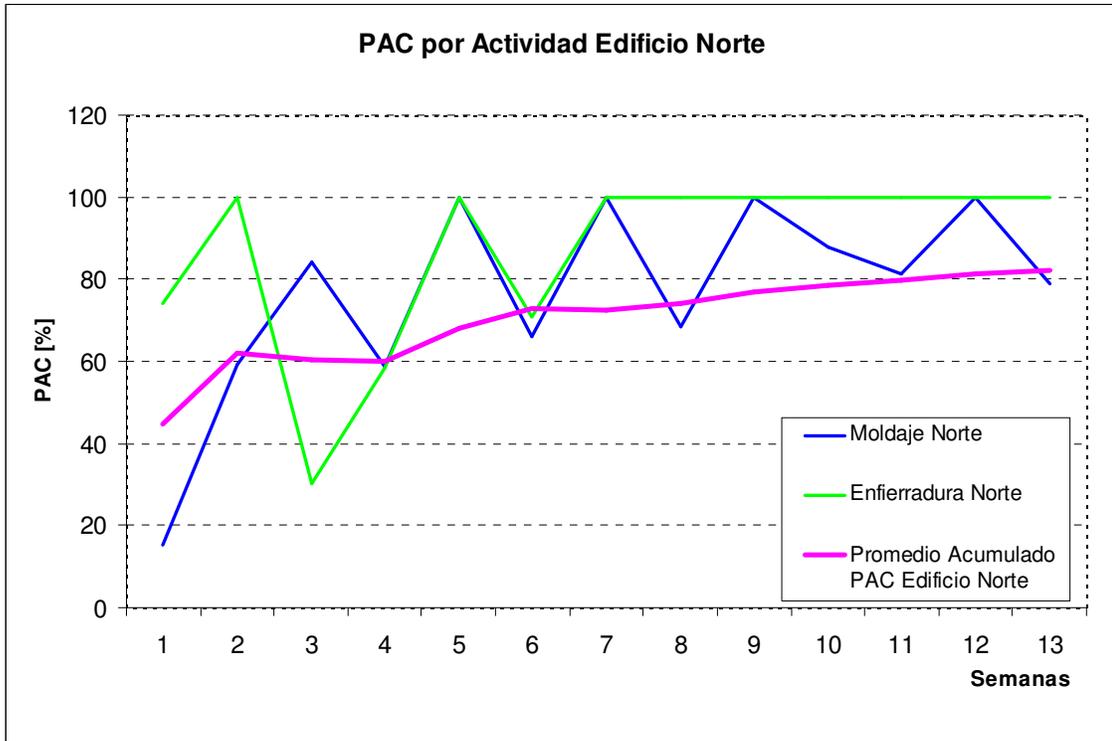
Figura 4.11



PAC Edificio I Sur, considerando todas las actividades.

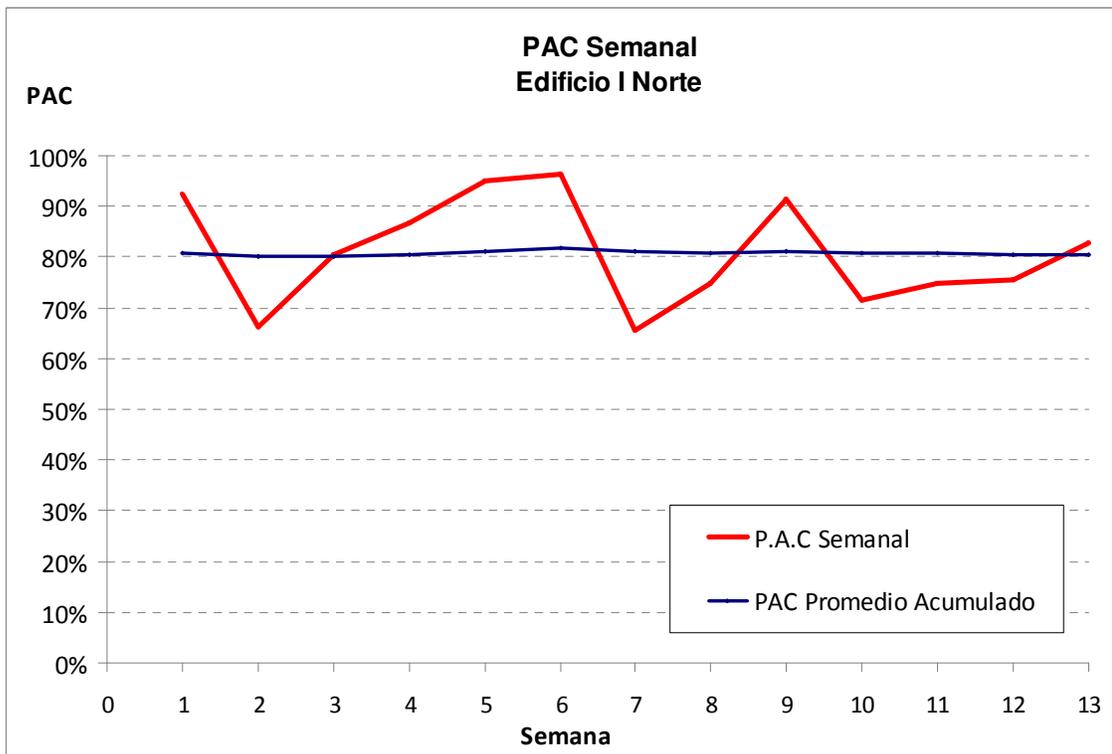
Otra razón que influyó en la poca precisión del modelo algunas semanas, fue la poca transparencia de los subcontratos al indicar la cantidad de hombres que se ocuparían una semana o que se ocuparon una semana. El modelo estima en base a la cantidad de hombres que se comprometen, si este número es incorrecto la estimación también lo será. De esta forma cuando los datos con los que se alimentó el modelo no eran los reales, las estimaciones perdían precisión.

Figura 4.12



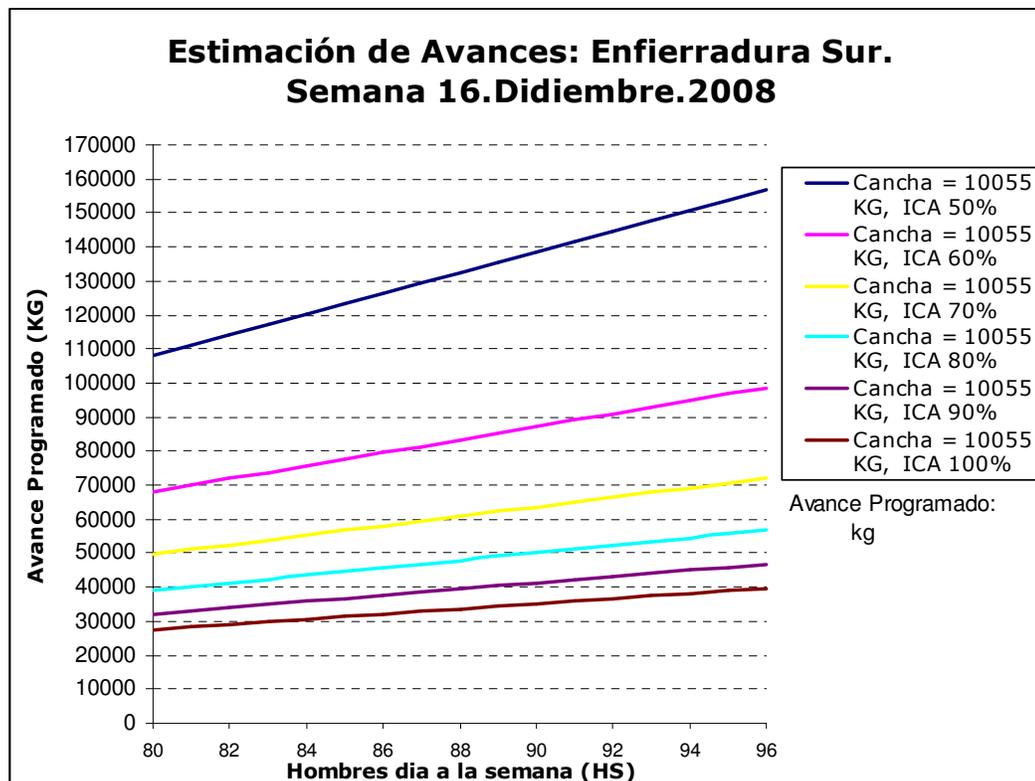
PAC por Actividad Edificio Norte

Fig. 4.13



PAC Edificio I Sur, considerando todas las actividades.

Fig. 4.14



Ábacos del Modelo de Compromisos Racionales

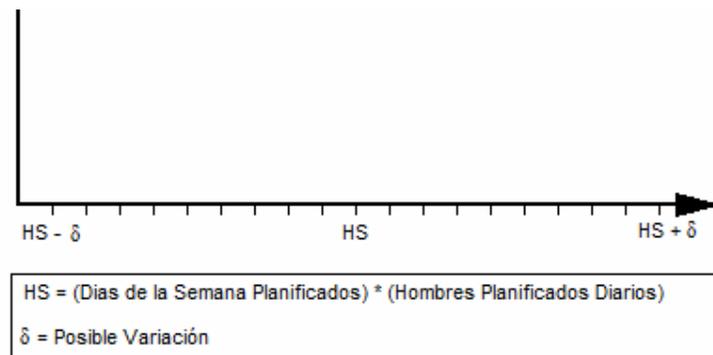
En cuanto a las reuniones, en un comienzo se optó por ocupar directamente los datos entregados por el programa RCM: ingresar el valor de la cancha disponible, el avance programado y la cantidad de hombres planificados obteniendo así un avance estimado semanal. Si este avance estimado era menor al avance programado, el subcontrato debía concentrar más recursos en la actividad para poder cumplir el compromiso. Por otra parte, si el avance estimado era mayor al programado: a) el subcontrato estaba en condiciones de asumir mayores compromisos en la labor, ello si las condiciones y prerrequisitos de la actividad lo permitían, o b) la empresa constructora debía adecuar las condiciones para otorgar mayor cancha a la actividad y así favorecer el avance. No obstante, esta metodología en la práctica resultó ser engorrosa y poco asimilable. Se optó entonces por preparar ábacos de estimación antes de efectuarse la reunión correspondiente.

Ejemplo de estimación. Enfierradura Edificio Sur

La preparación de ábacos de estimación fue muy importante, ya que se necesitaba una herramienta lo suficientemente clara y simple para ser ocupada en el momento de la reunión de planificación semanal. Previo a la preparación de ábacos, el día de la reunión semanal, se debía recolectar los datos de avance actual de la obra para alimentar el modelo con la información lo mas reciente posible, y la cancha disponible.

El dominio del gráfico era determinado en base a los hombres día planificados por cada subcontrato, considerando un rango de valores que contemplara posibles variaciones dentro de la semana (inasistencias o nuevas incorporaciones); y los días que el subcontrato se comprometía a trabajar, considerando por ejemplo que dependiendo de la cantidad de trabajo se determinaba si se trabajaban los días sábados o no (Figura 4.14).

Figura 4.14

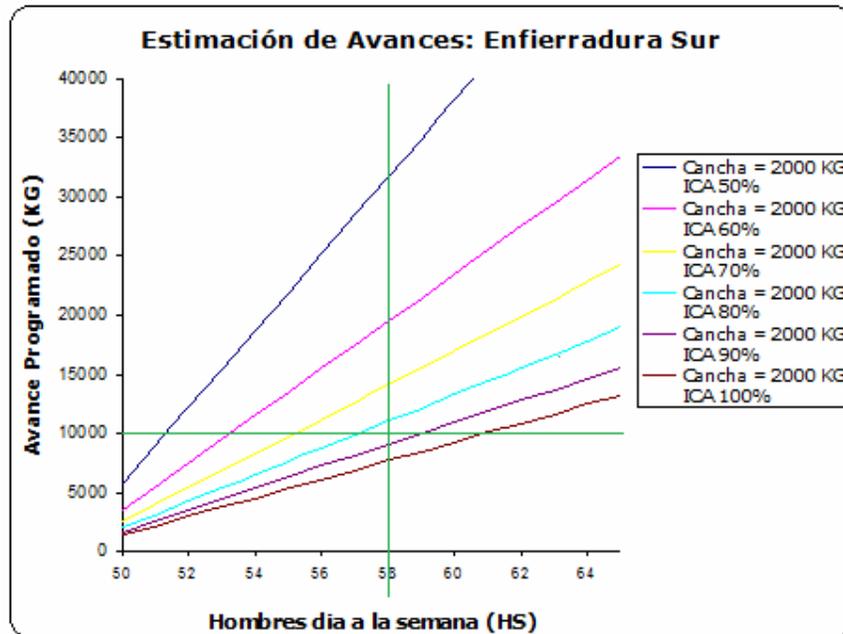


Determinación del Dominio para los Gráficos de Estimación.

Luego se graficaban curvas para 6 posibles comportamientos de la cuadrilla en la semana respectiva, nivel de cumplimiento de compromisos igual al 50%, 60%, 70%, 80%, 90% y 100%, considerando la cancha disponible medida anteriormente. Los coeficientes para determinar estas rectas se obtenían del Software RCM. El procedimiento para efectuar el compromiso, el día de la reunión de planificación, era de la siguiente forma: al principio de la reunión se consultaba el número de hombres diarios que se planificaba traer, y con esto se determinaba la cantidad de HS. Con esta información se trazaba una vertical en el gráfico que pasara justo por ese valor. A medida que transcurría la reunión se iba cubriendo la cantidad de elementos comprometidos de acuerdo a la planificación tentativa y el total se registraba como

el Avance programado. Con esta información se trazaba una horizontal en el gráfico que pasara por este valor. El punto donde se cruzan la recta horizontal con la vertical, indica la estimación del avance (Figura 4.15).

Figura 4.15



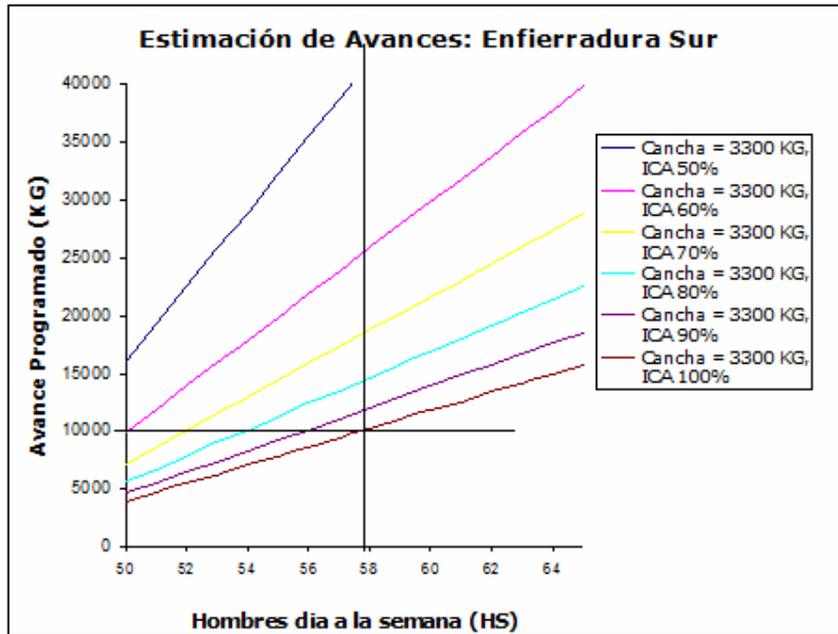
Metodología de predicción (HS = 58; Cancha = 2000 kg; AP = 10000 kg).

En la figura 4.15, la cancha disponible era de 2000 kilogramos, la cantidad de hombres diaria que planificó el subcontrato era de 11 diarios más 3 que vendrían el sábado, lo que da una cantidad de hombres semana $11 \cdot 5 + 3 = 58$. La Programación para esa semana era de 10 toneladas de Acero. El punto de intersección se ubicó, entonces, entre las curvas con ICA = 80% e ICA = 90%. En conclusión con el número de hombres planificado y la cancha disponible, al finalizar esa semana se podrá completar entre un 80% y un 90% de lo comprometido.

Para poder acercarse al 100% de cumplimiento de las actividades comprometidas, se proponían básicamente tres alternativas:

- **Aumentar la cancha.** Aislar a la actividad de las posibles variaciones que tengan los avances de las actividades precedentes y requisitas influirá, en el avance que esta tenga. En el ejemplo manejar una cancha de 3300 kilogramos en lugar de la de 2000 kilogramos, permite estimar un cumplimiento del 100% (Figura 4.16)

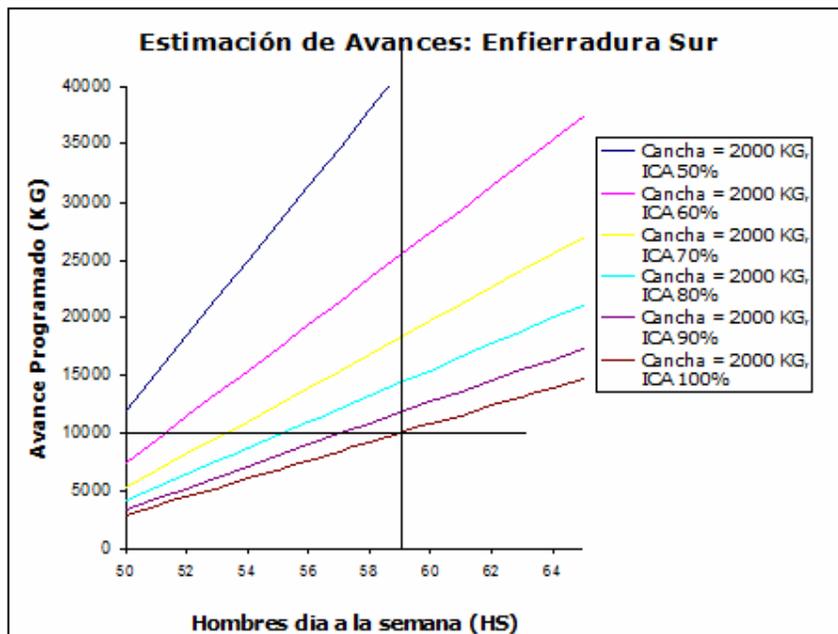
Figura 4.16



Aumento de cancha en la actividad (HS = 58; Cancha = 3300 kg; AP = 10000 kg).

- Aumentar la cantidad de Hombres-Semana.** Traer más recursos a la obra, tales como mano de obra aumentará la producción semanal (Figura 4.17). Sin embargo este aumento debe ser bien estudiado a fin de no causar congestión en el área de trabajo.

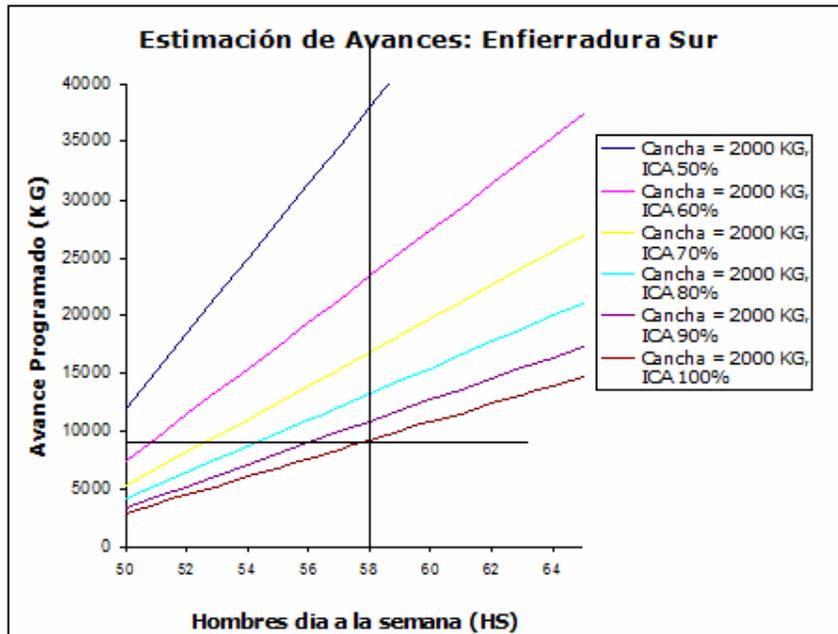
Figura 4.17



Aumento de HS en la actividad (HS = 59; Cancha = 2000 kg; AP = 10000 kg).

- **Disminuir el Avance Programado.** Si las restricciones de la obra impiden un aumento en cualquiera de las anteriores variables, la alternativa que resta es asumir compromisos más realistas a las capacidades propias de la obra, esto es programar un menor avance (Figura 4.18)

Figura 4.18



Disminución del Avance comprometido (HS = 58; Cancha = 2000 kg; AP = 9000 kg).

Una forma de llegar con la información apropiada y necesaria a la reunión de planificación fue detallar en los ábacos de estimación, a) el avance realizable con la misma cantidad de hombres-día que se ocupó la semana anterior, b) el avance realizable con la cantidad de hombres-semana comprometidos por el subcontrato y c) la cantidad de hombres-semana con los que se cumplirían las actividades comprometidas. Esto último se detalla en la figura 4.19. En la figura se observa que con los 12 enfierradores de la semana anterior se podían instalar 18.000 kg de acero, con los 16 enfierradores que se comprometía para la semana se podrían instalar 30.000 kg, pero para lograr el 100 % de actividades propuestas por el jefe de obra se necesitarían 18 enfierradores al día.

Figura 4.19

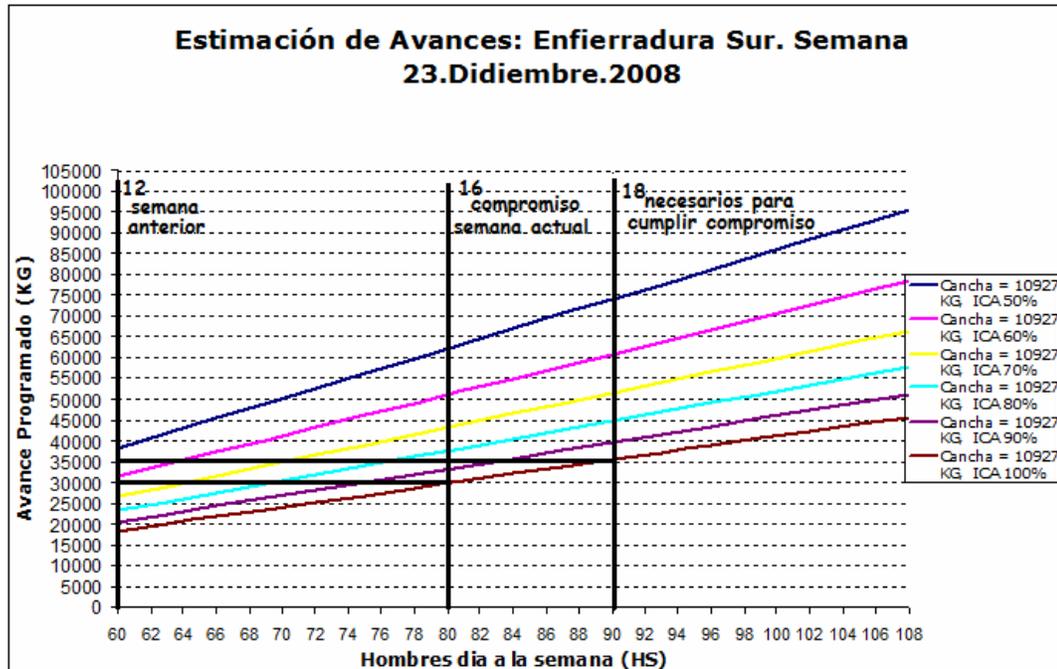


Gráfico de apoyo para reunión de planificación

4.3 Problemas de Implementación del Modelo

Si bien en este proyecto las reuniones de planificación eran de algún modo mejor preparadas, la implementación del modelo, debió también enfrentar algunos obstáculos dentro de los cuales se mencionan los siguientes:

- Tal como en el Proyecto A, en este proyecto se monitorearon actividades no regulares en cuanto al trabajo que se debe realizar para completarlas. En el caso de la enfierradura por ejemplo, los fierros que conformaban la estructuración de las fundaciones correspondían a diámetros de 30 centímetros, mientras que los muros se conformaban por fierros de diámetros de 10 centímetros, sin embargo enfierrar muros demoraba mucho más que enfierrar fundaciones. Esto influía negativamente en la precisión que tenía el modelo en estimaciones posteriores. Una recomendación para enfrentar este tipo de problemas es sencillamente dividir el estudio en sub-etapas más homogéneas.
- Los imprevistos de terreno causaron retrasos e incumplimientos de actividades que afectaron las estimaciones. Por ejemplo las frecuentes *pannes* de una de las dos grúas que se disponían, produjo grandes atrasos en la producción.

- Variación constructiva del proyecto a lo largo del estudio. A medida que se avanzaba en la construcción, la arquitectura del edificio iba variando y con eso variaban también los métodos de construcción. Por ejemplo existían pisos que no tenían la misma altura, por lo tanto demandaban distinto esfuerzo.
- Originalmente existía sólo una cuadrilla de carpinteros que se encargaba simultáneamente del moldaje de todo el proyecto, por lo tanto el estudio de esta actividad se realizaba de manera global sin separar en edificios. Sin embargo cuando la capacidad de esta cuadrilla fue sobrepasada debido al acelerado avance de los enfierradores, la oficina técnica debió contratar una segunda cuadrilla que se encargara exclusivamente del edificio norte, dejando a la primera cuadrilla a cargo del edificio sur. Esto indudablemente repercutió en el proceso de estimación de avances debido al cambio brusco de condiciones que ofrecía la obra. Es conveniente, entonces, monitorear los resultados al momento de estimar avances después de uno de estos eventos que modifican la estructura que soporta los supuestos estadísticos del modelo.
- Por último algunas consideraciones generales como no considerar días feriados al momento de sumar la cantidad de hombres-semana, y controlar cambios de diseño que se desarrollen que cambien la cubicación estimada en un principio.

CAPÍTULO CINCO: CASO 3-CONDOMINIO CASAS DE ALBAÑILERÍA

5.1 Descripción del Proyecto

Este proyecto fue llevado a cabo por la misma empresa constructora que desarrolló el galpón de acero detallado en el capítulo tres, pero en este caso por el área de viviendas habitacionales. Esta empresa ha construido más de 3.500 viviendas lo equivale a más de 250.000 metros cuadrados construidos. El proyecto se ubica en el sector sur de Santiago Santiago, y consiste en la construcción de un condominio de 4 tipos de casas de albañilería armada de 2 y 3 pisos. En un principio se visitó la obra para determinar las actividades que sería factible e importante medir. Al igual que en los otros proyectos también se asistió a las reuniones de planificación semanal en la cual participaban los distintos subcontratos, representante de la oficina técnica, el jefe de obra y el administrador.

En la figura 5.1 se muestra el trazado general del proyecto

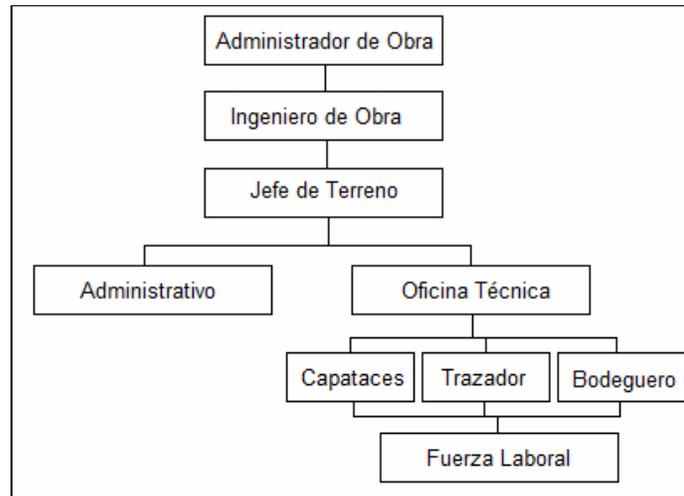
Figura 5.1



Trazado del proyecto

El organigrama de la obra es el siguiente:

Figura 5.2



Organigrama Proyecto Caso 3

Por la importancia en el avance de la obra y la cantidad de recursos que involucraban las actividades medidas fueron:

- Albañilería
- Moldaje
- Enfierradura

5.2 Implementación del Modelo

La forma en que se estudió el avance en la obra era mediante el análisis de hitos que se generaban a medida que la construcción de una casa se iba efectuando (tabla 5.1). El encargado de la oficina técnica semana a semana registraba el avance de cada casa en particular, asignándole el hito correspondiente. Para cada uno de estos hitos se podía relacionar un cierto avance en las actividades de moldaje, fierro y albañilería instalado en la casa. Por ejemplo para una casa en la que aún no se instalan los cimientos, el porcentaje de moldaje, albañilería y fierro instalado es 0%, por otro lado una casa en la que se está hormigonando el frontón (último paso de la obra gruesa) el porcentaje de moldaje, albañilería y fierro instalado es 100% (los porcentajes de avance de moldaje, enfierradura y albañilería no tiene por que ser los mismos).

Dadas estas características se desarrolló una planilla Excel de apoyo para la oficina técnica, en la cual semana a semana se ingresaba el avance para cada casa, y mediante el manejo de bases de datos en las cuales estaban cubicadas las casas (tabla 5.2), se obtenía el porcentaje y la cantidad de Avance de cada actividad. La cantidad de Hombres Semana se obtenía gracias al libro de asistencia de cada subcontrato y la cancha disponible para cada actividad la obtenía la oficina técnica. Finalmente el plan para cada semana se obtenía después de la reunión de planificación.

Dado que existían 4 tipos distintos de casa, con distintas cubicaciones de materiales, la forma de registrar avances no podía ser por unidades tan globales como “pisos” o “casas”, por esta razón las unidades que finalmente se adoptaron para realizar el estudio fueron:

- Albañilería (m^2)
- Moldaje (m^2)
- Enfierradura (Kg)

Una forma de evitar ésto hubiera sido mediante una distribución estricta de mano de obra según casa, es decir definir desde un principio una cuadrilla para cada tipo de casa, sin embargo, dadas las características de avance la elección de casas no tenía nada que ver con el tipo de casa que se estaba construyendo y por lo tanto se corría el riesgo de tener mano de obra sin Cancha, en numerosas ocasiones.

Tabla 5.1

Sin Emplantillado
Emplantillado
Enfierradura pilares 1er piso
Cimientos
Cadena Sobrecimientos
Moldaje Sobrecimientos
Sobrecimientos
Albañilería 1er piso
Moldaje de Pilares y Machones 1er piso
Hormigonado pilares 1er piso
Cadena viga-losa 1er piso
Moldaje de Losa 1er piso
Enfierradura de Losa 1er piso
Enfierradura pilares 2do piso
Moldaje de viga losa 2do piso
Losa 1er piso
Albañilería 2do piso
Moldaje de Pilares y Machones 2do piso
Hormigonado pilares 2do piso
Cadena viga-losa 2do piso
Moldaje de Losa 2do piso
Enfierradura de Losa 2do piso
Enfierradura pilares 2do piso
Moldaje de viga losa 2do piso
Losa 2do piso
Albañilería 3er piso
Moldaje de Pilares y Machones 3er piso
Hormigonado pilares 3er piso
Armadura coronación frontón
Moldaje frontón y coronación
Hormigonado de Frontón

Hitos relacionados con el avance de las casas

En las reuniones de planificación los compromisos acordados no eran con las mismas unidades que se usaron para ingresar los datos al programa de predicción, sino que los subcontratos se comprometían con un cierto número de casas a la semana.

Tabla 5.2

tipo de casa	Nº de Casa	25-ago	01-sep	08-sep
77	1	Hormigonado de Frontón	Hormigonado de Frontón	Hormigonado de Frontón
90	2	Hormigonado de Frontón	Hormigonado de Frontón	Hormigonado de Frontón
105	44	Hormigonado de Frontón	Hormigonado de Frontón	Hormigonado de Frontón
128	45	Hormigonado pilares 3er piso	Hormigonado de Frontón	Hormigonado de Frontón
128	52	Losa 1er piso	Albañilería 2do piso	Cadena viga-losa 2do piso
105	53	Losa	Albañilería 2do piso	Moldaje frontón y coronación
128	54	Cadena viga-losa 1er piso	Enfierradura de Losa 1er piso	Albañilería 2do piso
128	55	Moldaje de Losa 1er piso	Losa 1er piso	Albañilería 2do piso
90	60	Enfierradura de Losa 1er piso	Losa	Albañilería 2do piso
105	61	Moldaje de Losa 1er piso	Losa	Albañilería 2do piso
105	62	Moldaje de Losa 1er piso	Losa	Albañilería 2do piso
90	63	Moldaje de Losa 1er piso	Moldaje de Losa 1er piso	Losa
128	68	Hormigonado pilares 1er piso	Hormigonado pilares 1er piso	Hormigonado pilares 1er piso
128	69	Moldaje de Pilares y Machones 1er piso	Hormigonado pilares 1er piso	Hormigonado pilares 1er piso
128	70	Hormigonado pilares 1er piso	Cadena viga-losa 1er piso	Enfierradura de Losa 1er piso
128	71	Sobrecimientos	Sobrecimientos	Hormigonado pilares 1er piso
128	76	Cimientos	Cimientos	Cimientos
105	77	Albañilería 1er piso	Hormigonado de Pilares	Cadena viga-losa 1er piso
128	78	Albañilería 1er piso	Moldaje de Pilares y Machones 1er piso	Hormigonado pilares 1er piso
128	79	Cimientos	Cimientos	Cimientos
128	20	Sin Emplantillado	Cadena Sobrecimientos	Albañilería 1er piso
128	21	Sin Emplantillado	Cadena Sobrecimientos	Albañilería 1er piso
105	22	Sin emplantillado	Sin emplantillado	Sin emplantillado
105	23	Sobrecimientos	Sobrecimientos	Moldaje de Pilares y Machones 1er piso
105	24	Cadena Sobrecimientos	Sobrecimientos	Moldaje de Pilares y Machones 1er piso
128	25	Sobrecimientos	Sobrecimientos	Moldaje de Pilares y Machones 1er piso
128	26	Albañilería 1er piso	Albañilería 1er piso	Moldaje de Pilares y Machones 1er piso
90	27	Sobrecimientos	Albañilería 1er piso	Albañilería 1er piso
90	28	Cimientos	Sobrecimientos	Albañilería 1er piso
90	29	Cimientos	Enfierradura pilares 1er piso	Albañilería 1er piso
77	30	Cimientos	Moldaje Sobrecimientos	Albañilería 1er piso
77	31	Cimientos	Cimientos	Albañilería 1er piso
77	32	Cimientos	Cimientos	Albañilería 1er piso
90	33	Cimientos	Cimientos	Sobrecimientos
90	34	Sin emplantillado	Sin emplantillado	Emplantillado
90	35	Sin emplantillado	Sin emplantillado	Sin emplantillado
90	36	Sin emplantillado	Sin emplantillado	Sin emplantillado

Planilla de control de avance

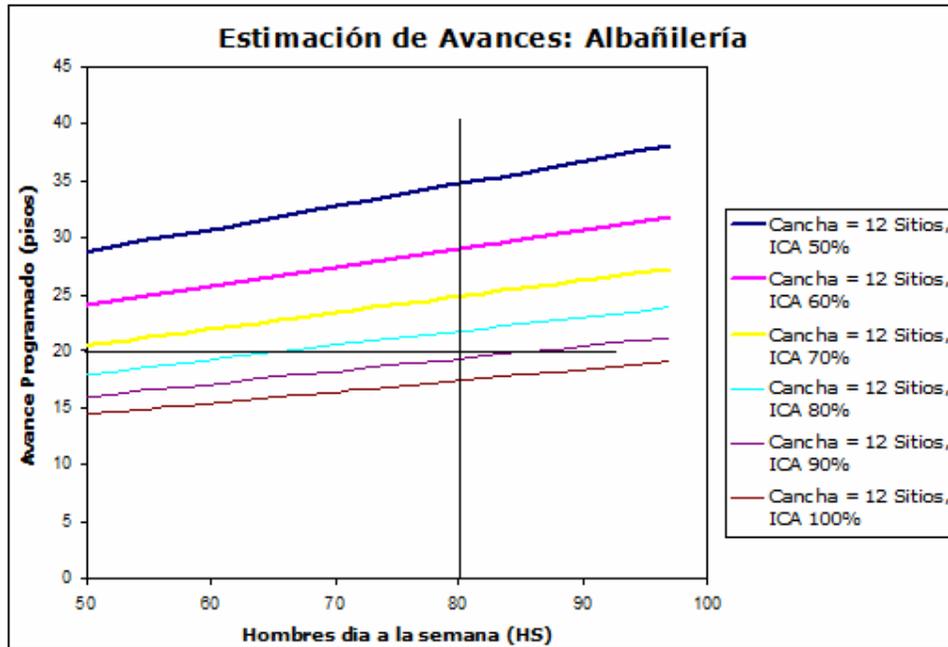
Por lo anterior era imprescindible contar con las cubriciones de todos los tipos de casa en las reuniones de planificación, como también apoyarse en los ábacos de estimación del Modelo de Compromisos Racionales.

Con todos los antecedentes anteriores la primera aplicación del MCR en esta obra se llevó a cabo de la siguiente forma:

- Previo a la reunión
 - Determinación de la cancha disponible para cada actividad para la semana entrante que se está planificando.
 - Avance y Número de Hombres-Semana de la semana anterior. Estos datos se ingresaban al programa RCM para alimentarlo con los últimos datos disponibles y así actualizar las funciones o curvas de predicción que se usan para generar los ábacos.

- Generación de los ábacos de estimación para cada actividad, para un rango de hombres adecuado y para niveles de cumplimiento adecuados. Por ejemplo los albañiles se dividen en tres cuadrillas de 4, 5 y 5 hombres cada una, lo que en 5 días a la semana entregaba un total de $(4 + 5 + 5) * 5 = 70$ hombres a la semana. Por lo tanto el rango de hombres semana considerado en los ábacos es de 65 a 80. El objetivo de este rango era cubrir posibles variaciones de asistencia que los subcontratos tengan previstos para la semana como también posibles demandas de una cantidad determinada de mano de obra que se exijan en la misma reunión. Los niveles de cumplimiento de compromisos que se usaban en los ábacos de estimación eran de 50%, 60%, 70%, 80%, 90% y 100%
- En la reunión
 - La cubicación de los avances comprometidos por cada unidad de producción.
 - Predicción de porcentaje de cumplimiento de compromisos mediante los ábacos de estimación (Figura 5.3)
 - Dada la estimación del ábaco correspondiente y el avance comprometido, comparar estos valores y concluir.

Figura 5.3



Estimación de Avance usando Ábacos. (HS = 80, Cancha = 12 Sitios; Avance Programado = 20)

Es importante enfatizar que el dominio de los gráficos de estimación, que corresponde al valor de hombres semana posibles, tiene que ser un intervalo que contenga el valor planificado, valor que depende de la cantidad de hombres-día comprometido por el subcontrato y la cantidad de días que se trabajarán, por lo que hay que conocer este valor de antemano para poder construir el ábaco. El valor de la cancha también tiene que ser registrado y en base a este valor dibujar las curvas de nivel correspondientes.

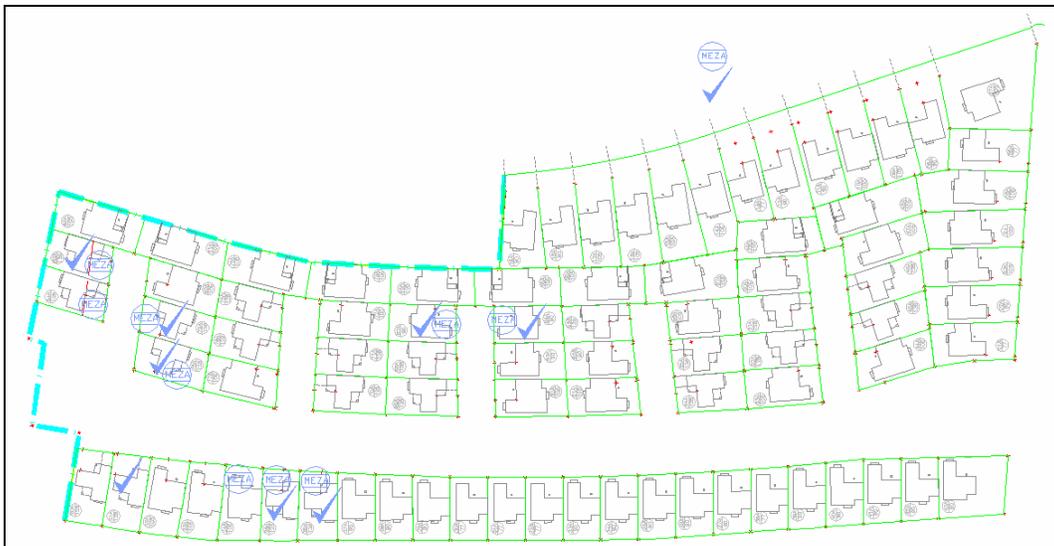
Para efectuar el proceso de compromiso de actividades en la reunión, de una manera fácil y rápida el autor propuso a la oficina técnica de la obra el uso de capas o layers, sobre un plano del trazado. Básicamente la idea era usar un programa computacional de dibujo en el que se pudiera trabajar con capas, las cuales poseerían información a cerca de la cancha de cada actividad en particular. Luego en la misma reunión cuando se planificaba una actividad se seleccionaba la capa correspondiente, y en esta se establecían mediante algún símbolo en especial que caracterizara al subcontrato, las actividades y casas con las que se comprometía. Mas tarde la planificación general se registraba de acuerdo al archivo creado mediante el proceso de capas (Figura 5.4 y 5.5).

Figura 5.4



Ejemplo planificación por capas "Moldaje de Frontones"

Figura 5.5



Ejemplo planificación por capas "Enfierradura de Frontones"

A modo de ejemplo se presenta la metodología usada para la implementación del MCR en la actividad de albañilería en una de las primeras semanas de estudio:

- Con ayuda de las listas de asistencia registrar el número de Hombres-Semana de la semana anterior, y con el avance acumulado calcular el avance semanal anterior.

Tabla 5.3

	13-oct
Producción Semanal (pisos)	10
Cantidad Alb. Acum. (pisos)	101
Hombres semana	39
Productividad (Pisos/HS)	0,26
Cancha (pisos)	4

Registros semana anterior

- Ingreso de los valores del punto anterior al Software RCM.
- Solicitación de la cancha disponible a oficina técnica a la fecha de la reunión de planificación (Figura 5.6)

Figura 5.6

Cancha Disponible Al 20.Octubre	
Terrazas Disponibles Para Excavacion Casas 75 - 80 Pendientes. - 51 (Trabajando)	Albañilería 2° Piso Disponible Para Armadura Fronton (77 - 90 - 105) Casas 63 (Trabajando) - 77 (Trabajando)
Cimientos Disponibles Para Enfierradura de Sobrecimiento Casas 43 (Trabajando) - 72 - 83 (Trabajando)	Albañilería 2° Piso Disponible Para Moldajes Pilares y Machones (128) Casas 69 - 68
Cadena Sobrecimientos Disponibles Para Moldaje Casas 43 - 83	Casas Disponibles Para Moldajes de Losa 2° Piso (128) Casas Nada
Sobrecimientos Disponibles Para Inst. Albañilería Casas 41 - 42	Casas Disponibles Para Instalacion de Tejas Casas Ninguna
Albañilería Disponible Para Moldaje Pilares y Machones Casas 37 - 38 - 39 - 40	Casas Disponibles Para Radier Casas 60 - 61 - 62 - 63
Casas Disponibles Para Moldajes de Losa 1° Piso Casas 27 - 33 - 34 - 76 - 79 - 84	Casas Disponibles Para Estuco Casas 62
Moldajes de Losa Disponibles Para Armadura Losa 1° Piso Casas 27 - 33 - 34 - 76 - 79 - 84	Casas Disponibles Para Escala Casas Ninguna
Enfierradura Losa Para Instalaciones Electricas y Sanitarias 1° Piso Casas 27 - 33 - 34 - 76 - 79 - 84	Escalas Disponibles Para Tabique Vulcometal Casas Ninguna
Losas Disponibles Para Albañilería 2° Piso Casas 21 - 25 - 26 - 28 - 29 - 30 - 31 - 32	Casas con Tabiques Disponibles Para Huinchas - Colocacion yeso Casas 44 (Trabajando) - 45 (Trabajando)

Tabla de Cancha entregada por Oficina Técnica

- Reconocimiento de la cancha relacionada con la actividad estudiada. En el caso de la albañilería la posible cancha son las casas que se encuentran en el hito correspondiente a sobrecimientos hormigonados (Figura 5.7), o casas con losa de

segundo o tercer piso hormigonada (Figura 5.8). En el ejemplo hay 2 casas que tienen sobrecimientos hormigonados y 8 que tienen losas hormigonadas, es decir hay 10 pisos de cancha para la actividad Albañilería.

Figura 5.7



Casa con sobrecimiento hormigonado

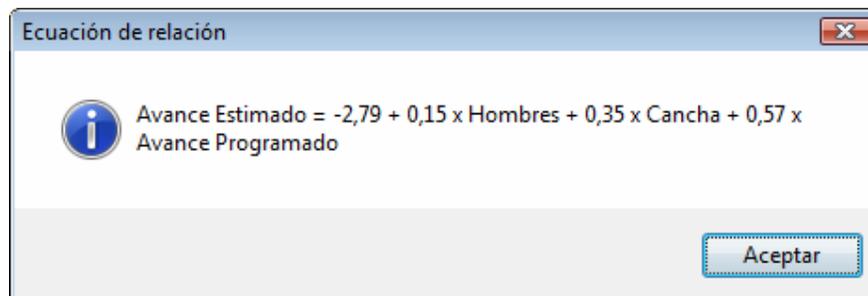
Figura 5.8



Casa con losa hormigonada

- En base a los datos ingresados hasta este momento obtener función de estimación del software (Figura 5.9).

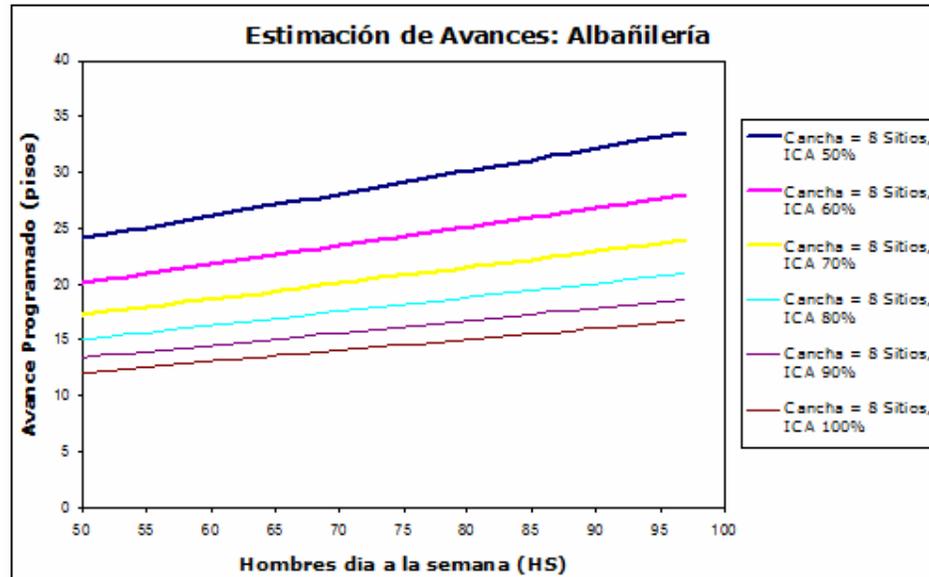
Figura 5.9



Obtención de función de estimación

- Con los valores de la función de estimación obtener las rectas que conforman los ábacos de estimación (Figura 5.10).

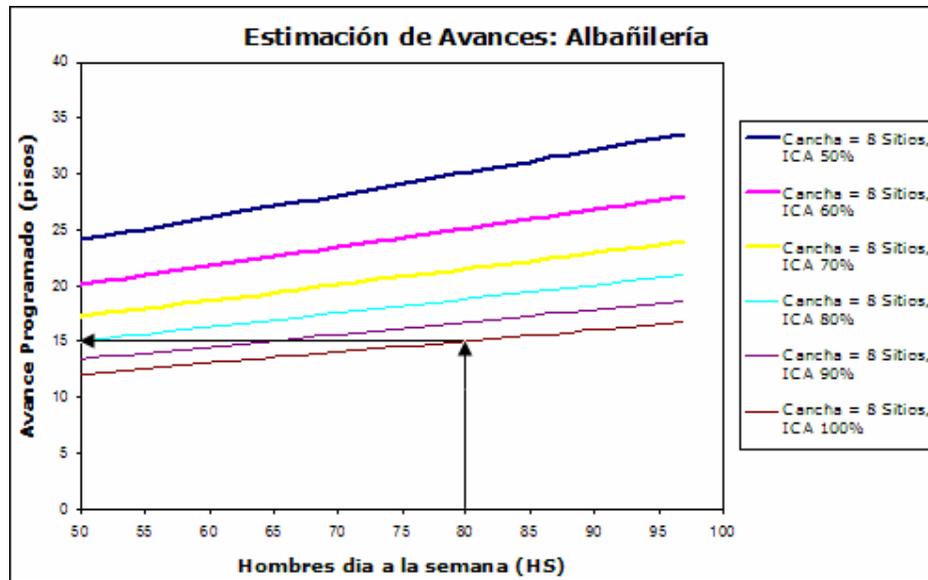
Figura 5.10



Ábaco de estimación

- En la reunión de planificación, consulta del número de Hombres Semana planificados para la semana entrante. Esta semana se planificó trabajar con 11 albañiles al día, y 5 días a la semana, es decir $16 \times 5 = 80$ Hombres Semana.
- Según los valores recogidos la cantidad de pisos con los que se debía comprometer el subcontrato encargado de la albañilería esa semana era de 15, tal como muestra la Figura 5.11. Por lo tanto en la reunión el subcontrato seleccionaba 15 pisos en los cuales podía trabajar.

Figura 5.11



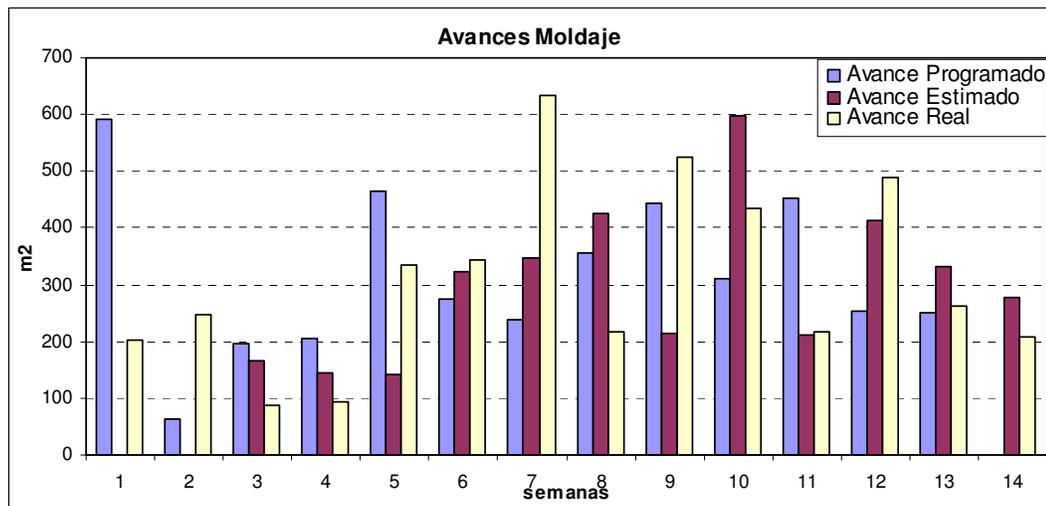
Avance recomendado

5.3 Resultados de la Implementación

A continuación se exponen los resultados de las estimaciones que arrojó el modelo para cada actividad. Los gráficos comparan el Avance Programado versus el Avance Estimado versus el Avance Real:

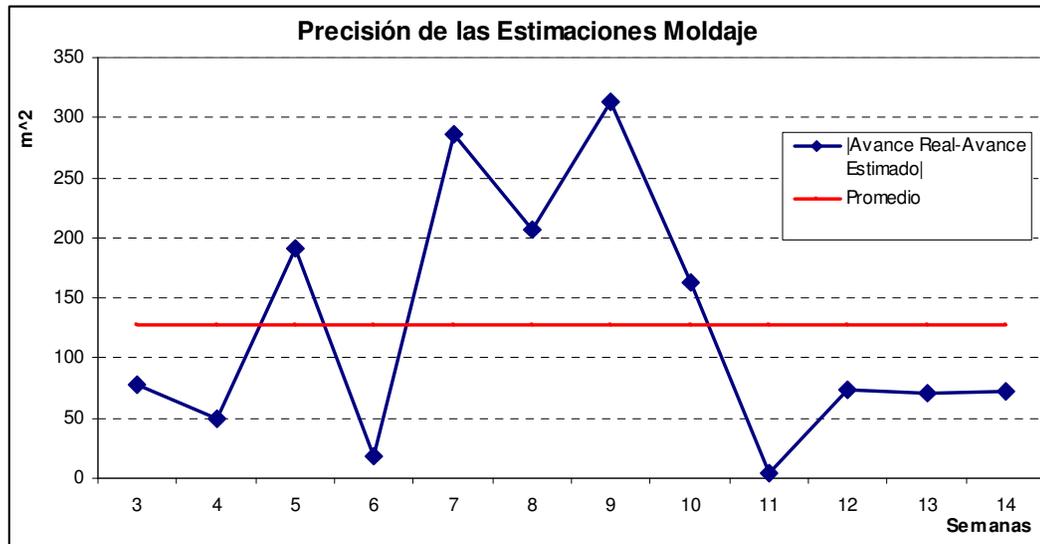
Moldaje

Fig. 5.12



Avances Moldaje

Fig. 5.13

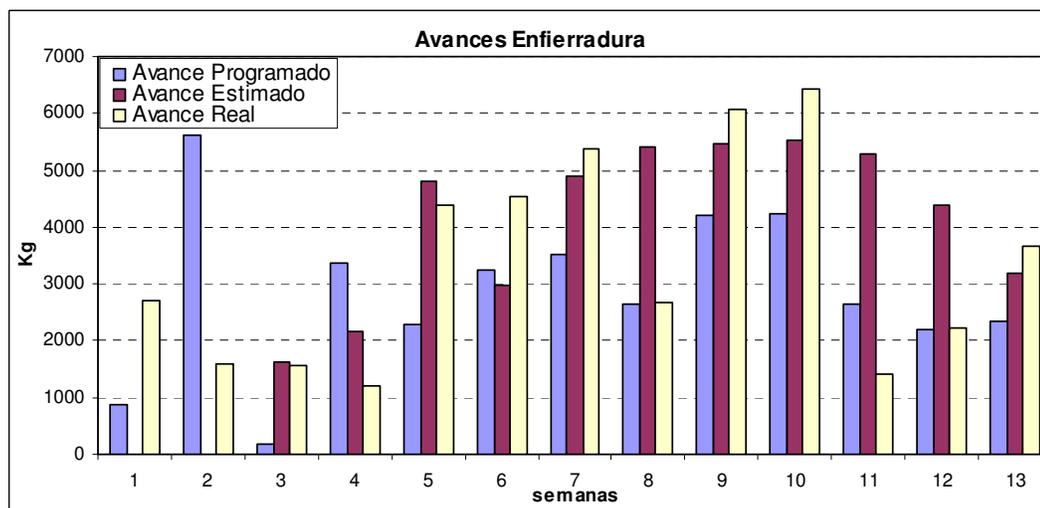


Precisión de las estimaciones Moldaje

Al observar el gráfico de la figura 5.12, se observa una gran diferencia entre el avance estimado y el avance real. Estas diferencias se ilustran mas en detalle en el gráfico de la figura 5.13, el cual arroja una diferencia promedio de 127,3 m² de moldaje, comparado con la cantidad promedio de moldaje programado 313,7 m², representa el 40%. Las mayores diferencias se dan en las semanas 7 a la 9 pero luego de la semana 11 el error de la estimación se estabiliza. La irregularidad en el error es provocada por la también irregularidad de las actividades asociadas a la actividad de moldaje.

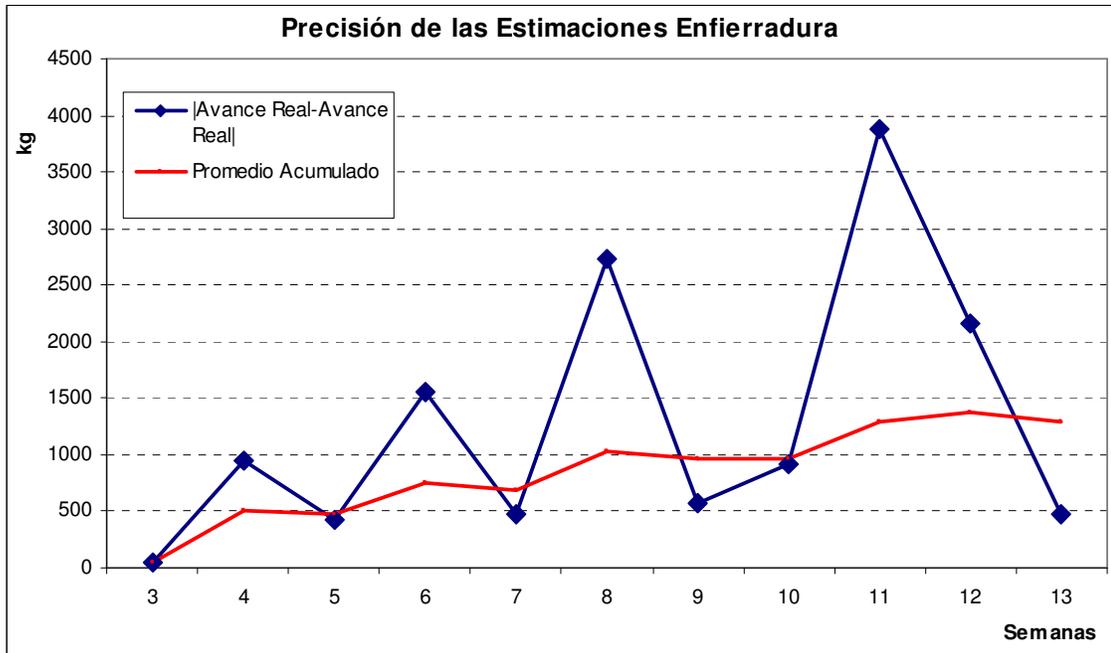
Enfierradura

Fig. 5.14



Avances Enfierradura

Fig. 5.15

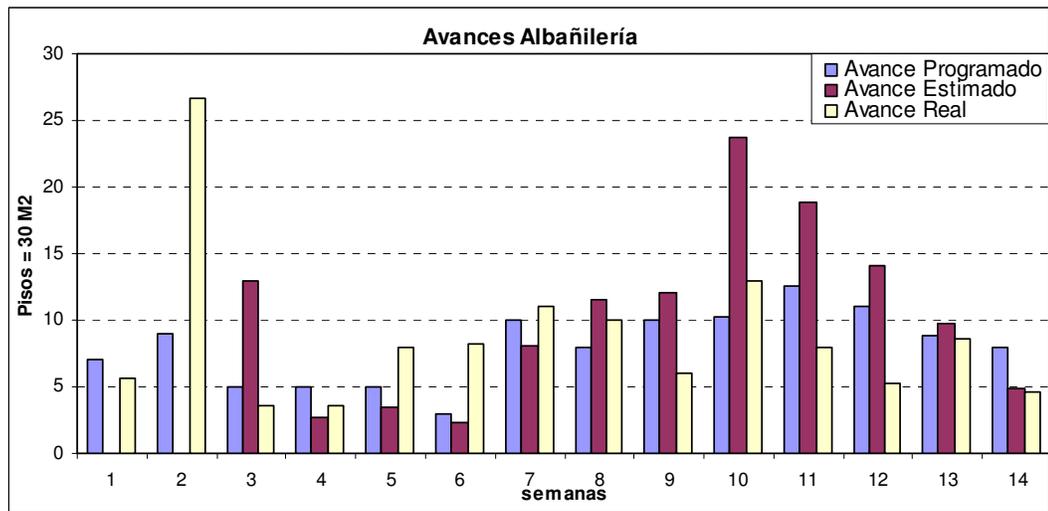


Precisión de las estimaciones Moldaje

En el caso de la actividad enfierradura, las primeras semanas por lo general la estimación anduvo mucho mas cerca del avance real, que el avance programado, arrojando un error promedio de 960 kg la semana 10 comparado con los 1608 kg de error promedio de la programación. Sin embargo las últimas semanas se incrementó el error promedio hasta alcanzar 1291 kg la semana 13. Este incremento del error se debe en parte a que esas semanas se agregaron cambios de diseño importantes para las actividades relacionadas con la cuadrilla de enfierradura. En resumen la cuadrilla realizaba actividades que no estaban incluidas en la cubicación original del modelo, por lo que no se consideraban.

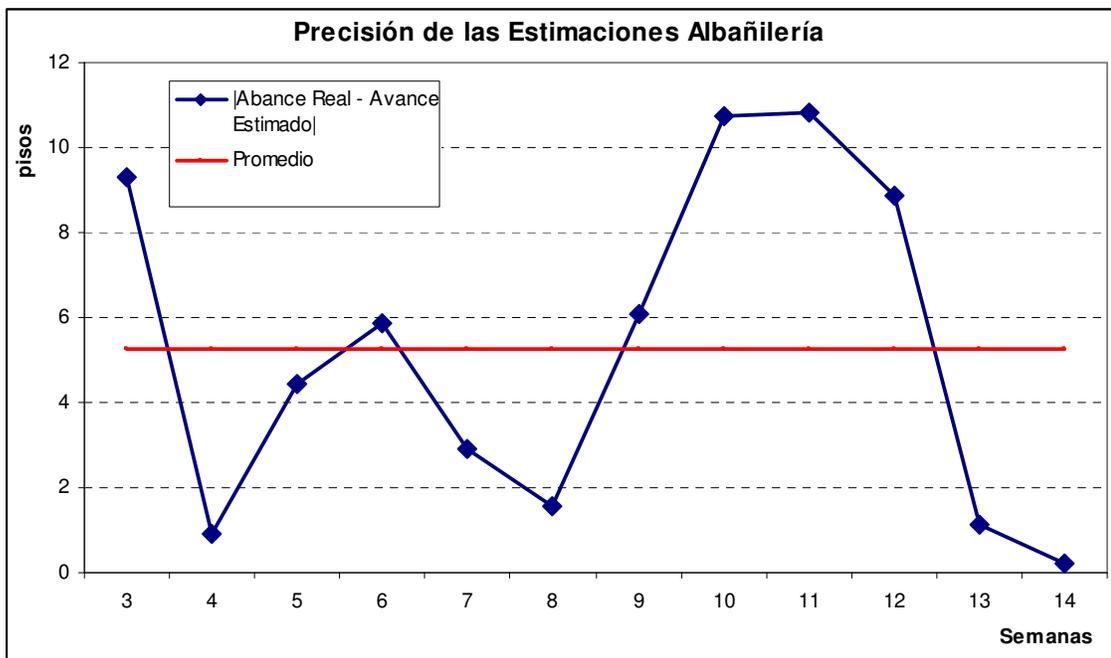
Albañilería

Fig. 5.16



Avances Albañilería

Fig. 5.17

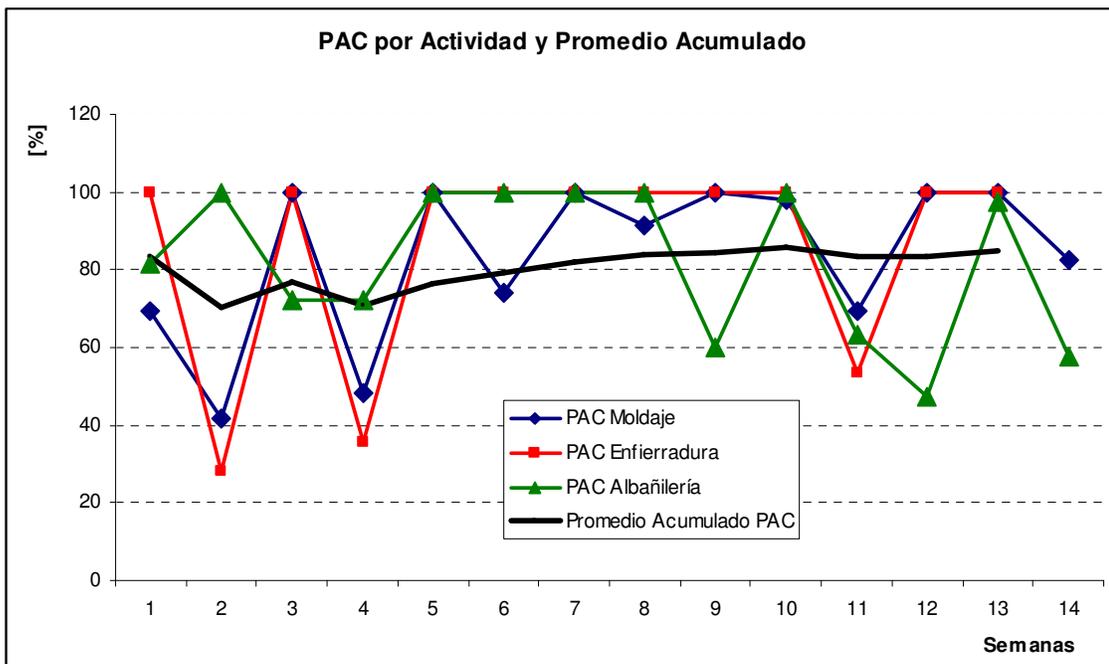


Precisión de las estimaciones Moldaje

En el caso de la albañilería hay que considerar que las primeras semanas no se programaban grandes avances ya que no había cancha disponible y no era una actividad crítica. Luego cuando se incrementó el avance asociado el modelo no fue capaz de extrapolar de forma precisa el comportamiento de la actividad. El error de estimación promedio fue de 5,28.

Finalmente en la figura 5.18 se ilustra el PAC de cada actividad junto con el promedio acumulado. Las actividades de enfierradura con moldaje tienen un comportamiento parecido, mientras que albañilería sigue un patrón absolutamente distinto. Esto refleja la característica poco crítica de esta última actividad con respecto a las otras, durante el tiempo de estudio. Por su parte la tendencia de la curva que representa el promedio acumulado es al alza a medida que avanzan las semanas. La recta que mejor representa el promedio acumulado tiene una pendiente positiva de 0,9 (Ref. Microsoft Excel).

Fig. 5.18



PAC por actividad y Promedio Acumulado

5.4 Problemas de Implementación

A lo largo del trabajo se enfrentaron diversos problemas de distinta índole que se tuvieron que ir solucionando poco a poco o aprender a trabajar con ellos, dentro de los principales se pueden mencionar:

- Poco compromiso por parte de la oficina técnica, con respecto a facilitar la implementación de nuevas herramientas en la planificación operacional. El complicado traspaso de los datos recogidos en terreno a los correspondientes valores cuantitativos que se ingresaban al software, generó una cierta apatía por parte de la oficina técnica hacia el modelo.

- Poca claridad por parte de algunos subcontratos al momento de proyectar la cantidad de hombres-semana con que se trabajaría. De alguna forma todas las planificaciones en obras de construcción de este tipo están sujetas a una fuerte variabilidad, por lo que planificar la cantidad de hombres que se ocuparán durante la próxima semana suele ser poco realista.
- Poco compromiso por parte de algunos subcontratos al asistir a las reuniones semanales. Una sostenida inasistencia se observó en las reuniones de planificación por parte de los subcontratos involucrados en el estudio, lo que obligaba a la oficina técnica a asumir compromisos en su lugar.
- Las casas no eran iguales, existían 4 tipos, por lo que adoptar unidades de medida como “casas”, “piezas” fue imposible, debiéndose ocupar unidades de medida mas específicas como m^2 , Kg y ml, lo que se traduce en un proceso de obtención de datos mas engorroso.
- A diferencia de las anteriores implementaciones del modelo, las actividades medidas en esta investigación son bastante irregulares. Por ejemplo el rendimiento que tiene colocar m^2 de cerámicas en una casa, no debería variar mucho. En cambio colocar kilogramos de fierro a un pilar es muy distinto que colocar kilogramos de acero a una losa, el rendimiento que tiene instalar m^2 de moldaje en una losa no es el mismo que tiene instalación de m^2 de moldaje en sobrecimiento, colocar ladrillos en un primer piso no es lo mismo que colocar en un tercer piso.
- La actividad de albañilería, durante el estudio del proyecto, tuvo una variabilidad sostenida en cuanto al número de hombres-semana, y a la cuadrilla contratada.
- Cuando se inició el estudio en esta obra el subcontrato a cargo de las enfierraduras estudiado no se ocupaba de la instalación y armadura de las enfierraduras de los sobrecimientos. Por lo tanto los kilos correspondientes a este ítem no se consideraron en un comienzo en el análisis. Sin embargo en la mitad del estudio el jefe de terreno decidió encomendarle esa tarea al subcontrato por lo que se debió incluir.

Sin embargo, una de las ventajas en esta obra, en cuanto a la toma de datos fue la regularidad del proceso constructivo de las casas. Gracias a esto, registrar el avance y la cancha semana a semana no tomaba mucho tiempo.

Para disminuir la irregularidad entre las actividades dentro de una unidad de producción, se puede ponderar la valor que tiene cada actividad. Por ejemplo si enfierrar un muro perimetral de 300 kg significa utilizar 4 enfierradores durante 4 horas, y enfierrar un pilar de 500 kg significa utilizar 2 enfierradores durante 2 horas se tiene:

$$300 \text{ kg de muro perimetral: } 4 \text{ Enfierradores} * 4 \text{ Horas} = 16 \text{ EH}$$

$$\frac{300\text{kg}}{16\text{EH}} = \frac{1\text{kg}}{x}$$

$$x = 0,053\text{EH}$$

$$500 \text{ kg de muro perimetral: } 2 \text{ Enfierradores} * 2 \text{ Horas} = 4 \text{ EH}$$

$$\frac{500\text{kg}}{4\text{EH}} = \frac{1\text{kg}}{x}$$

$$x = 0,008\text{EH}$$

En resumen para instalar 1 kilogramo de fierro de muro perimetral se necesitan 0,053 EH, y para instalar 1 kilogramo de fierro de pilar se necesitan 0,008 EH. Luego al momento de trabajar con el software ocupar las unidades EH (hombres*horas/ kilo), para homogenizar las distintas actividades de acuerdo a los recursos ocupados.

CAPÍTULO SEIS: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el mundo de la construcción cada obra es diferente a otra. Ofrece distintas restricciones y posibilidades, capacidades de producción y velocidades. Por tanto, es crucial al momento de estimar avances en las actividades, apoyarse en resultados provenientes de la obra en la que se está trabajando, y dejar los resultados históricos de una empresa sólo como referencia opcional en caso de que fuera necesario. Uno de los grandes aportes que hace este modelo es la entrega de estimaciones que reflejan el comportamiento de la misma obra.

Conclusiones con respecto al Software RCM-Plan

El uso del software RCM dentro de las reuniones de planificación semanal resultó poco práctico debido al carácter dinámico de estas. Si bien era muy útil en la determinación de funciones, tornaba muy lento el procedimiento para estimar avances. Por esta razón se optó por el uso de ábacos de estimación que ofrecían una mayor flexibilidad de los datos. Durante la investigación se detectaron algunos detalles del software que podrían ser mejorados en una próxima versión, estos detalles se adjuntan en el Anexo B.

La recopilación de datos y análisis estadístico que realiza el software resulta de gran ayuda, pues observa la obra durante el transcurso de las semanas, y genera de forma rápida datos sobre el comportamiento de las cuadrillas frente a distintas condiciones.

Conclusiones para antes de la reunión

Es una tarea esencial de la oficina técnica incentivar la asistencia a la reunión semanal de los encargados de las cuadrillas, mediante una correcta preparación de la reunión, con un esquema claro y directo, y el uso de herramientas que faciliten la comprensión de lo planificado.

Estudiar actividades no repetitivas (enfierradura y/o moldaje), y que generen productos no iguales (distintas casas), genera una gran cantidad de problemas al momento de la

implementación, tanto en la cubicación de datos como en la toma de compromisos. Implica asumir supuestos importantes con respecto a la productividad de las cuadrillas y puede predecir avances completamente erróneos en algunas semanas. Se recomienda entonces, usar esta herramienta principalmente en etapas de una obra de construcción en donde las actividades son lo bastante regulares como para un adecuado estudio.

En este estudio, la medición de datos se realizó en forma directa sin discriminar en actividades que tuvieran distinto rendimiento en m²/hombre en moldaje o kg/hombre en enfierradura. Para este tipo de proyectos se debería efectuar un estudio previo a la implementación que analice el peso que cada actividad tiene dentro de la unidad de producción, en cuanto a recursos ocupados en su realización de cantidad de hombres y tiempo. Gracias a esto se generarían unidades de medición que describirían mejor el rendimiento de una cuadrilla.

Para registrar la cancha en proyectos tan poco manejables como el edificio I, es fundamental consultar al capataz a cargo, en que actividades se podría trabajar si se contara con absoluta disponibilidad de materiales en ese momento. Dejar en claro que se necesita la cancha en ese momento, no la que se podría liberar a lo largo de la semana.

Conclusiones para la reunión

Si bien presentar semanalmente las estimaciones que se obtienen del modelo no demanda un esfuerzo importante, requiere de una adecuada coordinación entre la oficina técnica y el investigador a cargo. La semana de trabajo empieza cuando termina la reunión de planificación y se afinan los compromisos adoptados. Antes de empezar la reunión se debe contar con tres datos importantes para alimentar el modelo: El avance semanal, la cancha disponible, y el número de hombres ocupados. Para obtener el avance efectivo durante una semana, justo antes de la reunión se debe contar con un avance - acumulado actualizado de la obra y, a este valor restarle el avance acumulado de la semana anterior. Por otro lado, en la misma reunión se debe obtener el número hombres semana que un subcontrato pretende traer en la semana entrante y esto contraponerlo con la cancha disponible para así obtener de manera rápida el avance estimado.

Es recomendable chequear de manera periódica los gráficos de Producción v/s Cancha, o Producción v/s Hombres-Semana resulta útil para detectar semanas que se alejen del comportamiento normal de la obra y así prescindir de ellas al momento de estimar avances.

Para incorporar una herramienta como el Modelo de Compromisos Racionales en una obra de construcción, inicialmente se debe emplear el tiempo necesario para conocer las características y problemas de la obra específica lo que abarca por lo menos un mes. Luego de este período las visitas a la obra se pueden reducir a una o dos veces por semana. Sin embargo, no se debe perder de vista que los cambios en un proyecto ocurren comúnmente. Por esto, es necesario que quién implementa el modelo esté al tanto de todos los cambios que ocurran en la obra, tales como uso de gente anexa a los subcontratos de alguna actividad, la incorporación de una nueva actividad a las tareas de un subcontrato, cambio de empresa subcontratista, cambios de diseño, horario de las reuniones de planificación, entre otros.

A continuación se presenta un cuadro resumen de los principales aprendizajes de este trabajo y el o los casos de estudio donde se identificaron.

Tabla 6.1

Cuadro de Resumen. Lecciones Aprendidas.			
Lecciones	Caso 1: Galpón de Acero	Caso 2: Edificio I	Caso 3: Condominio Casas de Albañilería
Incentivar la participación de las cuadrillas en la planificación operacional			
Ocupar herramientas que faciliten la comprensión de la planificación en la reunión			
Monitorear los datos de terreno y compararlos con los datos entregados por las cuadrillas			
Uso de unidades de medición adecuadas			
En actividades irregulares ponderar según horas hombre ocupadas, al momento de tomar datos			
Medir preferentemente cuadrillas que efectúen una sola actividad			
Monitorear si las actividades que realiza una cuadrilla son comparables a través del tiempo			
Uso de ábacos para determina rla cancha óptima			
Eliminar del registro de semanas, aquellas que no sigan el patrón general			
Ocupar gráficos de estimación en las reuniones de planificación			

Cuadro de Resumen de Lecciones Aprendidas

BIBLIOGRAFÍA

Alarcón, L.F., Bustamante, J., González V., Maturana S., y Mundaca F. (2008). Work-In-Process Buffer Management Using The Racional Commitment Model In Repetitive Proyects, 16thInternational Conference for Lean Construction, Manchester, U.K., July 16th – 18th.

Alarcón, L.F. y Campero, M. (2008) Administración de Proyectos Civiles, Ediciones Universidad Católica de Chile, Tercera Edición Ampliada.

Alarcón, L.F. y Suguel, L. (2004) Estrategias de Incentivos para la implementación de Lean Construction, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Alarcón, L.F., Diethelm S., Rojo O., Calderón R. (2006) Assesing the Impact of Implementing Lean Construction, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Ballard, G. (2000) The Last Planner System of Production Control. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Faculty of Engineering of The University of Birmingham.

Bustamante, J. (2007) Implementación de un Modelo de Compromisos Racionales para mejorar la Confiabilidad de la Planificación en Proyectos de Construcción. Tesis de Magíster en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

González, V. (2008) Uncertainty Management in Repetitive Building Proyect Using Work-In-Process Buffers. Tesis para el Grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

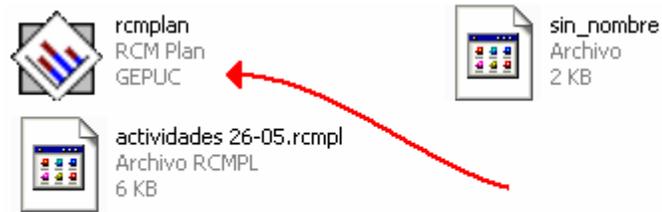
Koskela, L. (1999). “Management of Production in Construction: A Theoretical View”. Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group of Lean Construction, University of California, Berkeley, CA. p. 241-252

Mundaca, F. (2006) Análisis de Variabilidad y Mejoramientos en la Confiabilidad de la Planificación en Proyectos de Construcción. Tesis de Ingeniería Civil. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile

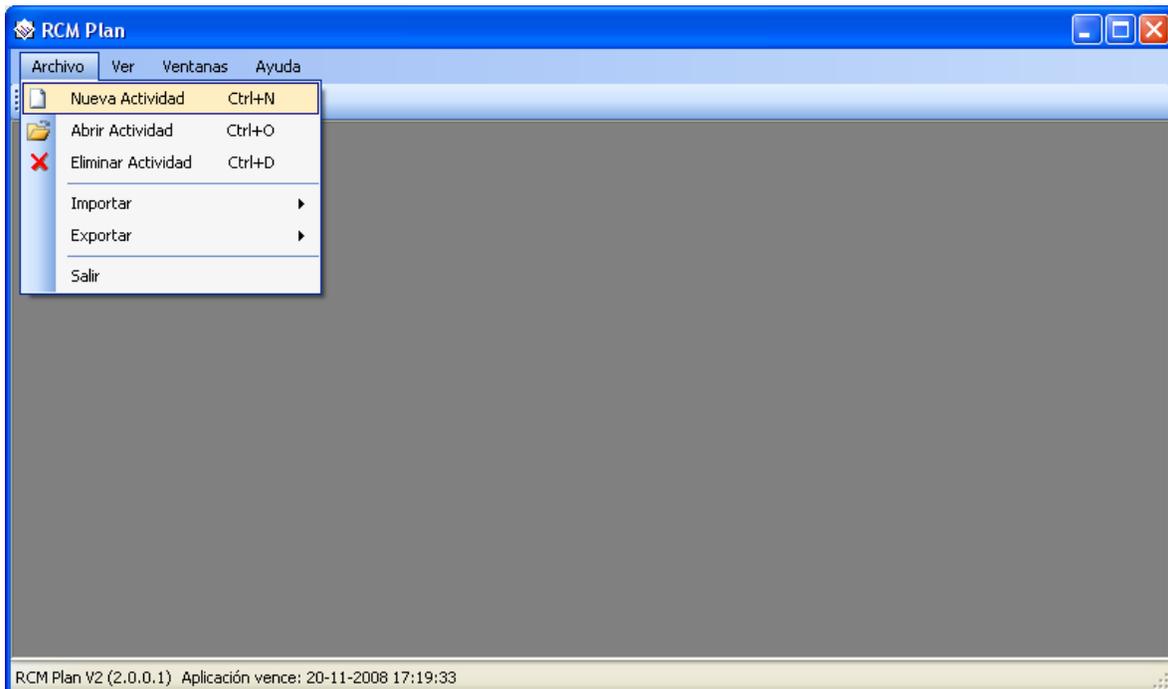
Thomas, H. (2000) Principles of Construction Labor Productivity Measurement and Processing.
Report n° 2K14, Pennsylvania Transportation Institute, University Park, Pa.

ANEXO A: MANUAL USO ICA

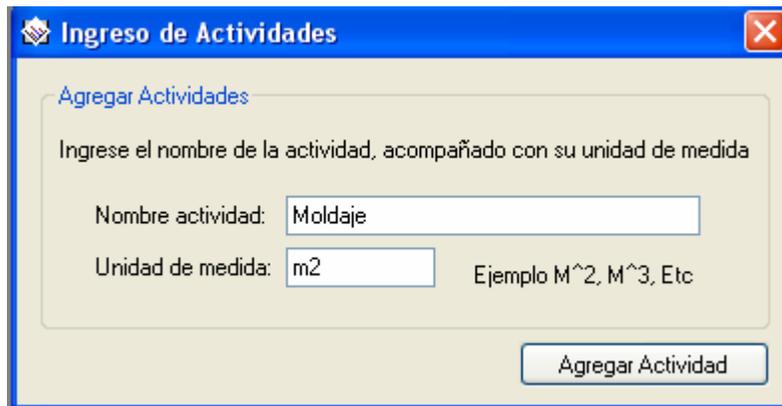
1. Abrir programa “rcmplan“



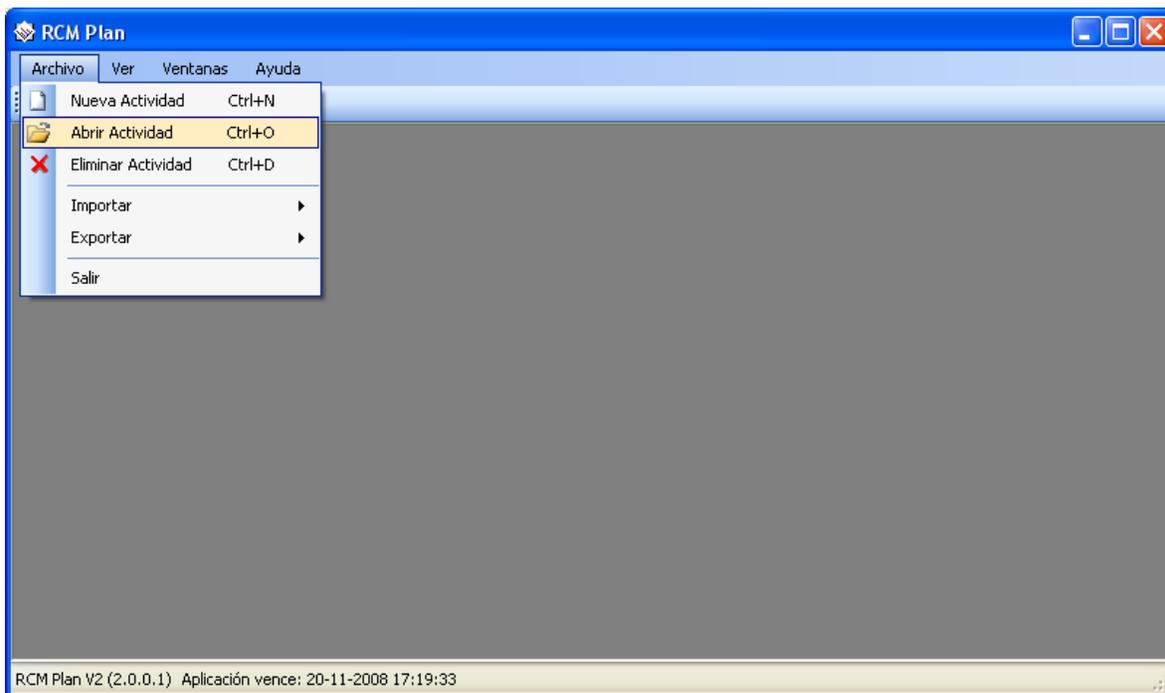
2. Crear actividad (hormigón, moldaje, pintura, cerámica, etc)



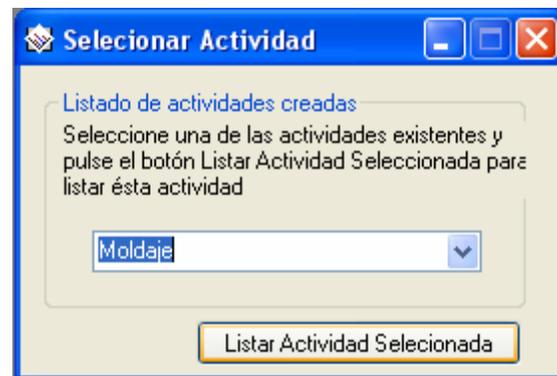
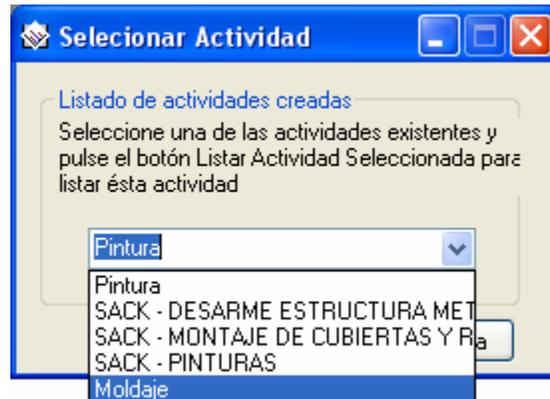
3. Definir actividad (nombre y unidad de medida). Luego presionar “Agregar Actividad”.



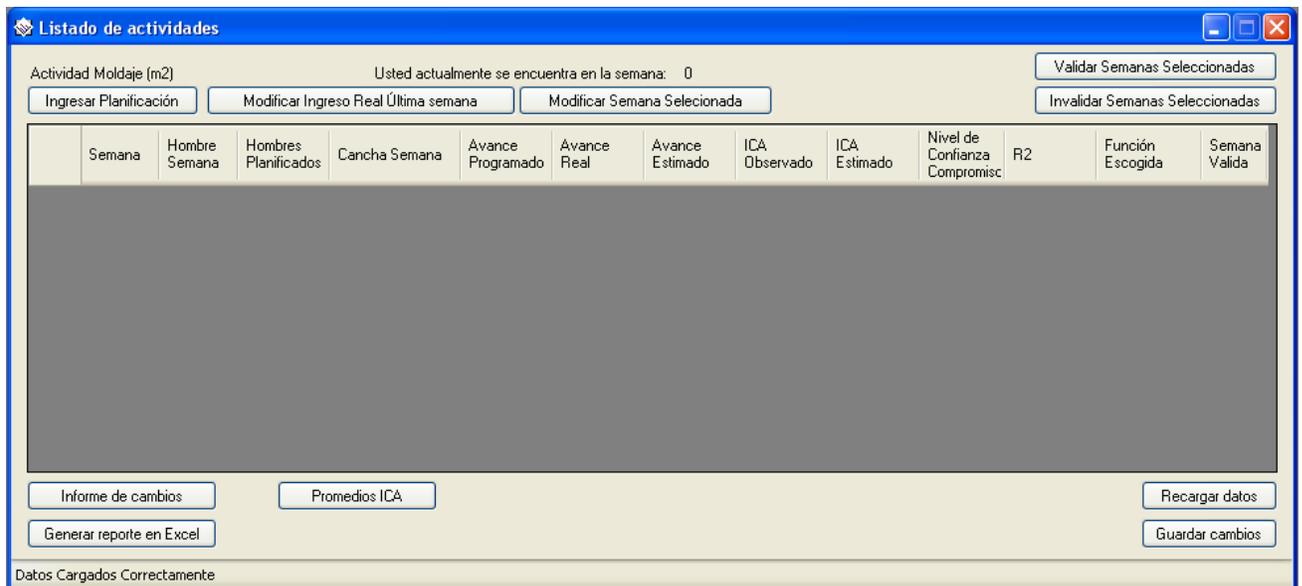
4. Una vez definida la actividad, abrir la actividad.



5. Seleccionar actividad y presionar “Listar Actividad Seleccionada”



Una vez hecho esto último, se desplegará la siguiente pantalla:



6. Al comienzo de la semana ingresar información de la PLANIFICACIÓN. Presionar “Ingresar Planificación”. Se desplegará la siguiente pantalla:

Ingresar el “Avance Programado para la semana”, la cantidad y unidad de medida de la “Cancha para la semana” y los “Hombres Planificados”

El avance programado es la cantidad de trabajo que se tiene planificado hacer esa semana para esta actividad. Por ejemplo para esta semana se planificaron 100 m² de moldaje.

La cancha tiene que ver con la liberación de restricciones que tenga un actividad.
 Ej1. si se desea pintar 10 salas de un colegio, y 6 de estas salas están en perfecto estado para ser pintadas, mientras que 4 aún no han sido preparadas por los maestros enyesadores, es decir no han sido emparejadas, la cancha que tienen los pintores es de 6 salas. También se podría medir por metros cuadrados.
 EJ2. se desea instalar el moldaje en 3 muros de hormigón que se van a construir, y en dos de estos muros aún no se pone la enfierradura, la cancha que tienen los maestros de moldaje es de 1 muro.

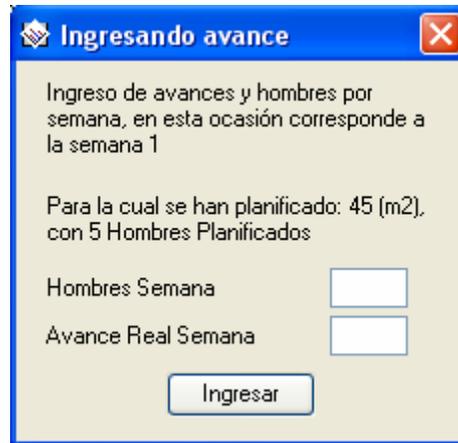
La cantidad de hombres planificados se calcula de la siguiente manera:

	L	M	X	J	V	Suma
Cantidad de hombres	3	2	3	4	3	15

Cantidad de Hombres Planificados: 15

Finalmente guardar los datos ingresados en “Guardar cambios”

7. Al finalizar la semana registrar los valores reales de hombres semana y avance semanal. Para esto presionar “Ingresar Hombres-semana y avance Real”. Se desplegará la siguiente pantalla:

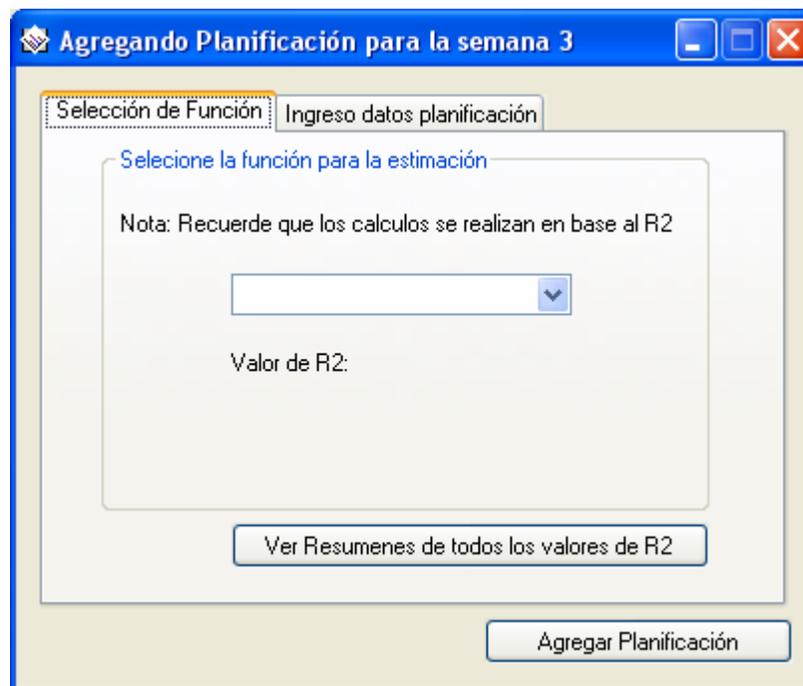


The screenshot shows a dialog box titled "Ingresando avance" with a close button (X) in the top right corner. The text inside reads: "Ingreso de avances y hombres por semana, en esta ocasión corresponde a la semana 1". Below this, it says: "Para la cual se han planificado: 45 (m2), con 5 Hombres Planificados". There are two input fields: "Hombres Semana" and "Avance Real Semana". At the bottom, there is a button labeled "Ingresar".

Presionar “Ingresar”

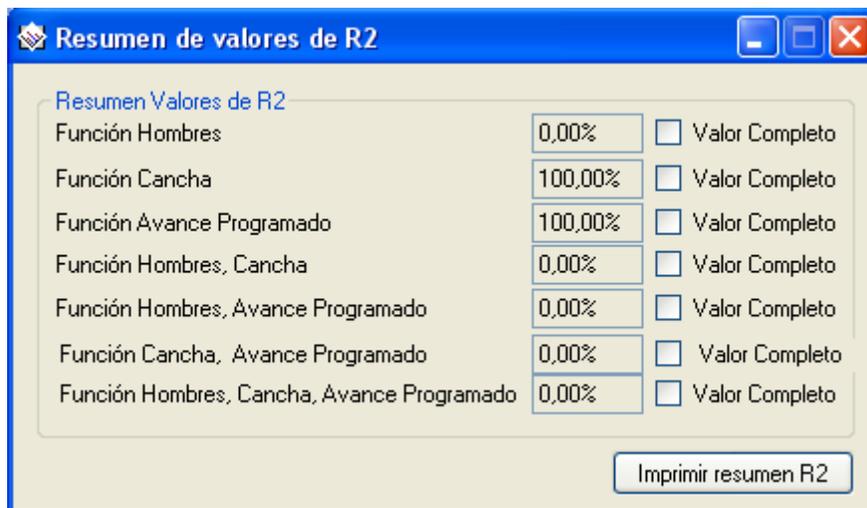
8. Finalmente presionar “Guardar cambios”

9. A partir de la tercera semana al presionar “Ingresar Planificación” se desplegará la siguiente pantalla:



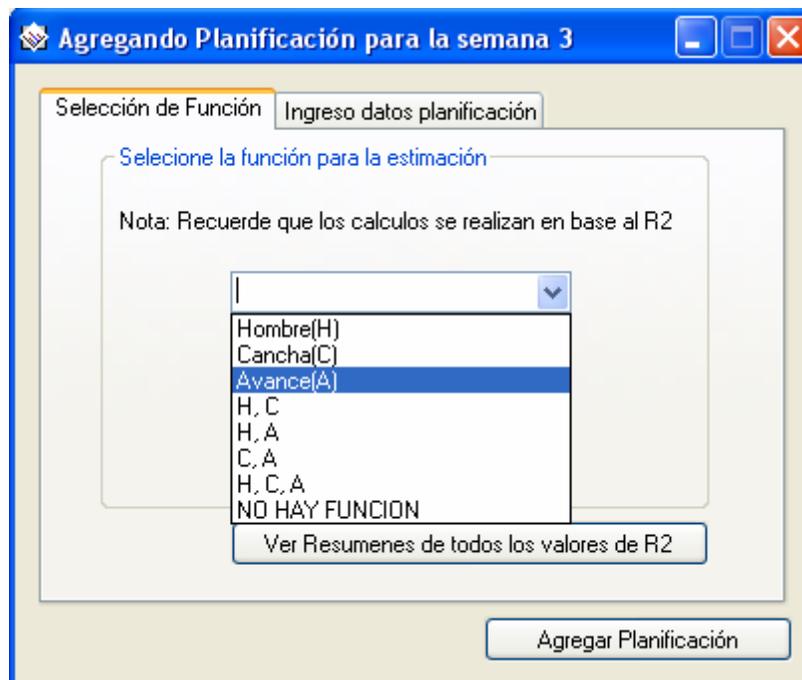
The screenshot shows a dialog box titled "Agregando Planificación para la semana 3" with standard window controls (minimize, maximize, close) in the top right corner. The main content area has a tab labeled "Selección de Función" and a sub-tab "Ingreso datos planificación". The text inside says: "Seleccione la función para la estimación". Below this is a note: "Nota: Recuerde que los calculos se realizan en base al R2". There is a dropdown menu for function selection. Below the dropdown is the label "Valor de R2:". At the bottom of the main content area is a button labeled "Ver Resúmenes de todos los valores de R2". At the bottom of the dialog box is a button labeled "Agregar Planificación".

Presionar “Ver resúmenes de todos los valores de R2” y detectar la función con R^2 mas alto.



En el ejemplo la “Función cancha” y la “Función Avance programado” tienen los mayores valores. Cerrar la ventana.

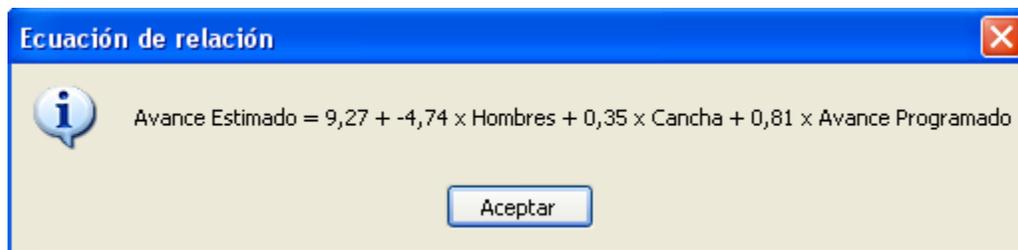
Volver a la ventana anterior y seleccionar la función con mayor r^2 , como en el ejemplo ya vimos que son la “Función cancha” y la “Función Avance programado”, seleccionamos cualquiera de las dos.



Para obtener la expresión de la función con mayor r^2 , seleccionar “Ver Función de Estimación”



y se desplegará la siguiente ventana señalando la expresión de la función:



Luego dirigirse a la ventana Ingreso datos de planificación y efectuar los pasos 6, 7 y 8.

ANEXO B: RECOMENDACIONES PARA MEJORAMIENTO DEL SOFTWARE RCM-PLAN¹

1. Al momento de ocupar cualquier herramienta de modelación, los resultados deben satisfacer restricciones básicas relacionadas con el contexto en el que se está trabajando, para que tengan sentido. Con esto último en mente, obtener funciones que dependan inversamente de la cantidad de cancha disponible, del número hombres ocupados o de la programación acordada, no correspondería a situaciones que efectivamente se den en la realidad. Más bien son resultados de problemas puntuales que se han tenido en terreno y que generan funciones conceptualmente erróneas. El programa RCM debería tener algún mecanismo que notifique la generación de este tipo de funciones, esto es cuando alguno de los beta o coeficientes de estimación que acompañan a los valores de cancha, hombres-semana o avance programado es negativo.
2. En algunos computadores con sistemas operativos Windows XP, para poder ocupar el programa adecuadamente hay que cambiar en la configuración regional el símbolo de separación de miles a coma (,) y el símbolo de decimal a punto (.).
3. El programa no permite cambiar de nombre los archivos creados.
4. Una forma poseer un mejor control a lo largo del tiempo, sería agregar la opción de archivar la semana calendario en que se efectúa cada avance.
5. La generación de gráficos que el programa efectúa debería tener el nombre del gráfico y las unidades correspondientes.
6. El programa no debería permitir la creación de dos archivos con el mismo nombre.
7. Cuando se están ingresando los valores de planificación (Hombres-semana planificados, Avance Programado y cancha disponible), sería apropiado que el programa desplegara

¹ Recomendaciones para RCM-plan V.2. Febrero del 2009

todos los avances posibles según las posibles combinaciones disponibles. Así sería más fácil para la oficina técnica que combinaciones arrojan resultados realistas y cuales no.

8. Al ingresar los valores reales al finalizar la semana, se debería indicar cual hubiera sido la estimación si se hubiera programado con el valor de hombres-semana real.
9. El ranking de funciones debería corresponder a un ranking que informe con que funciones se hubieran obtenido mejores estimaciones.
10. Al cerrar la ventana de alguna actividad el programa no da la opción de “Cancelar”, la orden.
11. Al ingresar el valor de avance real el programa podría señalar la combinación que se hubiera acercado más a este valor.
12. El software debería tener una opción para generar gráficos de Avance Real v/s cancha y Avance Real v/s Hombres-Semana.

ANEXO C: MANUAL DE TRASPASO DEL MODELO

IMPLEMENTACIÓN

del modelo de compromisos racionales

en Edificio I, Clínica Dávila

INVESTIGACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO
DE LA REUNIÓN SEMANAL

Proceso de traspaso

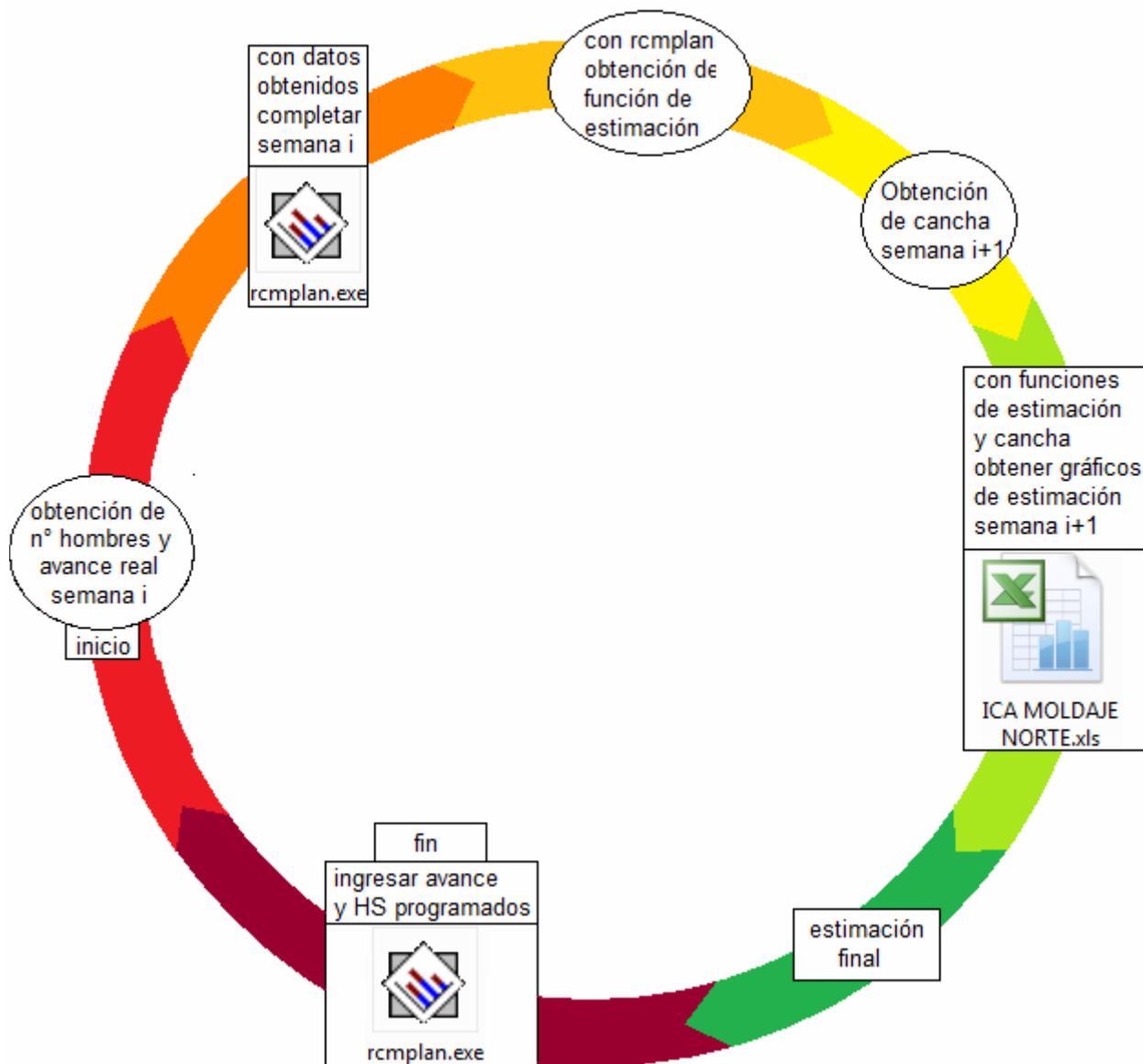
Dentro del proceso de implementación del modelo de compromisos racionales, se encuentra la etapa de traspaso. En ella se entrega el sistema a la oficina técnica para que ésta lo administre semanalmente sin necesidad de una asesoría externa constante. Para facilitar este traspaso se elaboró este manual. En él se explican a grandes rasgos las etapas que se deben seguir para llegar a la reunión con estimaciones adecuadas del avance de producción. En este manual se explica el proceso que hay que efectuar, sólo cuando la toma de datos ya ha tomado un ritmo constante, como es el caso de la construcción del Edificio I de la Clínica Dávila. El éxito de la implementación de esta etapa es significativamente dependiente del compromiso que la oficina técnica tenga con el proceso semanal para obtener resultados confiables.

Felipe González Cerda

Las herramientas con las que se prepararan las estimaciones son:

- El software RCM
- El archivo Excel que despliega los gráficos

El proceso que conduce a la estimación en una reunión semanal, se esquematiza de manera resumida en la siguiente figura:



En detalle, los pasos a seguir para realizar las estimaciones semanales son los siguientes:

PASO 1

Como primer paso, ingresar en el software “**RCM Plan**” los valores de hombres reales y avance real de la semana que está terminando. Estos valores se obtienen de la planilla “**Control Producción DAVILA EDIFICIO I - Obra Gruesa**”.

Semana	Hombre Semana	Hombres Planificados	Cancha semana (kg)	Avance Programado	Avance Real	Avance Estimado	ICA Observado	ICA Estimado	Nivel de Confianza Compromiso	R2	Función Escogida	Seman Valida
5	56	56	10397	25945	17583	13105,86	67,770%	50,514%	74,537%	1,00	H, C, A	<input checked="" type="checkbox"/>
6	83	83	3817	19500	21098	19100,71	100,000%	97,952%	97,952%	0,93	H, C, A	<input checked="" type="checkbox"/>
7	58	58	9776	25043	38118	15334,14	100,000%	61,231%	61,231%	0,93	H, C, A	<input checked="" type="checkbox"/>
8	55	55	9459	22720	23825	19298,86	100,000%	84,942%	84,942%	0,16	H, C, A	<input checked="" type="checkbox"/>
9	61	61	5181	8097	11674	15482,05	100,000%	100,000%	100%	0,14	H, C, A	<input checked="" type="checkbox"/>
10	71	71	9585	27441	20253	23893,22	73,806%	87,071%	82,027%	0,26	H, C, A	<input checked="" type="checkbox"/>
11	96	91	10927	19102	26878	25195,05	100,000%	100,000%	100%	0,24	H, C, A	<input checked="" type="checkbox"/>
12		81	4072	15362		17442,56	100,000%	100,000%	100%	0,28	H, C, A	<input type="checkbox"/>
13											H, C, A	<input type="checkbox"/>

		M	X	J	V	S	D	L	
		06-ene	07-ene	08-ene	09-ene	10-ene	11-ene	12-ene	
									SUMA
Producción Diaria (M2)	REAL	8996	2451	3658	3504			2920	21529
Cantidad Inst. Acum. (M2)		384.869	387.320	390.978	394.482			397.402	
Atraso Respecto a Program		117624	117690	116548	115561			120199	
Cuadrilla (HD)		15	15	12	25			14	81
Rendimiento (M2/HD)		599,7333	163,4	304,8333	140,16			208,5714	
Rendimiento (Media Móvil)		276	277	288	276			272	

PASO 2

Una vez ingresados los valores en el software “**RCM Plan**” del Paso 1, presionar “Ingresar Planificación”, se desplegará una ventana en la cual se debe seleccionar la función para la estimación. La función más adecuada para la estimación corresponde a la que tenga un valor de R2 más alto. Como ayuda, para conocer los valores de R2 de todas las funciones, presionar “Ver Resúmenes de todos los valores de R2”, se desplegará una ventana con el valor R2 de todas las funciones. Cuando se tenga conocimiento de cual es la función con mayor R2 cerrar la tabla de resumen de valores R2, y seleccionar la función adecuada.

Una vez seleccionada la función de estimación, presionar “Ver Función de estimación”.

Semana	ICA Observado	ICA Estimado	Nivel de Confianza Compromiso	R2	Función Escogida	Semana Valida
5	67,770%	50,514%	74,537%	1,00	H, C, A	✓
6	100,000%	97,952%	97,952%	0,93	H, C, A	✓
7	100,000%	61,231%	61,231%	0,93	H, C, A	✓
8	100,000%	84,942%	84,942%	0,16	H, C, A	✓
9	100,000%	100,000%	100%	0,14	H, C, A	✓
10	73,806%	87,071%	82,027%	0,26	H, C, A	✓
11	100,000%	100,000%	100%	0,24	H, C, A	✓
12	100,000%	100,000%	100%	0,28	H, C, A	✓
13	100,000%	100,000%	100%	0,28	H, C, A	✓

Se desplegará una ventana con la información correspondiente a la función de estimación. Registrar esta función.

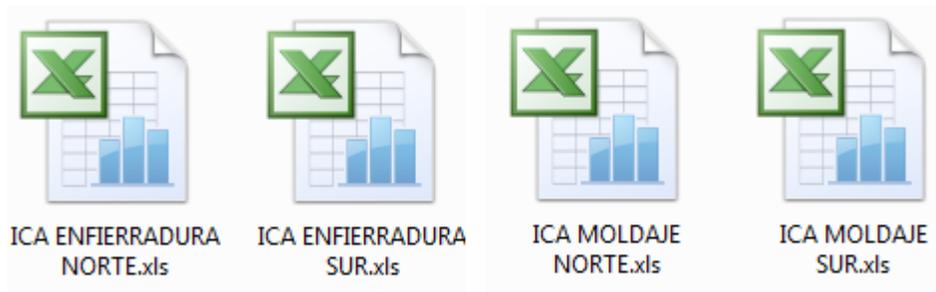
Ecuación de relación

Avance Estimado = 2619,80 + 93,21 x Hombres + 0,46 x Cancha + 0,48 x Avance Programado

Aceptar

PASO 3

Para efectuar este paso es necesario haber obtenido y cubicado la cancha disponible. Una vez efectuado lo anterior, abrir el archivo Excel apropiado según la actividad que se esté midiendo, para graficar la función de estimación obtenida en el Paso 2.



Dentro de la planilla ingresar los valores obtenidos en el software “**RCM Plan**” de la función de estimación.

$$\text{Avance Real} = \alpha \cdot \text{HS} + \beta \cdot \text{Cancha} + \gamma \cdot \text{Avance Programado} + \varphi$$

$$\text{Avance Programado} = \frac{\alpha \cdot \text{HS} + \beta \cdot \text{Cancha} + \varphi}{\text{ICA} - \gamma}$$

Valores de regresión programa ICA

α	93,21
β	0,46
γ	0,48
φ	2619,8

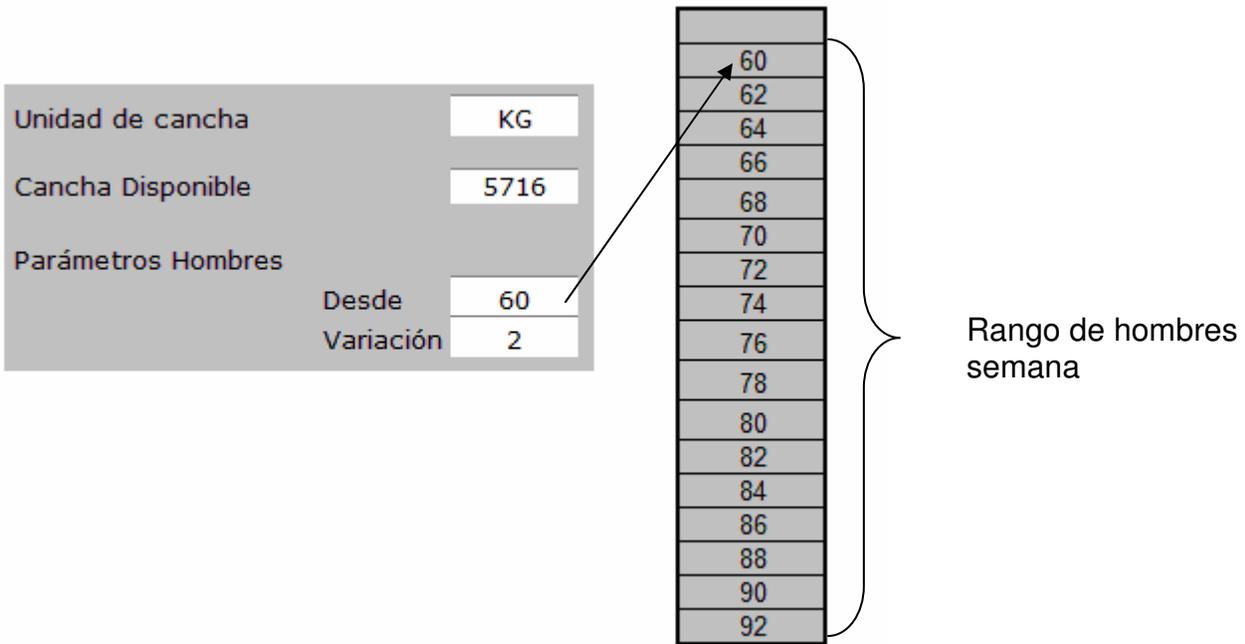
Ecuación de relación

Avance Estimado = 2619,80 + 93,21 x Hombres + 0,46 x Cancha + 0,48 x Avance Programado

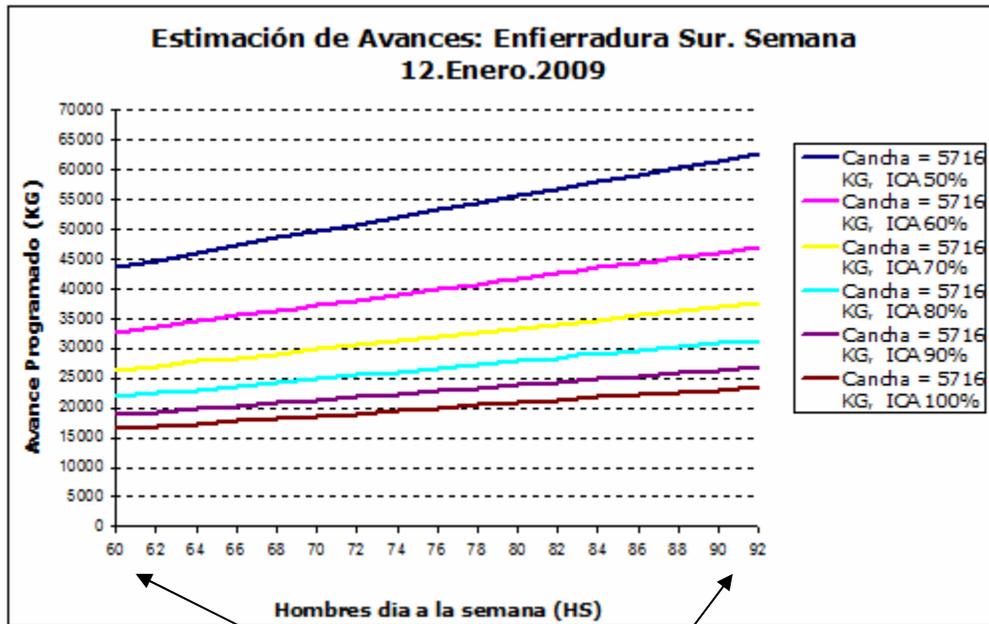
Aceptar

PASO 4

Ingresar en el mismo archivo Excel de la actividad que se esté midiendo, la unidad y valor de la cancha disponible. También según la cantidad de días que se vayan a trabajar estimar un rango de hombres semana que vendrán.



Adecuar el rango de hombres semana del gráfico al rango escogido

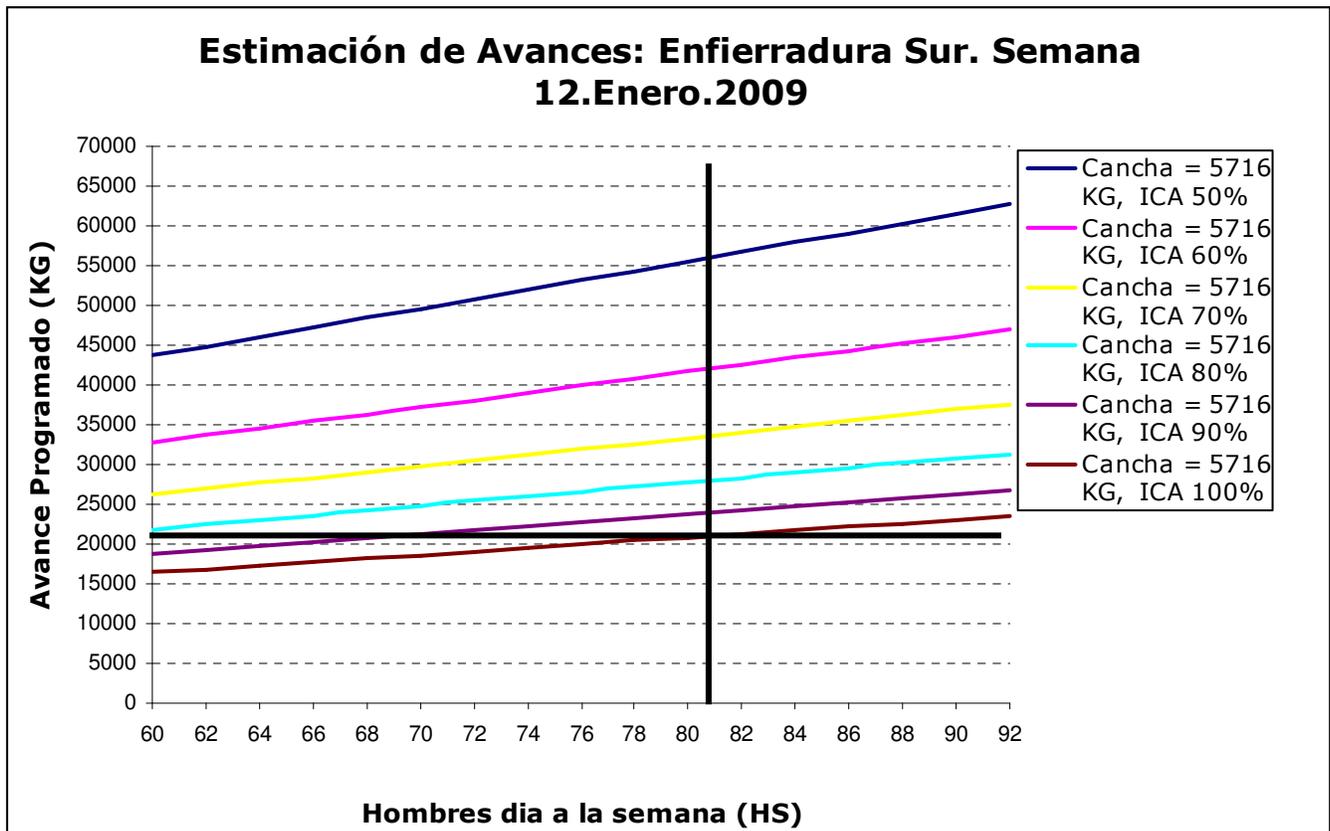


Rango Hombres Semana

PASO 5

Este paso se refiere a la estimación que se entrega en la reunión. La idea es relacionar la cantidad de hombres semana con el avance que podrían realizar en una semana.

Elegir un número de hombres semana y trazar una vertical. A la vez elegir una cantidad de avance para la semana y trazar una horizontal.



El punto de intersección de las dos rectas indicará cual será el porcentaje de cumplimiento de la actividad con la cantidad de hombres y el avance elegido. Por ejemplo en la figura la intersección esta sobre la recta con un ICA de 100%, luego el compromiso tendrá un cumplimiento de 100%.

La idea es que la intersección de las rectas esté siempre cercana a la recta del 100%. Si está arriba de esta recta quiere decir que el compromiso probablemente no se cumpla a cabalidad. Si está por debajo probablemente se esté programando de forma conservadora.

PASO 6

Para finalizar, después de la reunión se ingresan los valores de Cancha, Hombres planificados, y avance programado en el programa RCM.