

Universidad del Bío-Bío

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Profesor Guía: Rodrigo González Rivera

Ingeniero Supervisor: Marcos León Manríquez

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA COMBINADO DE PLANIFICACIÓN LAST PLANNER Y PROGRAMACIÓN RÍTMICA EN PARTIDAS DE TERMINACIÓN”

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener
el título de Ingeniero Civil

EDER MAURICIO ULLOA SOTO-AGUILAR.

Concepción, Agosto 2016.

DEDICATORIA

Tata “Mino”

Por tus enseñanzas de vida... Esto es para ti.

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este proyecto de título, culmina una etapa muy importante en mi vida, por lo que debo agradecer a quienes fueron partícipes de poder terminar este desafío.

Primeramente agradecer a Dios por darme el privilegio de poder estudiar y terminar esta carrera. Agradecer de igual manera a mi familia, que fue un apoyo incondicional durante este proceso universitario, agradecerle a mis padres Miguel Ulloa y Ercira Soto-Aguilar por el esfuerzo que realizaron para entregarme las herramientas y así, poder desenvolverme en la vida, y como no, agradecer a mi hermano “Fonchi” por animar y sacarme más de una sonrisa en los momentos de estrés universitario.

A mis amigos de la Iglesia Metodista de Penco, y a los compañeros de universidad que fueron de gran apoyo en momentos de estudio.

También agradecer a la empresa constructora Claro Vicuña Valenzuela, por la oportunidad de realizar mi proyecto de título en la Obra Edificios Civic 2 y 3, especialmente agradecer a Don Marcos León, administrador de Obra del Proyecto Civic e Ingeniero Supervisor de este proyecto de título.

Agradecer a todos mis profesores, en especial a Eric Forcaél Durán, quien me apoyó desde el comienzo en este desafío, y al Sr. Rodrigo González, profesor guía en esta etapa final de la carrera.

Nomenclatura

Cancha: Área de trabajo disponible para trabajar.

CNC: Causas de No Cumplimiento.

Cuadrilla: Conjunto organizado de personas que realizan un trabajo o llevan a cabo una actividad determinada.

GG: Gastos Generales.

HH: Hora Hombre.

Holgura: Tiempo superior al necesario para ejecutar una actividad en obra.

ITE: Inventario de Trabajo Ejecutable.

K: Velocidad de construcción.

N: Número de elementos repetitivos.

O: Operaciones Repetitivas.

Partida: Actividad o tarea a realizarse en una obra de construcción.

PPC: Porcentaje de Plan Completado.

Ritmo: Tiempo común para ejecutar las diversas partidas críticas. Utilizado para realizar elementos repetitivos.

R: Ritmo.

T_t : Tiempo total.

Implementación De Un Sistema Combinado De Planificación Last Planner Y Programación Rítmica En Partidas De Terminación.

Eder Mauricio Ulloa Soto-Aguilar

**Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
Edeulloa@alumnos.ubiobio.cl**

Rodrigo González Rivera

**Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
rgonzalez@constructoraecofer.cl**

RESUMEN

La industria de la construcción se ve afectada por la incertidumbre de las fechas de entrega de los proyectos, lo que por lo general provoca atrasos en los plazos generando pérdidas tanto a las constructoras como a las inmobiliarias. La principal razón del atraso es la falta de seguimiento y control de las obras.

El objetivo de este trabajo es combinar la metodología de planificación Last Planner y la técnica de programación de obras denominada “programación rítmica”, con la finalidad de generar mayor control y provocar un aumento en la productividad.

Para lograr el objetivo planteado se utilizó como base, el control llevado en la obra Civic 2 y 3 de la empresa Claro Vicuña Valenzuela, la cual llevaba a cabo la metodología de control Last Planner, y también se esboza el uso de programación rítmica para poder realizar las mediciones de los tiempos de ejecución de las partidas.

Con la elaboración de la metodología se aumentaría la productividad y disminuiría la incertidumbre en las obras de edificación en altura, ya que se tendría un mayor control de rendimientos de las partidas, generando indicadores que serían evaluados semanalmente y se crearían alertas diarias con una planilla de seguimiento. Al generar la programación rítmica de la obra, cada integrante debe cumplir con las metas pactadas en la reunión Last Planner, respetando el ritmo estimado para las actividades y, de esta manera, no generar atrasos en la obra.

**Implementation of a combined planning system, Last Planner and Sequential Scheduling,
to finishing items in buildings**

Eder Mauricio Ulloa Soto-Aguilar
Department of Civil & Environmental Engineering, University of Bío-Bío
Edeulloa@alumnos.ubiobio.cl

Rodrigo González Rivera
Department of Civil & Environmental Engineering, University of Bío-Bío
rgonzalez@constructoraecofer.cl

ABSTRACT

The construction industry is affected by the uncertainty projects deadline due to the lack of monitoring and systematic follow-up. Thereby, this causes economic loss for building companies.

The objective of this thesis is to combine the Last Planner methodology and a sequential scheduling technique, aiming to generate a greater control and to reach an increment in the construction productivity.

The action plan to meet this objective has one main component which is based on the control of two projects “Civic 2” and “Civic 3” built by Claro Vicuña Valenzuela Construction Company. These buildings are based on the Last Planner methodology and an outline using sequential scheduling, in order to measure the timing of the activities.

With this methodology, it is expected to increase productivity and reduce the uncertainty in high buildings edification and, as a result, give a greater control in the activities efficiency, producing some indexes which will be evaluated every week and, creating a daily tracking form. Every member ought to accomplish his/her agreed goals, discussed in the Last Planner meeting considering the allotted time.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
NOMENCLATURA	IV
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	6
1.1. CONTEXTO.....	6
1.2. PROBLEMA INVESTIGATIVO	7
1.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.4. OBJETIVOS.....	10
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE	11
2.1. PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN	11
2.1.1. <i>Introducción</i>	<i>11</i>
2.1.2. <i>Tipología de trabajos en la construcción.....</i>	<i>12</i>
2.1.3. <i>Factores que afectan la productividad.....</i>	<i>13</i>
2.1.4. <i>Factores que buscan logran un efecto positivo en la productividad.</i>	<i>14</i>
2.1.5. <i>Secuencia óptima para ingresar con las partidas de terminación en la obra.</i>	<i>15</i>
2.1.6. <i>Las partidas claves que deben entrar en primera instancia son las siguientes según la CDT (2013):</i>	<i>15</i>
2.1.7. <i>Conclusión</i>	<i>16</i>
2.2. LEAN CONSTRUCTION	17
2.3. METODOLOGÍA LAST PLANNER.....	18
2.3.1. <i>Generalidades</i>	<i>18</i>
2.3.2. <i>Programa maestro</i>	<i>19</i>
2.3.3. <i>Programación Intermedia</i>	<i>19</i>
2.3.4. <i>Programación semanal</i>	<i>20</i>
2.3.5. <i>Medición del desempeño del sistema de planificación</i>	<i>21</i>
2.3.6. <i>Conclusiones.....</i>	<i>21</i>
2.4. PROGRAMACIÓN RÍTMICA	23
2.4.1. <i>Generalidades</i>	<i>23</i>
2.4.2. <i>Ecuaciones para establecer las duraciones de las partidas.....</i>	<i>24</i>
2.4.3. <i>Velocidad de Construcción</i>	<i>25</i>
2.4.4. <i>Operaciones con duración diferente al ritmo</i>	<i>26</i>
2.4.5. <i>Partidas con menor duración al ritmo.....</i>	<i>26</i>
2.4.6. <i>Partidas con Mayor duración al ritmo.....</i>	<i>27</i>
2.4.7. <i>Conclusiones.....</i>	<i>28</i>
CAPITULO III: IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA QUE COMBINA LAST PLANNER Y PROGRAMACIÓN RÍTMICA.....	30

3.1.	INTRODUCCIÓN.....	30
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	30
3.3.	IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO	30
3.3.1.	<i>Actividades a controlar.....</i>	<i>31</i>
3.3.2.	<i>Ajuste de ritmo de las partidas.....</i>	<i>31</i>
3.3.3.	<i>Reunión previa a Last Planner</i>	<i>32</i>
3.3.4.	<i>Reuniones Last Planner</i>	<i>32</i>
3.3.5.	<i>Medición en terreno</i>	<i>33</i>
3.3.6.	<i>Verificación del cumplimiento del ritmo.....</i>	<i>36</i>
3.3.7.	<i>Análisis de datos.....</i>	<i>38</i>
CAPITULO IV: DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA		39
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	39
4.2.	SELECCIÓN DE PARTIDAS	39
4.3.	CÁLCULO DEL RITMO.....	39
4.4.	REUNIONES PREVIAS A LAST PLANNER	40
4.5.	REUNIÓN LAST PLANNER	41
4.5.1.	<i>Medición de Porcentaje de Partidas Completadas (PPC)</i>	<i>41</i>
4.5.2.	<i>Medición de Causas de No Cumplimiento (CNC)</i>	<i>42</i>
4.5.3.	<i>Medición de cumplimiento de ritmo</i>	<i>43</i>
4.6.	BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO COMBINADO	45
4.6.1.	<i>Cuando Last Planner funciona mal.....</i>	<i>46</i>
4.6.2.	<i>Cuando programación rítmica funciona mal.....</i>	<i>46</i>
4.7.	INDICADORES DE CONTROL DEL MÉTODO	47
4.8.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL MÉTODO	49
4.9.	POSIBLES PROBLEMAS EN LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO.	50
4.10.	¿CUÁL ES EL BENEFICIO DE LA METODOLOGÍA PLANTEADA FRENTE A LA PLANIFICACIÓN TRADICIONAL?	52
4.11.	EVALUACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PLANTEADA.	53
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		55
REFERENCIAS		59
ANEXOS		60
	ANEXO A1 ELEVACIÓN Y PLANTAS DEL PROYECTO	61
	ANEXO A2 PLANILLA UTILIZADAS EN REUNIONES	68

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 METODOLOGÍA LAST PLANNER.....	19
FIGURA 2 DIAGRAMA DE CÁLCULO PROGRAMACIÓN RÍTMICA (SERPELL BLEY & ALARCÓN CÁRDENAS, 2015).....	24
FIGURA 3 TIEMPOS MUERTOS ENTRE PARTIDAS. (SERPELL BLEY & ALARCÓN CÁRDENAS, 2015).....	27
FIGURA 4 PRINCIPALES CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO	43
FIGURA 5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL MÉTODO COMBINADO.....	49

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 TIPOS DE TRABAJOS QUE EXISTEN EN OBRA (ADAPTADA DE (SERPELL B, 1986))	13
TABLA 2 EJEMPLO DE PARTIDAS PARA SEGUIMIENTO.....	34
TABLA 3 RESUMEN DE ACTIVIDADES POR PISO, INDICANDO DURACIÓN DE PARTIDAS	35
TABLA 4 INDICADORES PARA MEDIR RITMO DE PARTIDAS	36
TABLA 5 RANGO DE VALORES DE TOLERANCIA DE ATRASO.....	38
TABLA 6 EJEMPLO REVISIÓN PPC	41
TABLA 7 EJEMPLO DE CNC.....	42
TABLA 8 CONTROL DE RITMO Y CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD	44
TABLA 9 RANGO DE CUMPLIMIENTO DE PPC	47
TABLA 10 RANGO DE INTERVENCIÓN DE RITMO.....	48
TABLA 11 CLASIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL RENDIMIENTO DE LA MANO DE OBRA.....	48
TABLA 12 COMPARACIÓN DE METODOLOGÍA COMBINADA FRENTE A TRADICIONAL	52

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto

En los últimos años, el mejorar continuamente la productividad optimizando los procesos constructivos en las obras se ha vuelto una necesidad para la industria de la construcción. Debido a esto, se han implementado una serie de metodologías para poder mejorar los procesos constructivos, y de esta manera disminuir los plazos de entrega de proyectos, aumentando la productividad de las obras, optimizando recursos y mejorando la calidad de los productos finales.

En estos tiempos, en la era de lo inmediato, se espera obtener en menor tiempo todo lo que se desea, es por ello que hoy en día los plazos de los proyectos se ven notablemente disminuidos o ajustados, obligando a las constructoras a utilizar nuevos métodos de construcción y forzando a mejorar sus procesos constructivos, de tal manera que asegure un producto terminado sin errores, abriendo la posibilidad de no realizar reprocesos en obra, lo que permitiría minimizar el tiempo perdido al ejecutar nuevamente las mismas actividades.

Teniendo como objetivos mejorar la gestión en la construcción, Koskela (1992) introdujo una nueva filosofía denominada Lean Construction, basado en la filosofía desarrollada por Toyota en los años 50 en Japón, denominada filosofía Lean Production o Sistema Toyota. Este nuevo sistema de construcción sin pérdidas, tiene como objetivo reducir la variabilidad y pérdidas en los procesos, buscando permanentemente agregar valor a dichos procesos. Dentro de Lean Construction se definen herramientas que permiten el cumplimiento de los objetivos de los proyectos, entre las que se encuentran el Sistema Last Planner, metodología que posee distintos niveles de planificación, donde se identifican las restricciones y se tratan de reducir con el fin de ejecutar las tareas a tiempo, evitando los tiempos ociosos. Este sistema apunta a un mejoramiento del trabajo en equipo con la inclusión de los diferentes responsables encargados del proyecto, quienes aportando con su visión ayudan en la identificación de problemas en forma temprana, disminuyendo la incertidumbre y variabilidad del plan, mejorando así la calidad de los compromisos y metas establecidas (Ballard & Howell, 1998).

También con el mismo enfoque de optimizar procesos constructivos, existe la herramienta de programación denominada Programación Rítmica; técnica usada en obras de naturaleza repetitiva, la cual se originó en procesos de línea industrial, en la cual los productos se mueven pasando por distintos procesos que van formando el producto final.

En la industria de la construcción, de igual manera se encuentran procesos repetitivos, pero con la diferencia que el producto permanece fijo y son los recursos productivos (cuadrilla de trabajadores o maquinarias), los que se mueven para lograr el producto final.

La característica principal es que todas las operaciones o actividades que intervienen en la construcción de cada uno de estos elementos repetitivos se realizan en un tiempo común llamado ritmo. El motivo de llevar todas las operaciones a un tiempo común, es eliminar los tiempos muertos (holguras) que se producen en las operaciones de menor duración, haciendo de este modo críticas todas las operaciones y logrando así un proceso continuo (Serpell & Alarcón, 2015).

1.2. Problema investigativo

Hoy en día, la industria de la construcción es una de las más importantes en el país, ya que genera casi 700 mil empleos, generando el 7% del Producto Interno Bruto y un 48% de la inversión en Chile (Banco Central, 2015). A pesar de estos datos, la deficiencia más notoria en esta industria es la gran incertidumbre a la hora de fijar los plazos de entrega de las obras con certeza.

Debido a esto, investigadores del área se han enfocado en identificar y proponer mejoras para ir superando estas falencias. Con los estudios realizados, se ha identificado una variedad de factores que influyen en las deficiencias para cumplir con los plazos, siendo las siguientes las principales:

- a) Planificaciones deficientes, ya que en el programa de construcción típicamente plasmado en una Carta Gantt, no se pueden visualizar completamente las distintas actividades en el espacio-tiempo. Entre las principales falencias que se encuentran dentro de la planificación según Ballard & Howell (1994), se destacan:
 - La planificación no se concibe como un sistema, sino que descansa plenamente en la experiencia del profesional a cargo de la programación.
 - La gestión se enfoca en el corto plazo, descuidando el largo plazo.
 - No se mide el desempeño obtenido.
 - No se analizan los errores en la planificación, ni las causas de su ocurrencia.

- b) Problemas con la fluidez de la comunicación en los integrantes del proyecto.
- c) Falta de participación de las personas de terreno en el programa para poder analizar las reales actividades que se podrán concretar en las fechas programadas. Esta mala comunicación lleva a obtener causas de no cumplimiento.
- d) Falta de claridad en la secuencia constructiva y las partidas a realizar en los plazos establecidos.

Por lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de elaborar una mejor forma de controlar los proyectos, con el afán de minimizar la incertidumbre en la construcción y aumentar la productividad de la misma, generando mayor comunicación entre las líneas de mando, entregando mayor claridad para las actividades a realizar en un corto periodo de tiempo y mostrar cuales son los objetivos a cumplir al mediano y largo plazo.

Es por eso que se planteará la combinación de dos metodologías de control de proyectos; Last Planner y Programación Rítmica. Ambas metodologías por sí solas han dado resultado en las obras donde se han aplicado, pero con la combinación de éstas se espera que generen una sinergia, ya que se fortalecerán mutuamente; mientras que una indica la velocidad de construcción, mediante el ritmo y la secuencia constructiva al entregar los detalles de las partidas a ejecutar, la otra obliga a cumplir con los compromisos pactados en los periodos de tiempo establecidos, los cuales se miden mediante indicadores de cumplimiento de estos compromisos, otorgando además la capacidad de identificar las posibles restricciones, que al liberarlas abre las posibilidades de aumentar la productividad de las partidas y asegurar el ritmo de construcción.

1.3. Alcance de la Investigación

La implementación del método se llevó a cabo en las obras Civic 2 y 3 de la empresa Claro Vicuña Valenzuela, la cual consta de dos edificios de 12 y 14 pisos, los cuales tienen 138 y 150 departamentos respectivamente.

En esta obra se realizaron mediciones en las partidas de terminaciones, los cuales son de una tipología repetitiva que favorece la utilización del método, con lo que se busca poder cumplir con los plazos, generando un ritmo de construcción y un tren de actividades con el afán de eliminar la holgura entre partidas.

Además de la programación rítmica, se utilizó la metodología Last Planner para poder evidenciar restricciones de partidas, asegurar compromisos pactados y elaborar mediciones de los mismos. El análisis de las partidas con Last Planner estará basado en cómo es llevada la planificación durante las mediciones tomadas, y con los indicadores entregados por el método: Porcentaje del Plan Completado (PPC) y Causas de No cumplimiento (CNC), que muestran el comportamiento de la incertidumbre de estos proyectos.

1.4. Objetivos

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema combinado de planificación Last Planner y Programación Rítmica en partidas de terminación en edificación en altura.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a) Examinar el estado del arte sobre Last Planner y Programación rítmica, para generar la combinación de las metodologías.
- b) Elaborar una metodología de implementación combine ambos métodos para llevar el control de las actividades repetitivas en la etapa de terminación.
- c) Aplicar en terreno los métodos combinados.
- d) Proponer indicadores que faciliten el control de las partidas de terminación, para obras de edificación en altura en la industria de la construcción.

CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

Para enmarcar esta investigación fue necesario estudiar conceptos fundamentales del área de la construcción. A continuación se presenta la revisión bibliográfica, sobre dos metodologías de control de proyectos.

2.1. Productividad en la construcción

2.1.1. Introducción

Definición: La productividad se define como la relación entre la producción final y los factores productivos utilizados en la producción de bienes y servicios. De esta manera la productividad es lo que genera el trabajo, la producción por cada trabajador, la producción por cada unidad de tiempo en función del factor del trabajo. Una productividad mayor significa realizar más cantidad de trabajo con los mismos recursos en un menos periodo de tiempo, o hacer lo mismo con menos recursos, ya sea capital, o mano de obra (Sánchez, 2004).

La productividad en la construcción se ve afectada por una gran variedad de factores, que hacen que este trabajo sea muy dinámico a la hora de controlar los proyectos.

La mayor cantidad de veces se culpa a los trabajadores que están en terreno por la falta de productividad en la obra, debido a que los factores que impiden una mejora no son fáciles de identificar o cuantificar.

De manera general los principales factores que afectan a la productividad en las obras son los siguientes (Serpell, 1986):

- a) La administración de la obra.
- b) El entorno en el que se desarrolla la obra, con todos sus participantes.
- c) El tipo y método de trabajo.
- d) El personal del proyecto.

De los factores mencionados, sobre lo que más se puede intervenir para producir un mayor aumento de productividad en la obra, es en la administración del contrato.

El profesional a cargo de la administración debe tener claridad de cómo se llevará a cabo la obra, y por ende debe tener una planificación acabada de la misma. Al ya tener la claridad de cómo se administrará a obra, deben establecer las mejores condiciones para realizar las actividades, analizando la disponibilidad de recursos para cumplir con las partidas programadas.

La comunicación de este plan debe ser declarado de forma clara y oportuna hacia las personas que serán partícipes del proyecto. Utilizando el plan y el programa de trabajo, se debe implementar un sistema o metodología de seguimiento a las partidas durante la ejecución, con el fin de tomar acciones correctivas de manera oportuna para cumplir las metas deseadas.

Con esto se revela que la principal responsabilidad del aumento de la productividad de la obra no se la llevan los trabajadores, por el contrario, ésta recae en el profesional administrador del proyecto, que en definitiva es el encargado de planificar, programar e implementar el programa, haciendo utilización de recursos limitados y controlando de manera eficiente, con la finalidad del aumento de la productividad en la obra (Serpell, 1986).

2.1.2. Tipología de trabajos en la construcción

La construcción se basa en un conjunto de actividades previas, donde interactúan distintos entes con el fin común de obtener un producto final. Es decir, es un proceso productivo y como tal debe ser conducido de la mejor manera posible.

La conducción o administración de la obra se ve envuelta en un proceso dinámico, que está sujeto a una gran cantidad de variables que generan incertidumbre a la hora de gestar las actividades; las principales son las siguientes (Serpell, 1986):

- a) Clima de la zona.
- b) Condiciones físicas del terreno.
- c) Rendimientos que dependen principalmente del ser humano.
- d) El entorno administrativo, legal, contractual, logístico, etc.

La administración tiene como obligación entonces, medir la productividad del trabajo realizado. Pero se debe tener claro que hay diferentes tipos de trabajos para llegar a la obtención del producto final.

En la tabla N° 1 se definirán los tipos de trabajos.

Tabla.1 Tipos de trabajos que existen en obra (Adaptada de (Serpell B, 1986))

Trabajo no contributorio	Es aquel tiempo en el que el trabajador no agrega valor a la ejecución de la obra. Es en proceso donde el trabajador incurre en detenciones por falta de material, falta de instrucciones o traslado por distancias mayores a 10 metros.
Trabajo contributorio	Es aquel trabajo que se debe realizar para que exista el trabajo productivo, o sea, es el trabajo que se realiza como labor de apoyo para que el trabajo productivo pueda ser realizado. Las actividades que están en esta sección son por ejemplo: consultas de planificación, chequeo de partidas, reparación de herramientas, retiro de escombros o basura del lugar de trabajo.
Trabajo productivo	Es aquel trabajo que aporta de forma directa a la construcción con actividades tales como: fabricación, montaje, desmontaje, armado, terminaciones, etc., por lo tanto agrega valor al proyecto.

La productividad se mide sólo con respecto a la cantidad de trabajo productivo, ya que son las actividades que aportan avance físico real a la obra, y por ende agregan valor a la misma. El problema de que sólo se preste atención en las actividades productivas de la obra, es que se dejan de lado las actividades no contributorias, las cuales consumen un tiempo no despreciable, las cuales van restando tiempo para producir. Debido a esto, es importante actuar sobre este tipo de actividades que no agregan valor, para aumentar la productividad de la obra.

2.1.3. Factores que afectan la productividad

Como se indicó, existe una gran variedad de factores que tienen algún tipo de efecto sobre la productividad de la construcción. A continuación se indican las más importantes (Serpell, 1986).

- a) Uso de sobretiempo programado durante largos periodos de tiempo.
- b) Errores u omisiones en planos y especificaciones.
- c) Exceso de modificaciones en el proyecto durante la ejecución de la obra.

- d) Diseños muy complejos y/o incompletos.
- e) Agrupamiento de muchos trabajadores en espacios de trabajos reducidos.
- f) Falta de supervisión adecuada.
- g) Reasignación de la mano de obra, utilizándolos en variadas tareas, impidiendo la especialización y el aprendizaje.
- h) Ubicación inapropiada de los materiales y las bodegas en general.
- i) Temperatura o clima adverso en la zona de trabajo.
- j) Mala o escasa iluminación cuando se necesita.
- k) Napa freática muy superficial.
- l) Falta de material.
- m) Equipos inadecuados para las tareas a realizar solicitadas.
- n) Disponibilidad limitada de mano de obra adecuada.
- o) Composición y tamaño inadecuado de las cuadrillas.
- p) Deficiencia en la toma de decisiones.
- q) Exigencias excesivas de control de calidad.
- r) Características de tamaño, ubicación y duración de la obra, poco motivadoras para el personal.

2.1.4. Factores que buscan lograr un efecto positivo en la productividad.

Los principales factores que causan un efecto que ayudan al mejoramiento de la productividad en la construcción son los siguientes (Serpell, 1986):

- a) Aprovechamiento del fenómeno de la curva de aprendizaje.
- b) Capacitaciones al personal.
- c) Programa de seguridad en la obra.
- d) Uso de equipos adecuados y modernos.
- e) Utilización de técnicas modernas de planificación.
- f) Revisión de diseños para una mejor constructibilidad.
- g) Estandarización de diseños y materiales.
- h) Programación a intervalos cortos a nivel de cuadrillas.
- i) Estimular un espíritu sano de competencia en obra
- j) Usar incentivos en los contratos, para mejorar el desempeño de los contratistas.

- k) Buena supervisión en obra.
- l) Optimización del sistema productivo (instalación de faena)

Los administradores de obra deben conocer estos factores, ya que de esta manera éstos puedan ser minimizados, promoviendo aquellos que producen mayor productividad.

Al realizar esta reflexión, queda de manifiesto que indudablemente la administración de la obra juega un rol principal en la posibilidad de aumentar la productividad, ya que la gran mayoría de los factores destacan la necesidad de una buena dirección y control.

2.1.5. Secuencia óptima para ingresar con las partidas de terminación en la obra.

Como se evidenció en los factores que afectan a la productividad, la toma de decisiones del profesional residente de obra, juega un papel fundamental a la hora de permitir el ingreso de las nuevas partidas, ya que debe nivelar el avance en conjunto con la disponibilidad de mano de obra.

La Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), dependiente de la Cámara Chilena de la Construcción, aconseja una secuencia de entrada de las partidas para aumentar la productividad en la etapa de terminaciones, para evitar reprocesos y eventuales “faltas de cancha”.

2.1.6. Las partidas claves que deben entrar en primera instancia son las siguientes según la CDT (2013):

- a) Instalaciones eléctricas: La tarea de alambrado permite verificar que los conduit no estén obstruidos por hormigón. De esta manera se anticipa a la realización de reparaciones y se evitan reprocesos.
- b) Yeso: Esta partida es una denominada “liberadora de cancha”, ya que permite luego de su finalización el ingreso de partidas como tabiques y puertas, entre otras.
- c) Tabiques: Esta partida es al igual que el yeso una partida “liberadora de cancha”, ya que permite el ingreso de cerámica, eléctricos, cornisas, entre otras.
- d) Nivelación de piso: Esta partida permite hacer ingreso con los distintos tipos de pavimentos a utilizar en los recintos (pisos laminados o alfombras) (CDT, 2013).

La secuencia puede variar entre un proyecto y otro. Se debe tener especial cuidado en no generar avance ficticio, que es la realización de una gran cantidad de trabajo de una partida en específico,

dejando atrás tareas inconclusas, ya que al no terminar por completo estas partidas, se impide el ingreso de las partidas que continúan, provocando tiempos muertos entre las partidas.

El avance ficticio, supone un mayor consumo de recursos y hace más compleja la supervisión y aseguramiento de la calidad de la obra (CDT, 2013).

2.1.7. Conclusión

La productividad de la obra se ve directamente influenciada, por la capacidad que tiene de administrar el profesional residente del proyecto.

Las deficiencias en los procesos constructivos son debido a la mala toma de decisiones por parte de la administración, aunque por lo general se culpa a los trabajadores de una baja productividad.

Para mejorar la productividad y obtener mejores resultados, es de vital importancia que el personal administrativo asuma responsabilidades de planificación, y mantengan una buena comunicación con las personas de terreno, entregando indicaciones claras y de forma anticipada para lograr un trabajo eficiente.

2.2. Lean Construction

La filosofía Lean Construction es una adaptación del modelo Lean Production utilizado en la industria manufacturera. Esta metodología Lean Production fue creada en los años ochenta por la empresa Toyota, con el fin de optimizar sus procesos amentando la eficiencia de la producción.

Considerando como referente la industria manufacturera, a comienzo de los años noventa el “International Group of Lean Construction” (IGLC) desarrolló un nuevo enfoque para ser utilizado en la construcción, denominado “Lean Construction” o “Construcción Sin Pérdidas”, el cual fue planteado por Koskela (1992).

El fin principal de esta filosofía es minimizar las actividades que no agregan valor a los procesos, pero son necesarias para cumplir con los objetivos y eliminar las que no sean necesarias. De esta forma, se pretende cumplir con los requerimientos de los clientes en un menor plazo y con menores costos, satisfaciendo con ello sus necesidades.

La modalidad Lean introdujo al mundo de la construcción la necesidad de prestarle vital importancia a la productividad de la obra, enfocarse en la estabilidad de los procesos constructivos, y a bajar la variabilidad en cada una de las partidas. Con el enfoque Lean Construction se han desarrollado nuevas herramientas, con el fin de reducir pérdidas en los procesos constructivos. Una de estas herramientas de planificación denominada Last Planner (el último planificador) fue creada por Ballard y Howell (1994), la cual presenta nuevas maneras de control y planificación de los proyectos. Esta metodología define unidades de producción y el control de las actividades mediante compromisos y asignaciones de trabajos. También permite la visualización de problemas o restricciones de manera oportuna, permitiendo actuar a tiempo en la toma de decisiones, lo que permite incrementar la productividad del proyecto, ya que las partidas fluirían de forma constante y no se encontrarían con problemas una vez ejecutando la partida.

2.3. Metodología Last Planner

2.3.1. Generalidades

Es una metodología de planificación y control de proyectos, desarrollada por Ballard y Howell en el año 1994 (Ballard & Howell, 1994).

Este método está basado en los principios de Lean Construction, y tiene como fin principal incrementar la confiabilidad de la planificación y con esto mejorar los desempeños, en periodos de tiempo acotados. Para lograr esto, el sistema entrega herramientas de planificación y control para minimizar la incertidumbre en las actividades de la construcción (Campero & Alarcón, 2013).

Planificar consiste en definir lo que será realizado y de qué manera se realizará, y controlar radica en hacer y verificar que lo planificado ocurra. De esta manera, el *Último Planificador* o Last Planner, es quien define las actividades que se realizarán y quien realizará cada trabajo. El último planificador es el que fija las tareas y a la vez controla el trabajo realizado por el personal asignado. Dicho esto, el último planificador es el responsable de la capacidad de las unidades de producción, de sus rendimientos y de la calidad de sus productos (Ballard, 1994).

Conceptualmente, el último planificador es una persona determinada, que puede ser, por ejemplo en la etapa de diseño el diseñador líder, en la etapa general de construcción el ingeniero del proyecto, en una construcción específica el capataz a cargo, entre otros. De acuerdo a la definición de último planificador, es posible que estos sean también capataces, jefes de obra, supervisores, jefes de terreno, subcontratistas, jefes de sección, administradores de terreno y muchos otros actores presentes en los proyectos (Campero & Alarcón, 2013).

En la Figura 1 se muestra la metodología del Last Planner, mostrando claramente tres niveles de actividades:

- a) Se debe: Son las actividades que el programa maestro (Carta Gantt), arroja para cumplir con las fechas del proyecto, identificando hitos y actividades importantes de la obra.
- b) Se puede: Es la programación intermedia de la obra, se contemplan actividades tres a doce semanas, y se analizan las restricciones de las actividades. Una vez liberadas las restricciones se recogen las actividades que se pueden realizar.

- c) Se hará: Estas actividades corresponden a la programación semanal de la obra. Son las actividades que efectivamente se realizarán ya que no tienen restricciones y están liberadas para ejecutarlas.



Figura 1 Metodología Last Planner

2.3.2. Programa maestro

En los proyectos de construcción existe una planificación general o programa de obra, en el cual están involucradas todas las actividades que permitirán el cumplimiento de los plazos del proyecto. Este programa le asigna fechas a los objetivos a cumplir y establece las metas del proyecto, también identifica las actividades importantes que marcan el proceso de la obra, denominadas *hitos*.

El programa maestro se materializa en una carta Gantt, donde se encuentran todas las actividades que se deben realizar, con sus respectivas fechas para poder llevar a cabo el proyecto.

2.3.3. Programación Intermedia

Es un programa de las actividades que se contemplan en un plazo de tres a doce semanas. Su principal objetivo es controlar el flujo de trabajo, entendiéndose como la coordinación de diseño (planos), proveedores (materiales y equipos), recurso humano, información y requisitos previos, que son necesarios para que la producción se lleve a cabo (Campero y Alarcón, 2013).

El número de semanas a proyectarse dependerá de la naturaleza del trabajo a realizar, de la confiabilidad de los proveedores, y de la confiabilidad del sistema de planificación. Típicamente la planificación intermedia involucra de 4 a 6 semanas de trabajo, ya que la incertidumbre sobre lo que vendrá más adelante deja sin sentido un estudio detallado de las actividades a largo plazo.

Las actividades que se seleccionan para la Planificación Intermedia tienen asociadas un conjunto de restricciones, que determinan si la actividad puede o no realizarse. Una restricción es algo que limita de manera en que una tarea es ejecutada (Andrade & Arrieta, 2011).

Las funciones primordiales de esta planificación son: equilibrar carga de trabajo y capacidad, revisar la secuencia de las actividades, desarrollar detalladamente los métodos de ejecución, y mantener un listado de actividades listas para ejecutar (Díaz, 2007).

La idea fundamental de liberar las restricciones de las actividades, es crear un listado de partidas con altas posibilidades de ser ejecutadas, de esta manera, si ocurre que una de estas partidas no logra ser ejecutada, la cuadrilla encargada de realizar esa actividad no quedará ociosa, ya que habrán más actividades por cumplir, y estas actividades se denominan Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE).

2.3.4. Programación semanal

La programación semanal es en la que se requiere un mayor nivel de detalle de las actividades a realizar. Estas actividades serán realizadas por los supervisores de terreno, capataces y otras personas que participen directamente en la ejecución del trabajo.

En esta programación semanal se seleccionan las actividades del inventario ejecutable, que se encuentren dentro de la semana a analizar.

Los planes de trabajo semanales son efectivos, cuando se cumplen cinco criterios de calidad (Autor, Año):

- a) Definición: Las actividades deben ser lo suficientemente específicas para que se pueda el tipo y cantidad correcta de información o materiales. El trabajo se debe coordinar con las distintas especialidades.
- b) Consistencia y legitimidad: Todas las tareas deben ser realmente ejecutables. Se debe tener claridad sobre las tareas que se ejecutarán. Se debe tener certeza si se tiene lo que se necesita de otros. Se debe asegurar la tenencia de los materiales a utilizar para las actividades. Se debe realizar un chequeo sobre las actividades previas a la ejecución de las partidas a realizar.
- c) Secuencia: la selección de las actividades debe ser en orden de prioridades y deben seguir una secuencia lógica de construcción.

- d) Tamaño: se deben determinar los tamaños de las actividades según la capacidad individual o grupal de las unidades de producción antes de comenzar con el periodo de ejecución.
- e) Retroalimentación o aprendizaje: en caso de que las actividades no se logren realizar, se deben identificar las causas de no cumplimientos de las actividades y las acciones que fueron tomadas.

2.3.5. Medición del desempeño del sistema de planificación

El sistema Last Planner necesita medir el desempeño realizado durante la semana que se programó. Para realizar esta retroalimentación, el sistema tiene un método llamado Índice Promedio de Plan Completado (PPC) o también denominado Porcentaje de Partidas Completadas (PPC), y también se evalúan las Causas de No Cumplimiento (CNC).

El PPC es el número de actividades realizadas, por el número total de actividades comprometidas a realizar en un periodo. Cada actividad se evalúa con un 1 si fue completada o con un 0 si la actividad no fue realizada en su 100%. El indicador PPC mide la confiabilidad que existe a la hora de programar en la obra, ya que si tenemos valores de PPC altos, se está frente a una obra que está cumpliendo con los compromisos acordados, por el contrario, si se tienen valores de PPC bajos, quiere decir que no se está programando de buena manera las actividades realizadas en obra.

Como retroalimentación, en las actividades que se le asignó un 0 se busca las CNC, las cuales se analizan en la reunión buscando el motivo del por qué no se cumplió la actividad, analizando los errores cometidos y a la vez aprendiendo de ellos. Con el conocimiento de los errores se toman acciones correctivas para no volver a errar nuevamente.

2.3.6. Conclusiones

Se analiza la obra con tres espacios temporales distintos: programa maestro, programación intermedia, y la programación semanal, que son los que indican una idea global en el caso de las dos primeros niveles de tiempo, y una mirada más detallada de la obra, en el caso de la programación semanal.

La metodología que utiliza Last Planner tiene vital importancia en la reducción de la incertidumbre que envuelve la programación tradicional, aumentando la confiabilidad de la programación de las

actividades. Esto se debe a que se implementa una metodología de diálogo entre los distintos niveles jerárquicos de la obra.

Además de solicitar las actividades a realizar, el programa invita a medir que tan confiable están siendo las planificaciones con el PPC, y si este índice es bajo, se retroalimenta con otro indicador que son las CNC, las que permiten revisar las falencias en nuestra programación y así no cometer los mismos errores.

2.4. Programación Rítmica

2.4.1. Generalidades

La Programación Rítmica es una técnica que se utiliza en actividades con partidas de carácter repetitivo, la cual tuvo origen en los procesos industrializados, en los que el producto iba pasando por distintas etapas hasta lograr el producto final, y los trabajadores eran especialistas en cada estación a la cual llegaba el producto (Autor, Año).

En la industria de la construcción también encontramos procesos repetitivos, pero en contraste con la industria manufacturera, en la construcción el producto está fijo y son los recursos productivos los que se van moviendo y creando el producto final. Este tipo de programación se puede aplicar en viviendas del tipo condominios con viviendas iguales, construcción vertical o en altura, caminos, acueductos y gasoductos, en general toda construcción que tenga secuencias o de carácter repetitivo. En otras palabras, que exista una unidad que pueda ser repetida secuencialmente (por ejemplo: metros lineales de tubería, unidades de vivienda, pisos de un edificio, metros lineales de carretera, etc.).

La principal característica de programar de esta manera es lograr que las partidas repetitivas tarden un tiempo en común denominado “ritmo”. La ventaja de tener este ritmo es la eliminación de holguras o tiempos muertos, producidos por partidas que tengan menor duración al ritmo establecido. De esta manera, las partidas o actividades que entran en la secuencia del ritmo se tornan críticas, creando una linealidad en la programación y formando un proceso continuo de trabajo.

Para llevar a cabo el método de programación rítmica es necesario cumplir una serie de pasos, los cuales se mencionan a continuación (Serpell & Alarcón, 2015):

- a) Realizar una lista de las operaciones repetitivas, agrupándolas en actividades.
- b) Estimar el tiempo requerido para completar cada unidad de producción usando un número razonable de recursos (duración del ritmo).
- c) Evaluar si el ritmo más largo puede ser acertado asignando más recursos, o transfiriendo algunas de las operaciones que componen la actividad a otras actividades.

- d) Repetir con el siguiente ritmo más largo y continuar hasta que todos los ritmos sean aproximadamente los mismos, o sean múltiplos o submúltiplos del ritmo principal.
- e) Usando un formato tipo diagrama de barras, dibujar los ritmos de cada actividad, respetándose todas las restricciones de secuencia entre ellas.
- f) Evitar interferencia física, permitiendo que cada cuadrilla abandone el área de trabajo antes de comenzar con la siguiente actividad (concepto “cancha”).
- g) Verificar que no hay conflictos en la utilización de recursos.

2.4.2. Ecuaciones para establecer las duraciones de las partidas.

Para dar a conocer las ecuaciones que se utilizan para calcular los ritmos y duraciones, se realizará un ejemplo que permitirá comprender de mejor manera la teoría rítmica y cada uno de sus parámetros.

Cuando se programa de forma rítmica, la programación siempre toma forma de paralelogramo (a, b, α), en el cual el lado de “a” dependerá del número de operaciones (O) y del ritmo (R), el lado “b” depende del número de elementos repetitivos (N), y el ángulo α del ritmo.

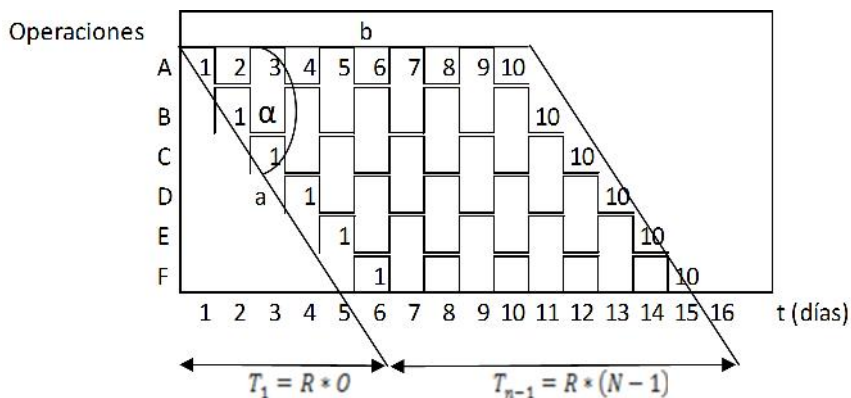


Figura 2.4 Diagrama de cálculo Programación Rítmica (Serpell & Alarcón, 2015)

El tiempo total (T_t) de ejecución de los N elementos está compuesto por T_1 y T_{n-1} como lo muestra la figura 2

$$T_t = T_1 + T_{n-1} \quad \text{Ec. (1)}$$

T_1 es el tiempo que tarda en ejecutarse la primer elemento y es el número de operaciones críticas multiplicado por el ritmo.

$$T_1 = R * O \text{ Ec. (2)}$$

T_{n-1} es el tiempo que se tarda en ejecutar los N-1 elementos restantes, y equivalen al número de éstos multiplicados por el ritmo.

$$T_{n-1} = R * (N - 1) \text{ Ec. (3)}$$

De esta manera, introduciendo los valores de T_1 y T_{n-1} con los respectivos valores obtenidos de las ecuaciones (2) y (3) en la ecuación (1), se obtiene el tiempo total para los N elementos con O operaciones cada uno y el ritmo R.

$$T_t = R * (O + N - 1) \text{ Ec. (4)}$$

Por consiguiente, y de acuerdo con el ejemplo, donde N=10, O=6 y R=1, reemplazando en la ecuación (4) se obtiene:

$$T_1 = 1 * 6 = 6 \text{ días}$$

$$T_t = 1 * (6 + 10 - 1) = 15 \text{ días}$$

Finalmente, para poder realizar la actividad de fundaciones de las 10 casas, tomará un tiempo de 15 días.

2.4.3. Velocidad de Construcción

Para la determinación del ritmo, por lo general se utilizan las duraciones que se repiten una mayor cantidad de veces entre las actividades. Una vez llevadas todas las actividades al tiempo escogido, se tendrán las duraciones finales y podemos procesar la información en nuestra malla de actividades.

Una vez escogido el ritmo, para determinar la velocidad de construcción se asigna un valor a la variable “K” en la ecuación general de la programación rítmica, o sea, la ecuación (4), es decir el

número de elementos a realizar en el tiempo del ritmo. La variable K podrá tomar cualquier valor entero, y será mayor mientras menor sean los plazos para cumplir con la cantidad N de elementos. Al introducir el factor K en la ecuación (4), se obtiene finalmente T_t , expresado en la ecuación (5):

$$T_t = R * \left(O + \left[\frac{N}{K} \right] - 1 \right) \text{ Ec. (5)}$$

Esta última es la ecuación general para el tiempo de ejecución de N elementos, con O operaciones cada uno, contruidos a razón de K elementos, en el tiempo de ritmo R (Serpell & Alarcón, 2015).

El valor de la variable K es fácil de obtener a partir de la ecuación general, una vez teniendo el resto de las incógnitas involucradas en la desigualdad, y siendo todos éstos positivos, puede ser determinado de la siguiente forma:

$$T_t \geq R * \left(O + \left[\frac{N}{K} \right] - 1 \right)$$

$$K \leq \frac{R * N}{[T_t - R(O - 1)]} \text{ Ec. (6)}$$

Evidentemente mientras mayor sea el valor de K, mayor será la cantidad de mano obra a utilizar, ya que será mayor la cantidad de frentes de trabajo. Para valores de K mayores que uno, es posible a veces aprovechar las cuadrillas que terminan una operación, introduciéndolas al inicio de otras.

2.4.4. Operaciones con duración diferente al ritmo

Como se había mencionado, la duración del ritmo se obtiene al acomodar la mayor cantidad de actividades a una misma duración, pero existen actividades que no se logran adaptar al ritmo. En construcción es común observar duraciones de uno o dos días, pero existen actividades que pueden tardar más que estas duraciones o incluso menos (1/2 día por ejemplo).

Una vez determinado el ritmo, es preciso ajustar los tiempos de las demás partidas que se logran adaptar al ritmo. La forma de hacerlo es variando los recursos y los rendimientos de las cuadrillas.

2.4.5. Partidas con menor duración al ritmo.

Como no todas las partidas se ajustan al ritmo, hay algunas que quedan por debajo de éste. En este caso las que tienen menor duración que el ritmo, y que no se pueden modificar para cumplir con el tiempo establecido.

Por dar un ejemplo, si se parte de la base que el ritmo obtenido es de un día, y como una actividad a realizar en una edificación en altura, se está llevando a cabo la postura de espejos en los baños de departamentos, esta actividad tiene una duración de medio día, utilizando una cuadrilla de dos personas. Como el ritmo de la mayoría de las actividades es un día, esta actividad tiene una duración menor al ritmo, por lo que la cuadrilla estaría trabajando solo en la mañana y en las tarde existirían tiempos muertos. La solución sería que sólo trabajara un hombre, modificando el rendimiento de la postura de espejos, pero esta actividad no se puede realizar con sólo una persona, debido a la complejidad y al cuidado que debe tener esta faena. Entonces no se puede aumentar el ritmo, y se deberá quedar con el ritmo menor al establecido. La manera de solucionar este inconveniente, es tener otra actividad que pueda realizar esta cuadrilla también con una duración de medio día, de esta manera estarán trabajando durante toda la jornada, y no existirían tiempos muertos.

De esta forma, la combinación de operaciones permite realizar una mejor utilización de los recursos existentes, al hacer que la cuadrilla rinda la jornada completa, realizando dos o más actividades en el tiempo del ritmo. En el caso de no lograr esta combinación, habría que considerar una cuadrilla por cada operación fraccionaria y los tiempos muertos aumentarían.

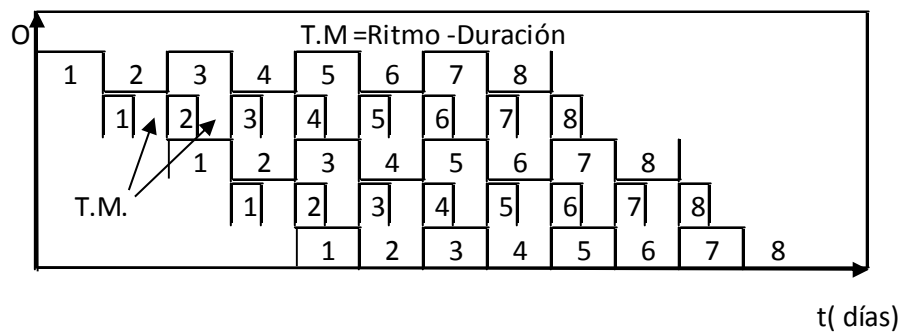


Figura 3 Tiempos muertos entre partidas (Serpell & Alarcón, 2015).

2.4.6. Partidas con Mayor duración al ritmo.

En contraste al caso anterior, hay actividades que no se pueden acortar a la duración del ritmo establecido.

Un nuevo ejemplo sería que, al igual que el caso anterior, se fija el ritmo en un día, y se supone que como actividad se está realizando el enlucido de los muros con yeso dentro de un departamento, siendo el tiempo de ejecución de 2 días, con una cuadrilla de dos personas. En ese caso la actividad supera al ritmo, por lo que para regular esta actividad al ritmo establecido, se tendría que agregar otra cuadrilla para realizar la misma actividad en el mismo lugar. La solución indicada no es factible, ya que no sería muy productivo tener a dos cuadrillas en un mismo lugar realizando este tipo de trabajo, ya que el espacio es reducido y más que aportarse entre ellos, serían una molestia, por lo que la actividad continuaría siendo de dos veces el ritmo.

Como solución a este tipo de actividades, se propone trabajar de manera paralela con dos cuadrillas distintas, con tal que al finalizar estas partidas calcen con el ritmo. Para continuar con el ejemplo, una cuadrilla podría enlucir el departamento 1, 3, 5 y la segunda cuadrilla los departamentos 2, 4, 6, y de esta manera trabajar de forma paralela y calzar con en el tiempo global del ritmo. Al realizar este aumento de frentes de trabajo, se estaría aumentando el valor de la variable K indicada en la teoría.

En definitiva si se tienen operaciones que tardan más de un ritmo, y las duraciones no pueden ser reducidas por más recursos que se le quieran asignar, se deberán utilizar cuadrillas múltiples, es decir, tantos múltiplos del ritmo como sea la duración de la actividad.

Para saber qué cantidad de cuadrillas por operación se requieren, en virtud de la duración de la actividad y el tiempo del ritmo, se utiliza la ecuación (7):

$$\text{N}^\circ \text{ de cuadrillas por operación} = \frac{\text{Duración de la operación}}{\text{Tiempo de ritmo}} \quad \text{Ec. (7)}$$

2.4.7. Conclusiones

El método de programación rítmica, permite organizar la obra mediante compromisos establecidos a través de plazos, que son calculados mediante la actividad que implica mayor cantidad de tiempo, generando un plazo en común denominado ritmo.

Permite generar un orden lógico y secuencial, ya que al utilizar las partidas críticas se centran en las principales actividades que permitirán lograr el objetivo.

Como el orden es secuencial, permite evitar la interferencia física y la duplicidad de utilización de recursos, de manera de poder trabajar sin interrupciones y de manera ordenada.

CAPITULO III: Implementación de una metodología que combina Last Planner y Programación Rítmica

3.1. Introducción

En este capítulo se dará a conocer la combinación de dos métodos de control de proyectos: Last Planner y Programación Rítmica.

La empresa Claro Vicuña Valenzuela está en constante búsqueda de cómo mejorar su metodología de control de proyectos, con el fin de aumentar la productividad de sus obras. Por esta razón, y con la convicción de mejorar aún más sus procesos, se propuso desarrollar la implementación de la combinación de los métodos antes mencionados.

3.2. Descripción del proyecto

Al utilizar la metodología Last Planner en las obras se han obtenido resultados positivos, permitiendo la obtención de datos de rendimientos reales de las tres partidas principales en obra gruesa: enfierradura, moldaje y hormigón (Nova, 2013).

En la etapa de terminaciones no se han registrado datos de rendimientos reales en este tipo de partidas en las obras realizadas, aunque si se ha utilizado la metodología Last Planner para llevar el control de las actividades.

Como método complementario a Last Planner, se ha llevado de manera intuitiva la programación rítmica de la obra, con el afán de llevar registros más detallados del avance de las principales partidas realizadas en las obras, e ir viendo cómo se va comportando la secuencia constructiva y verificar el cumplimiento del ritmo de las actividades.

3.3. Implementación de la metodología de trabajo

A continuación se presentan las etapas que permiten implementar la combinación de ambos métodos, en partidas de terminación para obras de edificación en altura.

3.3.1. Actividades a controlar

Para dar inicio al control de las actividades de terminación, se deben definir aquellas que se van a registrar en obra, desde las primeras actividades denominadas “terminaciones gruesas”, hasta las últimas a realizar dentro de los departamentos llamadas “terminaciones finas”.

Estas actividades se fijan en primera instancia con antecedentes teóricos de obras anteriores; con información de cómo se llevaron a cabo las partidas, logrando un primer listado global de partidas. Luego es necesario observar los nuevos requerimientos o secuencias que se llevan a cabo en obra, relativos a modificaciones de proyecto o ubicación geográfica. Por citar un ejemplo, en la zona sur de Chile es necesario adelantar las partidas que abren la instalación de las ventanas, debido a que en cualquier época del año puede llover y estropear partidas realizadas en el interior. En caso de trabajar en zonas del norte de Chile, o en zonas no lluviosas, la instalación de la ventana no sería una partida crítica de abordar.

Las partidas que se deben controlar son las críticas, ya que son éstas las que al no cumplirse impactan directamente en el aumento del plazo del proyecto. Es de vital importancia ordenar las actividades en la secuencia que se llevará a cabo en obra, para que de esta manera el programa rítmico de seguimiento tenga fluidez, y no existan actividades cruzadas que impidan en curso normal de la obra.

3.3.2. Ajuste de ritmo de las partidas

Una vez determinadas las partidas a controlar es preciso ajustar el ritmo de las actividades.

Como se examinó en la revisión bibliográfica, es necesario buscar la actividad con mayor duración, e intentar ajustarla a un plazo en común, para poder combinarlas con las demás actividades, pero a la vez, es preciso cruzar esa duración común y verificar si sirve este ritmo para cumplir con el plazo requerido. Por plazo de obra y por cantidad de actividades del proyecto, puede que se necesite una cierta cantidad de tiempo por actividad, y el ritmo calculado al verificar la actividad más larga no sea el indicado. Si la duración de la actividad es mayor al ritmo necesario, es preciso aumentar la cantidad de cuadrillas, para poder cumplir con los plazos del proyecto.

3.3.3. Reunión previa a Last Planner

Lo importante de las metodologías, es tener una visión clara de las actividades que se realizarán en los periodos acordados, es por esta razón que es conveniente citar unos días antes a los jefes de terreno, para realizar una primera programación de la semana, con las actividades que ellos ven posibles de lograr. En esta reunión previa, se analizan las posibles restricciones que existirán durante las semanas siguientes, lo que otorga tiempo de reacción para liberar las partidas, y poder conservar el ritmo de construcción.

En la obra donde se aplicó esta metodología, se reunía oficina técnica todos los viernes a programar de manera tentativa las semanas siguientes, con la finalidad de ver un programa trisemanal. Sólo se tomaban en consideración las actividades que el jefe de terreno tenía contemplado abordar, y a estas actividades se les realizaba un análisis de las restricciones que se presentarían, de manera tal de tener mayor cantidad de días para poder reaccionar y liberarlas para su ejecución.

3.3.4. Reuniones Last Planner

Las reuniones de Last Planner son la base fundamental en este proceso de control de proyectos, que es en donde se logra reunir a todos los entes involucrados en la obra. Esta reunión es dirigida por el encargado de planificación del proyecto, y se debe contar con la asistencia de toda la plana administrativa, a saber: administrador de obra, oficina técnica, control de calidad, encargado de costos y subcontratos, recursos humanos y jefe de bodega. Por parte del personal de terreno se debe constar con la presencia de los jefes de terreno de la obra, y supervisores de terreno, tanto de la empresa como de los subcontratistas de cada especialidad.

La asistencia a las reuniones es muy importante, porque es en ese momento dónde se analizan las actividades asociadas al Last Planner, las que corresponden a las siguientes:

- a) Revisión semana anterior: Se analizan las actividades que se habían comprometido a realizar, revisando el cumplimiento de cada una de ellas, por medio de la herramienta del sistema Last Planner (PPC), y revisando las causas de no cumplimiento de las actividades que no fueron realizadas (CNC).
- b) Revisión cumplimiento de ritmo: Se analiza el cumplimiento del ritmo mediante una planilla, que arroja datos de rendimiento v/s tiempo que tardó en ejecutarse la partida. En

el caso de registrar datos negativos, se busca la mejor manera de hacer que el ritmo se cumpla.

- c) Revisión de restricciones: se analiza si las restricciones declaradas la semana anterior se liberaron, y si se cumplieron en la fecha comprometida.
- d) Programación de las semanas próximas: Se realiza un análisis de las actividades a realizar en un periodo de tres semanas, esto enmarcado en el análisis de la programación intermedia, que genera una visión más global de las actividades o genera un objetivo a más largo plazo. También dentro de esta programación, se analizan las actividades que se realizarán en la presente semana con sus respectivos compromisos.

3.3.5. *Medición en terreno*

Una vez definidas las actividades y plasmadas en el registro, se debe realizar un seguimiento periódico a las partidas, pasando por cada departamento y evidenciando los avances realizados.

En obra se le asignó un avance estimativo a cada partida, para poder ir gestando el progreso de cada actividad. En la tabla N° 2 se presenta una planilla de ejemplo, en donde se pueden observar las actividades a controlar, y cada departamento donde se le han de asignar los avances porcentuales.

Tabla 2 Ejemplo de partidas para seguimiento

Ítem	Actividad	Departamentos								
	Terminaciones Departamentos	201	202	203	204	205	206	207	208	209
1	Descarachado De Muros	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	Descarachado De Cielos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	Descarachado De Pisos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4	Lavado, Picado Y Reparaciones	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5	Tapado De Tensores	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6	Descubrir Cajas Eléctricas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
7	Grada De Buque	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
8	Rasgos Ventanas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
9	Rasgos De Puertas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10	Impermeabilización Rasgos Ventanas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
11	Impermeabilización Terraza	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
12	Prueba Impermeabilización Terraza	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
13	Instalación Ventanas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
14	Instalación Extracción	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
15	Instalación Sanitario	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
16	Trazado De Tabiques Metalcon	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
17	Estructuración Tabiques	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
18	Nivelación De Pisos(Si Aplica)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
19	Yesos (Muros Y Cielo)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
20	Tapado Primera Cara	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
21	Instalaciones Eléctricas(Cajas)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
22	Cableado Eléctrico	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
23	Tapado Segunda Cara	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
24	Instalación Volcapol	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Con este modelo de planilla, se ve el detalle de cada actividad que se está realizando dentro de cada departamento, pero también es importante analizar lo que ocurre con cada actividad en un nivel más global. La forma de lograr esta visión más global, es construyendo una planilla con actividades resúmenes por piso, donde se muestre al ritmo que está ajustada cada una de las actividades. De esta manera, con los departamentos resumidos por piso, se logra verificar que se esté dando cumplimiento al ritmo asignado para cada actividad.

En la tabla imagen N° 3 se ve un ejemplo de actividades, con los departamentos resumidos por piso, con sus respectivos plazos de cumplimiento.

Tabla 3 Resumen de Actividades por piso, indicando duración de partidas

Ítem	9- may	16- may	23- may	30- may	6- jun	13- jun	20- jun	27- jun	4- jul	11- jul	18- jul	25- jul	1- ago	8- ago	15- ago	22- ago	29- ago	5-sep		
Descarachado Y Desbaste Muros			P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			P 6 0%			P 7 0%		
Tapado Tensores			P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			P 6 0%			P 7 0%		
Limpieza De Cajas Eléctricas			P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			P 6 0%			P 7 0%		
Gradas De Buque		P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			P 6 0%			P 7 0%			
Remate De Rasgos Ventana			P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			P 6 0%					
Remate De Rasgos Puerta							P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			P 6 0%	
Impermeabilización De Rasgos		P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			P 6 0%			P 7 0%			
Impermeabilización De Terrazas			P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			P 6 0%			P 7 0%		
Instalación De Ventanas			P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			P 6 0%			P 7 0%		
Alcantarillado Y Ductos Shaft						P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			P 6 0%		
Estructuración De Tabiques							P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			P 6 0%	
Retape De Pisos							P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%				
Enlucidos En Hormigón							P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%				
Tapado 1°Cara Tabiques								P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			
Instalaciones En Tabiques							P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%				
Tapado De 2° Cara Tabiques								P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%			
Zócalos Y Dinteles									P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%		
Huinchas En Tabiques									P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%		
Impermeabilización Baños									P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			P 5 0%		
Instalación Tinas Y Receptáculos										P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%				
Cerámicas Baño											P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			
Cerámicas Terraza											P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			
Marcos Y Puertas Interiores											P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			
Guardapolvo											P 2 0%			P 3 0%			P 4 0%			

Al momento de comparar los valores reales con los teóricos, la planilla indicará con colores si estos valores están dentro de rangos aceptables para el control.

Para obtener holguras en la programación se deberán aproximar los valores, de tal manera que al calcular el tiempo real y compararlo con el teórico, se pueda tener un margen de holgura. Por ejemplo, si el valor del ritmo al calcularlo arroja un valor de 2.5 semanas, este valor debe ser aproximado a 3 semanas, lo que da una holgura de un 20% a las partidas. Esta holgura de 20% se utilizará como margen máximo de atraso para las partidas, ya que no generarán retraso en el programa. Sin embargo, hay que tener en cuenta que si esta holgura es muy extensa, se podrían provocar tiempos muertos entre las partidas, si es que la actividad se realiza en el tiempo real estudiado. Con esto nace la pregunta, ¿cuánto tiempo se está dispuesto a aceptar como holgura?, ya que al convertirse en tiempos muertos significaría un costo adicional, debido a que la cuadrilla estaría sin producir. Los costos que involucran el adelantarse o terminar en el plazo sin holgura, son el costo directo que me implica tener a la cuadrilla detenida, hasta cumplir con la holgura que se está tardando la actividad predecesora. No obstante, si no se asumiera una holgura, y se trabajara con los tiempos exactos, el costo de atrasarse en alguna partida sería mayor, debido a que tendría por más tiempo a la cuadrilla que está haciendo el trabajo. Además, se tendría detenida a la cuadrilla que le sigue en la secuencia constructiva y un costo más alto aún, es que al ser actividad crítica, el retraso impacta directamente en el plazo de la obra, lo que provoca un aumento de los gastos generales de la obra.

- Costo por terminar a tiempo (asumiendo holgura): Tiempo muerto de la cuadrilla = $HH * \text{Días sin producir}$
- Costo por retraso de partida: Tiempo extra de cuadrilla * HH + tiempo de cuadrilla sucesora detenida * HH + GG por aumento de plazo.

De esta manera, al adelantarse en la partida y generar tiempos muertos se está provocando un aumento en el costo directo, pero al atrasarse en la partida, se genera también un costo directo y además un aumento en los gastos generales de la obra.

Para medir el cumplimiento del ritmo, se debe utilizar un rango para analizar el rendimiento real versus el teórico; este margen debe ser acordado en una reunión de planificación, debido a que pueden existir diversos criterios, acerca de cuándo una diferencia de rendimiento es considerada aceptable o no.

3.3.7. Análisis de datos

La planilla entrega tres colores de aviso distintos, los cuales indican que rango de atraso se está enfrentando. A continuación se muestra una tabla N° 5 con los rangos de valores.

Tabla 5 Rango de valores de tolerancia de atraso

Color	Margen inferior	Margen superior
Verde	Menor o igual al rango teórico	Un 10 % mayor que el teórico
Amarillo	Un 11% superior al ritmo teórico	Un 30 % mayor que el ritmo teórico
Rojo	Desde un 31% mayor al ritmo teórico	

- a) Color verde: Cuando el valor de ritmo real indica que se está en “verde”, quiere decir que se está dentro del rango permitido, por lo que no hay que intervenir esta partida.
- b) Color amarillo: Cuando el valor arroja color amarillo, es una luz de alerta, por lo que queda al criterio del Administrador, intervenir o continuar ejecutando la partida de la misma manera.
- c) Color rojo: Cuando el indicador entrega un valor en rojo, hay que intervenir la actividad. La manera de intervenir la actividad, además de analizar el ritmo requerido, es observar el rendimiento real de los trabajadores y analizar la manera de intervenir. Para intervenir la actividad está la posibilidad de aumentar la dotación de trabajadores, lo que se debe realizar cuando el valor de su rendimiento es igual o cercano al teórico, calculando la nueva dotación para cumplir con el ritmo. En el caso de que el rendimiento sea muy bajo, es recomendable cambiar a los ejecutantes, ya que de otra manera se utilizaría una gran cantidad de mano de obra.

CAPITULO IV: DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA

4.1. Introducción

En este capítulo se dará a conocer la forma con la que se llevó a cabo la metodología planteada, y los indicadores propuestos para llevar el control de obra. Junto a esto, se presentan posibles problemas que se podrían generar con la implementación, y además se verán ejemplos de costo versus el beneficio y una comparación con la programación tradicional.

4.2. Selección de partidas

En reunión con el residente de la obra y jefe de terreno se analizaron las actividades que se controlarían en la planilla de seguimiento, formando un listado en el cual estaban las partidas críticas y también partidas que no lo eran, éstas últimas no aportan al cálculo del plazo de las terminaciones; sin embargo, son importantes de seguir debido a que otorgan datos del avance y del estado en que están las partidas, notificando también a bodega, la cual cruza información con el stock de material que se encuentra disponible.

De esta reunión se recogió una gran cantidad de actividades, que son típicas del proceso de terminaciones, pero también se debió realizar un análisis de actividades o requerimientos que el proyecto estaba solicitando. Las partidas seleccionadas van desde las actividades gruesas de terminaciones, que son los desbastes, tapados de tensores, etc., hasta las más finas como: instalación de papel mural, instalación de accesorios de baños, remates de pintura, entre otros.

De este conjunto de partidas, tanto típicas como específicas, se realizó una selección de setenta y ocho partidas a controlar en obra, las que serán detalladas en los anexos de este informe.

4.3. Cálculo del ritmo

Para la obtención de ritmo de la obra sólo se realiza con las partidas críticas. Una vez seleccionadas las partidas se procedió a la estimación del ritmo.

Para el cálculo del ritmo se deben utilizar las formulas descritas en la teoría, en las que se considera: el número de actividades repetitivas, los elementos repetitivos, y el plazo que se tiene para completar el proyecto, o en este caso, la etapa de terminaciones.

La manera tradicional es obtener el plazo que tomará ejecutar las partidas, según el ritmo que entrega la partida con mayor duración; sin embargo, en la obra se estimó el ritmo teniendo el plazo de la obra definido.

Como se tuvo el plazo, se debe despejar el ritmo de la ecuación (4), quedando de esta manera.

$$R = \frac{T_t}{O + N - 1}$$

Reemplazando la cantidad de partidas y actividades repetitivas, con un plazo de 5 meses para terminar con las terminaciones, se utilizó un ritmo de 3 semanas hasta el piso 7 en ambos edificios, y 2 semanas desde el piso 8 al 12 en la torre Civic 2, y 1.5 semanas en la torre Civic 3. Estos cambios de ritmos a partir del piso 8, se deben a que se produce un cambio de la dimensión en planta, reduciendo la cantidad de departamentos.

Una vez estimados los tiempos de trabajo por cada partida, y más importante aún, ya definido el ritmo, se está en condiciones de poder construir la planilla, para comenzar con la medición de avance.

4.4. Reuniones previas a Last Planner

En obra se realizaba una reunión los días viernes, en la cual se contaba con la presencia de los jefes de terreno de los edificios, donde se les presentaba la planilla con actividades, y ellos evaluaban las partidas que se comprometían a realizar en la semana próxima. De esta manera, se podía tener un primer indicio del avance que se podría lograr.

Otra gran ventaja de mantener este tipo de reuniones previas con el último planificador, es que si se presentaba alguna restricción se podía actuar de forma inmediata, con el afán de liberarla para poder ejecutar las partidas comprometidas durante la semana, a diferencia de mencionar la restricción en la reunión del día lunes, dónde ya se debería comenzar a trabajar la restricción el día martes, perdiendo días de trabajo.

4.5. Reunión Last Planner

La reunión Last Planner se llevaba a cabo los días lunes de cada semana.

Previo a esta reunión se tomaba el avance de la semana anterior, con el afán de presentar los datos lo más actualizados posible, para generar el avance y el estado de los cumplimientos de las partidas.

4.5.1. Medición de Porcentaje de Partidas Completadas (PPC)

Luego de realizar este análisis, se ingresan los datos a una planilla que genera el porcentaje de cumplimiento de las partidas. En la tabla 6 se muestra un ejemplo de una semana donde se pueden observar las actividades, y si éstas fueron cumplidas.

Tabla 6 Ejemplo revisión PPC

PLAN DE CORTO PLAZO					Semana	Inicio Período:
PROYECTO: CONST. EDIFICIO CIVIC 2 Y 3					63	Fin Período :
Actividad	Semana		Compromisos			71,42%
	Fecha Inicio	Fecha Terminó	Cant.	Cant. Real	Responsable Actividad	
CIVIC 2	04-may	28-abr	100%	0%		
Piso 8	06-ene	08-feb	1%			
Cerámico pisos terrazas	07-ene	08-feb	1%	1%	Wladimir	1
Piso 9	06-ene	11-feb	5%			0
Muebles de closet	20-ene	08-feb	4%	4%	Wladimir	1
Artefactos eléctrico soquete y TDA	22-ene	08-feb	2%	2%	Wladimir	1
Pintura cielo baños (Esmalte Al agua)	25-ene	08-feb	2%	2%	Wladimir	1
Instalación papel mural	29-ene	08-feb	9%	100%	Wladimir	1
Grifería lavaplatos	01-feb	08-feb	9%	9%	Wladimir	1
Embellecedor Vanitorio	02-feb	08-feb	9%	100%	Wladimir	1
Flexibles y llaves de paso cocinas	03-feb	08-feb	9%	8%	Wladimir	0
Hornos eléctrico	03-feb	08-feb	9%	9%	Wladimir	1

4.5.2. Medición de Causas de No Cumplimiento (CNC)

Una vez analizado el PPC de la semana anterior, se analizaban las partidas que no fueron completadas y se les realizaban las consultas a los encargados de las actividades, sobre por qué no se logró realizar la actividad, con el afán de conocer la causa raíz y poder realizar un registro de ésta. Para realizar estos registros también existe una planilla, la cual entrega distintos tipos de posibilidades de causas de no cumplimiento: falta pre-requisito (“cancha”), falta de materiales, falta de mano de obra, cambios de proyecto, falta de equipos-herramientas, mala estimación de rendimiento, problemas de coordinación y seguridad.

A modo de ejemplo, se visualizan en la tabla 7 las Causas de No Cumplimiento (CNC) de algunas partidas.

Tabla 7 Ejemplo de CNC

Actividad		Subcontrato	Falta de “Cancha”	Falta de materiales	Falta de M.O.	Cambios de proyecto	Falta Equipos - Herramientas	Mala estimación rendimientos	Problemas Coordinación	Seguridad	Acción tomada / Responsable / Fecha
Semana	Acumulado										
49	Cerámicas baño				x						Se fueron los ceramistas
49	Cerámicas terraza				x						Se fueron los ceramistas
49	Cornisa zona baño						x				Faltaba rectificar el respaldo
49	Pinturas de puertas								x		
49	Sello Papel				x						
49	Hoja Puerta Acceso								x		Cambio en la secuencia constructiva
49	Cerámicas baño							x			
49	Pinturas de puertas interiores										
49	Losalín en cielos zona seca				x						Se pasó la MO para CV3

Una vez identificadas y seleccionadas las CNC, se construía una gráfica resumen de la semana (ver Figura 4). La semana mostrada será la número 49, para continuar con la tabla anterior.

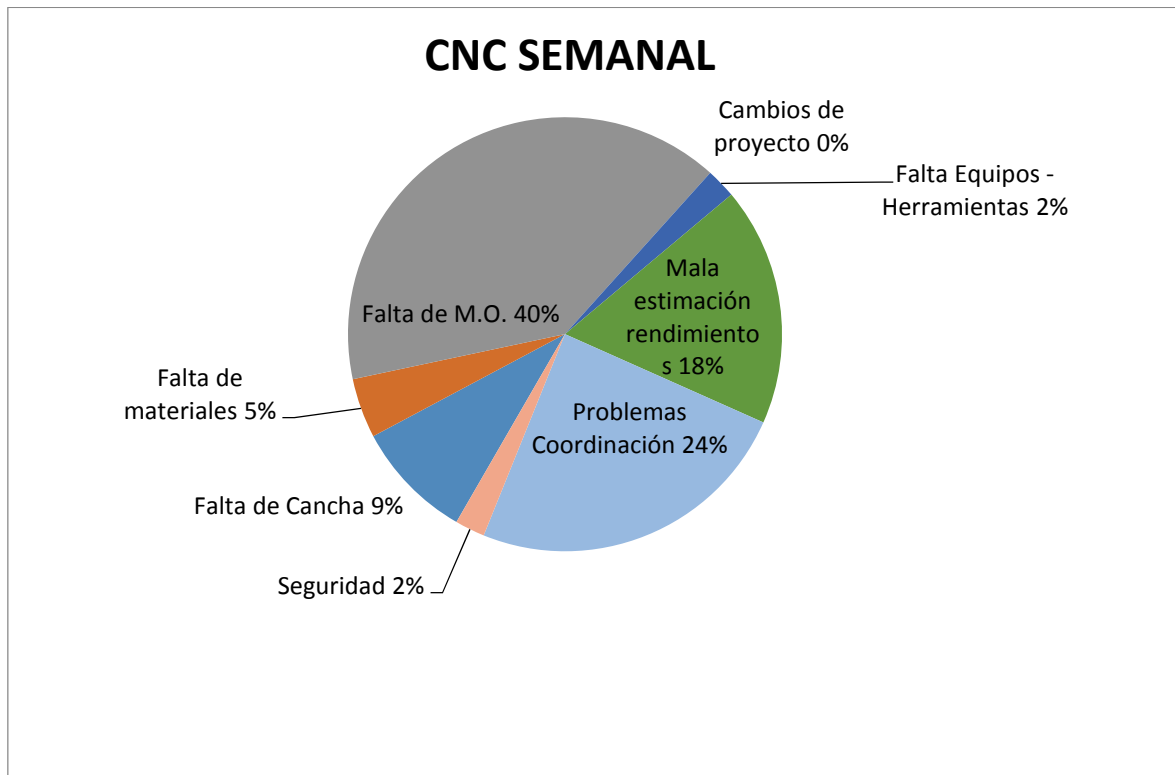


Figura 4 Principales causas de no cumplimiento

En el gráfico de la figura 4 se observan claramente las principales falencias, por las cuales no se logró cumplir con lo comprometido en la semana. Mayoritariamente, el problema fue la poca cantidad de mano de obra para dar cumplimiento a las actividades en el plazo indicado, también se evidencia una mala estimación de rendimientos, ya que se esperaba que se ejecutara más obra en los plazos comprometidos, lo cual se condice con la falta de mano de obra indicada. Por otra parte, el problema más grave que arroja la gráfica, es la falta de coordinación para realizar las partidas, ya que eso indica una falta de comunicación entre las partes involucradas, lo que hace pensar que mejorando esta restricción, se pueden eliminar las restricciones más pequeñas como: falta de herramientas, falta de materiales, cancha y seguridad.

4.5.3. Medición de cumplimiento de ritmo

Esta etapa del proceso no se realizó en obra, ya que no se contaba con el método. Es por ello que se debió crear una planilla para poder plantear la metodología combinada, con la cual se puede

controlar el cumplimiento del ritmo en la obra. A continuación en la Tabla 8 se muestra un ejemplo de control de ritmo.

Tabla 8 Control de ritmo y cálculo de productividad

Partida	Cubicación	Unidad de Medida	Fecha Inicio	Fecha Fin	Tiempo Real	Ritmo Teórico	Mano de obra	Rendimiento real	Rendimiento teórico
Cerámica Baño	500	m ²	20-dic	11-ene	16	10	2	16	25
Yeso cielo/muro	700	m ²	04-ene	20-ene	13	10	2	27	35
Instalación Puertas	70	uni	04-feb	10-feb	5	10	2	7	4
Guardapolvo	500	ml	08-feb		En Ejecución	10	1		50
					0				
					0				

Se observan en la Tabla 8 los tiempos reales y la productividad por cada partida señalada, y también se evidencian los colores que resaltan si el tiempo de ejecución estuvo dentro de lo programado para la partida, lo que ayuda a reflexionar sobre las actividades que se deben intervenir, para mejorar el cumplimiento del ritmo.

Para continuar con el ejemplo, se analizará la manera de solucionar los problemas por los cuales las partidas no están cumpliendo con el objetivo.

- a) Partida de cerámico baño: Lo primero que se debe analizar en el cumplimiento del ritmo teórico establecido. Como evidencia la celda, da un valor y arroja un color rojo, que indica que está fuera del rango permitido, y si no se interviene generará atrasos en el programa. El segundo indicador a analizar es el rendimiento real de la actividad. La partida no tiene un rendimiento óptimo pero si aceptable, ya que la casilla es marcada de amarillo. La solución a este problema de los cerámicos, analizando los datos, se solucionaría incorporando una persona más a trabajar, lo que involucraría abrir más “cancha”, ya que no sería productivo ingresar otra persona más por baño, pues podría disminuir aún más su productividad.
- b) Partida de Yeso en Cielos y Muros: Al ver el cumplimiento del ritmo de esta partida, ésta está en color amarillo, lo que indica se puede o no intervenir, ya que si apelamos a la curva de aprendizaje, en el siguiente nivel podría mejorar el rendimiento y por ende disminuir el tiempo de cumplimiento de la actividad. Debido a la cercanía en la fecha de cumplimiento, queda a criterio del administrador la decisión de intervenir o no la partida.

- c) Instalación Puertas: esta actividad no demuestra problema en sus plazos, y tampoco en la productividad, por lo que no se debe intervenir.
- d) Instalación de Guardapolvo: esta actividad aún está en proceso de ejecución, por lo que es complejo saber qué ocurrirá, pero se tiene la información de la planilla de control de avance para ver en qué estado se encuentra. De igual forma se estaría controlando.

4.6. Beneficios de la utilización del método combinado

Los métodos de planificación Last Planner y Programación Rítmica, por separado han logrado obtener buenos resultados, entregando datos de rendimientos, secuencias constructivas y ritmos de avance.

El beneficio de la Programación Rítmica es precisamente poder controlar el ritmo, que es lo que da la ventaja de tener el control en las partidas, y lo fundamental es que logrando el ritmo se produce un ordenamiento y una secuencia constructiva lineal, eliminando los tiempos muertos entre las actividades, que al aplicarlo en terreno efectivamente ordena la secuencia constructiva del proyecto. Sin embargo, esto no necesariamente implica anticiparse a los problemas, ni a la liberación de restricciones, que es lo que aporta la metodología Last Planner, la cual sí permite tener una mirada más amplia del proyecto, anticiparse a las posibles restricciones que se puedan presentar, permitiendo además controlar el nivel de cumplimiento de las actividades a realizar, en los plazos establecidos.

Según lo estudiado, la posibilidad de combinar estos métodos traería consigo bastantes beneficios a la hora de controlar los proyectos, ya que con el método propuesto se estaría produciendo una sinergia entre ellos, provocando un mejor análisis de los datos de la obra, siendo una nueva herramienta para el aumento de productividad.

A continuación se darán ejemplos de posibles casos donde los métodos funcionarían apoyándose entre ellos.

4.6.1. Cuando Last Planner funciona mal

Si al evaluar el cumplimiento del PPC en Last Planner, arroja valores de cumplimiento bajo, es necesario evaluar el motivo de las Causas de No Cumplimiento (CNC), pero este dato no indica si esa semana se produjo un atraso en obra, debido a que no señala si las actividades que no se cumplieron fueron críticas. Es aquí donde la verificación del ritmo juega un papel fundamental en el cruce de los métodos, ya que se pudo obtener un bajo valor de PPC, pero se pudo o no producir un atraso en obra, debido a que las partidas críticas se pudieron haber cumplido, siendo las actividades de control las que no se cumplieron, no causando con ello incidencia en la duración del proyecto. De esta forma, es posible identificar las actividades que no cumplieron, y si tienen incidencia o no en el plazo del proyecto.

4.6.2. Cuando programación rítmica funciona mal.

Para tener esta condición de un valor de PPC alto, pero malos indicadores en el programa rítmico, las actividades que se realizaron en obra y que se cumplieron en su totalidad, no correspondieron a las críticas. Por ejemplo, de un listado de veinte partidas que deben realizarse, y que de ellas sólo 5 sean críticas. Si ocurre esto, y sólo se trabaja en las partidas no críticas, y todas se cumplen en un 100%, el valor del PPC arrojaría un indicador de 75% de cumplimiento, lo que generaría una sensación de satisfacción; sin embargo, si luego al verificar el cumplimiento del ritmo, se evidencia que esas 5 partidas críticas no fueron realizadas, se estaría frente a un problema, ya que el no cumplimiento de las partidas críticas, afecta directamente en el plazo de ejecución de obra, y con ello un aumento en el costo de la misma, por concepto de gastos generales.

Así, la propuesta de combinación de los métodos se torna favorable y beneficiosa para el control de la obra, ya que obliga a considerar el cumplimiento de dos puntos distintos, observando el cumplimiento global de las partidas comprometidas, y además el control de las actividades críticas, que son las actividades que condicionan el plazo de la obra.

4.7. Indicadores de control del método

Para poder realizar la verificación del método propuesto, se deben controlar los indicadores principales mencionados en cada uno de los métodos. En esta sección se presentará un resumen de los rangos propuestos, que se deben cumplir para que los métodos combinados funcionen de manera apropiada, y se pueda reaccionar de mejor forma respecto a las alertas que muestren las planillas, y saber qué significan los datos obtenidos.

Los tres indicadores principales de la metodología propuesta son los siguientes:

- a) Cálculo de PPC: El cálculo del PPC es el indicador con el que se evalúa la metodología Last Planner, el cual indica la cantidad de partidas cumplidas versus las comprometidas.

Para realizar el análisis, en la tabla 4.7.1 se propone un rango de valores, para la evaluación del método.

Tabla 9 Rango de cumplimiento del PPC

PPC \geq 85%	No es necesario intervenir la partida, sólo hay que analizar las causas de cumplimiento y verificar el estado de las restricciones. No presenta un mayor problema.
50% \leq PPC < 85%	Es necesario prestarle atención a la partida, y analizar las causas de no cumplimiento para asegurar la fluidez de las actividades.
PPC < 50%	Es necesario intervenir las partidas. Se debe modificar cantidad de M.O., verificar la productividad, y realizar un análisis detallado de las CNC.

- b) Cumplimiento del ritmo: Para la verificación del cumplimiento del ritmo, se debe trabajar con la planilla indicada en el método, la cual entrega el tiempo real de la partida y el rendimiento que se tuvo. El cumplimiento del ritmo, en teoría, debe ser del 100%, ya que se calcula con partidas críticas, pero como se indicó se pueden trabajar holguras ocultas en el cálculo del ritmo, por efecto de redondeo hacia arriba para tener un ritmo de unidades discretas. Esto se valora en un 10%. En la tabla 10 se indica el rango de tolerancia en la medición del ritmo.

Tabla 10 Rango de intervención de ritmo

$Rt \geq Rr \leq 1,1 * Rt$	No es necesario intervenir la partida.
$1,1 Rt < Rr \leq 1,3 Rt$	Poner atención a la partida, verificando los rendimientos de la M.O.
$Rr > 1,3 Rt$	Es necesario intervenir, analizando productividad, cantidad de mano de obra, y cancha disponible para realizar ajustes.

Rt: Ritmo teórico Rr: Ritmo real

- c) Calcular rendimiento de partidas: En conjunto con la verificación del ritmo, la planilla indica el rendimiento de la mano de obra de la actividad, que se obtiene de la división de la cantidad de obra a realizar respecto de la cantidad de mano de obra que está ejecutando la partida en un periodo de tiempo. El rendimiento real obtenido por la mano de obra se compara con el rendimiento teórico requerido, y se analiza en que rango de eficiencia se encuentra.

La tabla 11 muestra un cuadro de rangos de calificación de la mano de obra.

Tabla 11 Clasificación de la eficiencia del rendimiento de la mano de obra

EFICIENCIA DEL RENDIMIENTO	RANGO
Muy baja	0%-50%
Baja	51%-84%
Buena	85%-100%

Como se puede observar, el método indica el estado en el que se encuentran las actividades, mediante el envío de alertas de colores, y entrega las posibles acciones a ejecutar al momento de realizar el análisis.

4.8. Diagrama de Flujo del Método

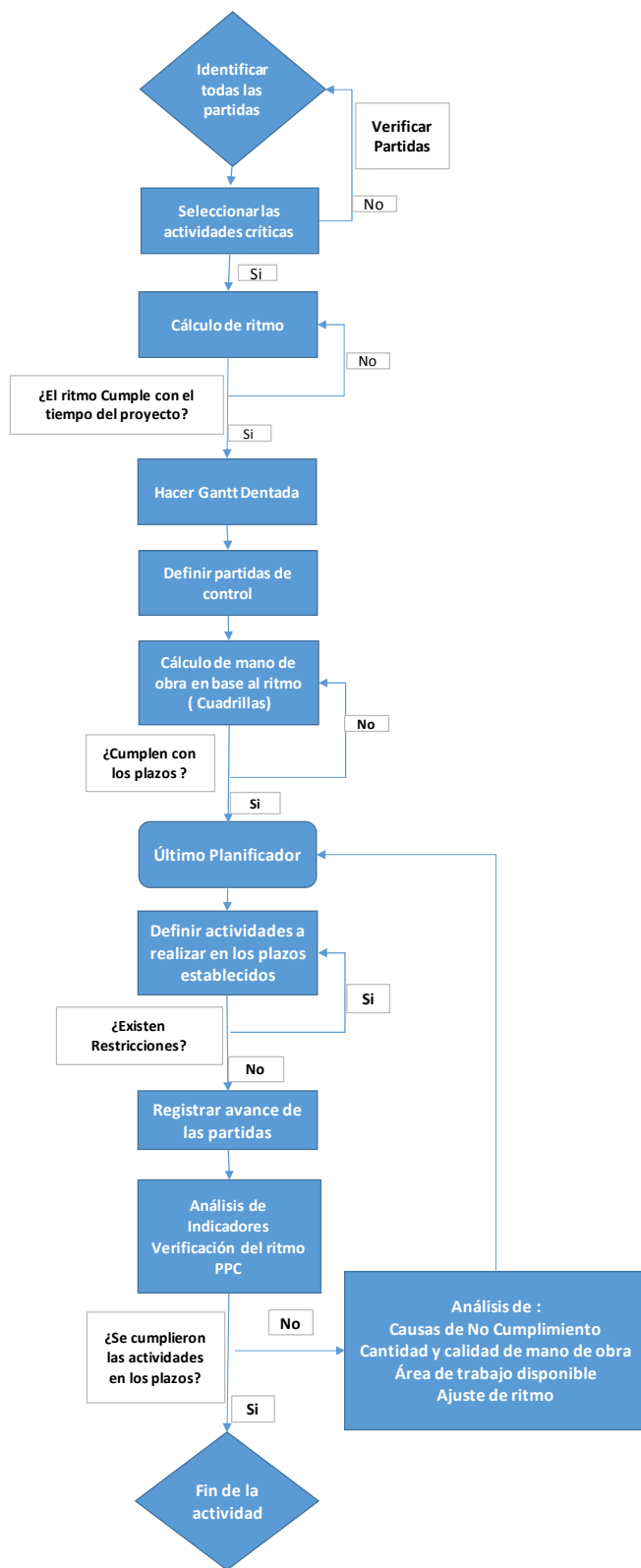


Figura 5 Diagrama de Flujo del Método Combinado

El diagrama de flujo anterior resume la secuencia presentada en la metodología, dónde se muestra los pasos a seguir para cumplir con la verificación de las etapas previas y post al control de las partidas.

4.9. Posibles problemas en la utilización del método.

Como en toda implementación de métodos, existe la posibilidad de encontrarse con problemas en su ejecución, los cuales podrían hacer que no funcionara de manera óptima. A continuación se mencionan algunas de las causas, bajo las cuales el método pudiese no resultar de buena manera.

La determinación de las partidas críticas puede ser uno de los principales problemas que se pueden presentar para la implementación del método. Para verificar estas actividades es necesario analizar los tipos de enlaces que se utilizaron para construir la programación de la obra, ya sea en Ms Project u otro software, además de calibrar la secuencia constructiva que se realiza en terreno, con la finalidad de que la programación se condiga con lo que el programa de obra indica.

De esta forma, se lograrán obtener las reales partidas críticas con las que se realizará el cálculo del ritmo de la obra.

Una vez teniendo el ritmo, es necesario enfrentar un nuevo problema; verificar si el tiempo obtenido sirve para poder trabajar o medir. Se puede dar el caso que el valor sea un decimal y se vuelva complejo controlar el tiempo de trabajo por la unidad de medida a utilizar (días por departamento, semanas por piso, etc.), por eso es necesario calibrar esta unidad de medida a un valor que sea fácil de controlar y lo menos aproximado posible.

Otro problema al momento de aplicar el método, es analizar en qué momento agregar las partidas complementarias para realizar el control. Como se estableció en el marco teórico, el momento de agregar estas partidas de control es después de realizar el cálculo del ritmo, ya que si fuera antes éstas incidirían en el cálculo del plazo del proyecto. Adicionalmente, se debe considerar la cantidad de partidas de control a utilizar, según el grado de detalle que se quiera evaluar, pero recordando que éstas deben estar en orden secuencial, con el fin de entregar información clara y lógica al personal que trabaja en terreno.

Por otra parte, debido a que el ritmo calculado es igual para todas las partidas, habrán actividades que su duración será menor al ritmo, por lo que al generar las cuadrillas existirán tiempos muertos entre sus actividades. Para reducir estos tiempos muertos es necesario crear otras partidas,

posiblemente no críticas, a las cuales asignar estos recursos, de manera que la cuadrilla no quede detenida perdiendo horas de trabajo.

Por el contrario, también pueden existir partidas que tengan una duración mayor al ritmo, y en este caso de deben abrir más frentes de trabajo, y duplicar las cuadrillas que trabajen en paralelo, para de esta forma, cumplir con el ritmo global de la actividad.

Finalmente, al momento de realizar la reunión Last Planner, se puede presentar el problema de que los participantes no manifiesten restricciones para realizar las actividades que están comprometidas, causando una falsa sensación de que la obra no tendrá contratiempos, pero al realizar las mediciones, los indicadores terminen arrojando que la mayor causa de no cumplimiento es por causa de las restricciones. La forma para subsanar este problema, es realizar seguimientos a los principales responsables que no generan restricciones, y generar cuadros estadísticos de no cumplimiento por cada responsable (supervisor por ejemplo).

4.10. ¿Cuál es el beneficio de la metodología planteada frente a la planificación tradicional?

En la Tabla 12 se realiza una comparación del método combinado, motivo de esta tesis, frente a la planificación tradicional.

Tabla 12 Comparación de metodología combinada frente a tradicional. (Elaboración propia)

Combinación de Métodos	Método Tradicional
Mejor control de la obra, se evidencian rendimientos por partida.	Bajo control de obra, no se evidencian rendimientos de cada partida.
Un grupo de trabajadores de distintas especialidades, generan la planificación en equipo.	Una persona genera la planificación.
Se genera retroalimentación de lo sucedido en terreno.	No hay retroalimentación de datos.
Es necesario un facilitador que recolecte, analice y genere las reuniones.	No se necesita personal dedicado a realizar la planificación y control de la obra in situ, por lo que no implica un costo adicional.
Se generan acuerdos de las actividades a realizar.	Se impone el programa a cumplir.
Se tiene información en tiempo real del avance de la obra.	No hay información inmediata del avance de la obra.
Se identifican las restricciones que impiden la secuencia constructiva.	No se evidencian las restricciones.
Se identifican claramente las actividades críticas.	No permite la calibración de las actividades críticas enlazadas al principio de la obra.
Se trabajan las actividades de terminaciones como ciclos de producción, por lo que se nivelan los recursos humanos a utilizar. Se eliminan los peaks de mano de obra.	Se contrata mano de obra de acuerdo a la contingencia que se va generando en la obra, provocando variaciones en la cantidad trabajadores.
Permite estimar la fecha de término de la actividad, mediante la proyección del cálculo de rendimiento real realizado en términos de la mano de obra.	No se observa con claridad la productividad de la mano de obra, ya que no se generan controles detallados de las actividades.

4.11. Evaluación costo-beneficio de la implementación de la metodología planteada.

Académicamente el sistema puede ser interesante, ya que se tienen indicadores del comportamiento de la obra y se cuenta con una metodología clara. Sin embargo, más allá de un ejercicio académico, al administrador de contrato o gerente de la empresa le interesa mayoritariamente manejar los costos de las actividades, es decir, si se le presenta este método, conocer su costo versus el beneficio de implementarlo en su obra.

A continuación se realizará un análisis global, de los costos asociados a la implementación del método.

Los costos que genera el método son:

- El costo de hora hombre de los integrantes de las reuniones podría ser considerado como un costo, ya que estos dejarían de producir en sus respectivas áreas. Pero el costo que generan al estar en las reuniones se denomina costo hundido, ya que éste está asumido, sea que se genere o no la reunión de planificación. Por esta razón, esta merma en la producción no se considera como costo asociado a la implementación del método.
- Se necesita un facilitador que deba hacer el control de las partidas y la planificación de las reuniones.

Un ejemplo generado en la obra estudiada: el costo de implementación del sistema Last Planner-Programación Rítmica es la utilización de un profesional de Oficina Técnica que genere el control de las partidas y realice las funciones de moderador. Si este profesional utiliza la mitad de su tiempo en realizar las funciones de moderador, genera un costo empresa de \$8.100.000 durante los nueve meses de estudio, en que se le realizó el seguimiento. La obra tiene un costo mensual en términos de gastos generales de \$65.083.905, por lo que si se logra acortar el plazo de entrega de la obra un mes, se genera un ahorro sólo en gastos generales de \$56.983.905 en el proyecto. Esto quiere decir que en cuatro días de ahorro en el plazo, se cubre el costo de implementación del método.

Los beneficios son:

- Aumento de la productividad de la obra.
- Ahorro en los plazos de entrega.

Si con la utilización del método la productividad aumenta, se estaría generando un ahorro en el costo de la mano de obra (costo directo), ya que se estaría pagando lo mismo a una mano de obra que es más eficiente.

Ejemplo de ahorro en plazo: si se tiene una mano de obra que produce 10 y otra que produce 15, y se tiene la misma cantidad de mano de obra en ambos casos, al tener mejor producción se genera un ahorro en las duraciones lo que permite acortar los plazos de entrega, generando ahorros en los gastos generales de la obra.

- Beneficio de la imagen de la constructora frente al mandante, por el buen cumplimiento de plazos, generando confianza para poder realizar nuevos proyectos.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se dan a conocer las respuestas a los objetivos planteados. Además se indican recomendaciones para la posible implementación en distintos proyectos, de la metodología planteada en la investigación.

En el presente trabajo se implementó la metodología Last Planner en combinación con el método de Programación Rítmica, para realizar el control de las partidas presentes en proyectos de edificación en altura, particularmente en la etapa de terminaciones, y así incrementar el control de la obra y con ello aumentar la productividad de ésta.

La elaboración del sistema combinado Last Planner y Programación Rítmica mejora la productividad en las obras, debido a que aumenta el control de las partidas generando secuencias específicas y plazos fijos a controlar, con lo que disminuye la incertidumbre entre la planificación y las actividades a ejecutarse en terreno. Además, esta combinación de metodologías privilegia el control de las partidas críticas de las obras de terminación, ya que son éstas las que afectan directamente en el cálculo del plazo del proyecto, con lo que en conjunto provocan un aumento en la productividad, debido al constante monitoreo de las partidas, permitiendo así mejorar los tiempos de entrega, lo que genera una disminución de los gastos generales; los de mayor importancia en los proyectos.

Al estudiar el estado del arte de las metodologías Last Planner y Programación Rítmica, se logró observar que es posible proponer la combinación, ya que se generó la manera de poder complementarlas para maximizar los beneficios de ambas.

El sistema Last Planner es una teoría que se está masificando e impartiendo en distintos programas de Educación Superior, debido a los buenos resultados que el método ha aportado al control de obras de construcción. También, la metodología se está enseñando en las empresas que se interesan en poder utilizarla. Un grupo que ha tomado la iniciativa de enseñar a las empresas es el GEPUC, cuyos expertos en la gestión de proyectos en la industria de la construcción han logrado instalar estos conceptos en la industria de la construcción.

La metodología Last Planner al gestionar las actividades a realizar al corto y mediano plazo, aporta al aumento de la confiabilidad de las partidas a ejecutar, ya que al trabajar con las restricciones, disminuye la incertidumbre que está constantemente presente en las obras de construcción.

Por su parte, la metodología de Programación Rítmica se está estudiando en el área de la construcción para desarrollar proyectos de carácter repetitivo, con lo cual fomenta el uso de tiempos comunes de programación, con la finalidad de eliminar los tiempos muertos u holguras. Como el tiempo a cumplir es igual para todas las actividades críticas, se tiene en el consciente colectivo de la obra, cuales son los plazos para cumplir con cada actividad, de esta manera se lucha para poder cumplir con el plazo establecido, denominado “ritmo”.

Para la obra estudiada poder implementar el método propuesto no fue complejo ya que estaba establecida la metodología de realizar reuniones y poder evaluar el cumplimiento de las actividades semanalmente, esto gracias a que ya se utilizaba Last Planner para el control de la obra.

La obra estudiada a pesar de no ser la óptima para la utilización de la programación rítmica, debido a la gran cantidad de departamentos por planta, y con diferentes tamaños entre ellos, se realizaron mediciones en las partidas de terminaciones, los cuales son de una tipología repetitiva que favorece la utilización del método, con lo que se busca poder cumplir con los plazos generando un ritmo de construcción y un tren de actividades con el afán de eliminar la holgura entre partidas.

Con la creación de indicadores de control a la metodología de Programación Rítmica, y al complementarlos con los existentes de la metodología Last Planner, fue posible realizar un análisis más detallado de las actividades realizadas en terreno. Desde el punto de vista de los cumplimientos de los compromisos por parte de Last Planner, el análisis de rendimientos, productividad y, por sobre todo, el cumplimiento del ritmo utilizado en el método de Programación Rítmica, fue posible evidenciar cuál fue el comportamiento de la obra, desde un punto de vista cuantitativo.

Para poder aplicar la metodología planteada en este estudio en futuros proyectos, se recomienda seguir una serie de pasos, los cuales se presentan a continuación:

- ✓ **Identificar las partidas que serán consideradas en la aplicación del método:** Es necesario identificar las partidas que se realizarán dentro de las áreas donde se trabajará (departamentos, bodegas, áreas verdes, etc.), para poder enlazar dichas partidas en un software de programación y poder obtener la ruta crítica de la obra.
- ✓ **Seleccionar las actividades que son críticas:** Una vez obtenido el total de las actividades es necesario obtener las partidas críticas. Con estas partidas críticas es necesario realizar una calibración de estas actividades, ya que muchas veces la secuencia constructiva

realizada en terreno difiere de la programada, lo que conlleva a realizar un cambio en los enlaces de las actividades, generando un cambio en las actividades críticas.

- ✓ **Calcular el ritmo con las partidas críticas:** Una vez obtenidas las partidas críticas y considerando los plazos de proyecto, es cuando se puede calcular el ritmo de las actividades. Es fundamental que la duración de las actividades sea un valor que sea fácil de medir y cuantificar, sino también el tiempo del ritmo se puede ajustar variando los recintos a considerar.
- ✓ **Realizar Gantt dentada:** Se debe generar la Gantt dentada considerando las partidas críticas con los tiempos obtenidos del cálculo del ritmo. Esto da una mirada secuencial del avance que debe tener el proyecto en el tiempo, y permite ajustar los plazos a cumplir.
- ✓ **Añadir partidas que serán para control:** Para poder aumentar el control de las actividades en terreno, es preciso añadir partidas que no son críticas, pero que si ayudan a obtener una mirada más global del avance en obra. Es importante no considerar estas partidas complementarias para el cálculo del ritmo.
- ✓ **Estimar cuadrillas para las actividades:** Una vez obtenido el ritmo es necesario calcular las cuadrillas que realizarán el trabajo, de acuerdo al rendimiento requerido para cumplir con las actividades en los plazos establecidos. Como dentro las actividades críticas habrán partidas que no se ajustan al ritmo, es necesario tener partidas complementarias a los trabajos, para que las cuadrillas no queden detenidas en el caso de aquellas actividades cuya duración es menor al ritmo, y generar más “cancha” para realizar tareas en paralelo, cuando las actividades son menores al ritmo.
- ✓ **Realizar la reunión Last Planner:** Una vez a la semana se debe generar esta reunión para visualizar el estado actual de la obra, desde el punto de vista del cumplimiento de compromisos y verificar la liberación de restricciones.
- ✓ **Definir las partidas a realizar en los plazos establecidos:** Durante la reunión Last Planner se presentarán las actividades que se deben hacer a mediano y corto plazo.
- ✓ **Analizar restricciones para estas partidas:** Es en este momento cuando los últimos planificadores, presentan las restricciones del porqué no será posible realizar las partidas. Es fundamental esta parte de la reunión, debido a que con este ejercicio de anticiparse a los problemas, se provoca que la obra fluya, y permite cumplir con los ritmos de trabajo.
- ✓ **Registrar el avance de las partidas periódicamente:** Para poder generar una visión de lo que ocurre en terreno, se debe generar un registro de las partidas que se estén controlando,

el que se debe enviar diariamente o según el periodo acordado. Estos informes generan alertas sobre las partidas que están quedando atrasadas, y también van informando el avance que se está generando en terreno. El enviar estas planillas al personal de la obra, permite que todos sepan el estado actual de las partidas, y también abre la posibilidad de visualizar los materiales que se utilizarán próximamente, de esta forma los encargados de bodega se anticipan con la preparación de los materiales, permitiendo eliminar o disminuir los tiempos muertos.

- ✓ **Analizar los indicadores de la metodología:** El análisis de los datos recolectados entrega una lectura sobre el comportamiento de la obra, y un análisis con datos duros y objetivos del avance de la misma. Al clasificar estos indicadores por rango, también se logra generar estados de alerta, para realizar posibles intervenciones en la obra.
- ✓ **Realizar los análisis de Causas de No Cumplimiento:** Cuando las partidas comprometidas no se cumplieron, es necesario realizar un análisis de las razones que provocaron que no se finalizara la partida. El hacer esta acción sirve para realizar una retroalimentación interna, para darse cuenta en que se está fallando de forma recurrente, y con ello analizar si el problema es interno o externo, o bien los compromisos son confiables, o si los contratistas no están cumpliendo con los objetivos indicados.

Referencias

- Alpuche Sánchez, R. (2004). *El impacto de la calidad total y la productividad en empresas de construcción*. Tesis profesional Ingeniería Civil, Universidad de las Américas Puebla, Departamento de Ingeniería Civil.
- Andrade, M., & Arrieta, B. (2011). Last planner en subcontrato de empresa constructora. *Revista de la Construcción*, 10(1), 36-52.
- Andrade, M., & Arrieta, B. (2011). Last Planner en subcontrato de empresa constructora. *Revista de la Construcción*, 10(1), 36-52. Obtenido de <http://www.scielo.cl/pdf/rconst/v10n1/art05.pdf>
- Ballard, G. (1994). *The Last Planner*. Spring Conference of the Northern California Construction Institute.
- Ballard, G., & Howell, G. (1994). *Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow*.
- Ballard, G., & Howell, G. (1998). *What kind of production is construction?* Obtenido de <http://leanconstruction.org.uk/media/docs/BallardAndHowell.pdf>
- Banco Central. (2015). CUENTAS NACIONALES DE CHILE. 40.
- Botero Botero, L. F. (2002). Análisis de Rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción. *REVISTA Universidad EAFIT*(128), 14.
- Campero Q, M., & Alarcón C., L. F. (2013). *Administración de Proyectos Civiles*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- CDT. (Abril de 2013). Análisis de la Productividad en Obras de Edificación en Chile. Recuperado el 24 de Noviembre de 2015, de http://informatica.cdt.cl/mailling/ver_mail.php?key=JnR3aXROZXImMCYyNTc%3D
- DÍAZ MONTECINO, D. A. (2007). *APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PLANIFICACIÓN LAST PLANNER A LA CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO HABITACIONAL DE MEDIANA ALTURA*. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, UNIVERSIDAD DE CHILE , DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL.
- Inzulza Reyes, J. A. (2007). *Software para la automatización del método de programación rítmica*. Tesis profesional Ingeniería Civil, Universidad del Bio-Bio, Departamento de Ingeniería Civil.
- Nova Torres, P. S. (2013). *SEGUIMIENTO DE UNA EDIFICACIÓN EN ALTURA USANDO EL MÉTODO DEL "ÚLTIMO PLANIFICADOR"*. Informe de Memoria de Título Para Optar al Título de Ingeniero Civil.
- Serpell B, A. (Agosto de 1986). Productividad en la construcción. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 1.
- Serpell, A., & Alarcón, L. F. (2015). *Planificación y Control de Proyectos*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.

Anexos

Contenido

ANEXOS	60
ANEXO A1 ELEVACIÓN Y PLANTAS DEL PROYECTO	61
ANEXO A2 PLANILLA UTILIZADAS EN REUNIONES	68

Anexo A1 Elevación y plantas del proyecto



Figura A1.1 Elevación Edificio Civic II



Figura A1.2 Elevación Edificio Civic III



Figura A1.3 Elevación Conjunto Edificios Civic II-III

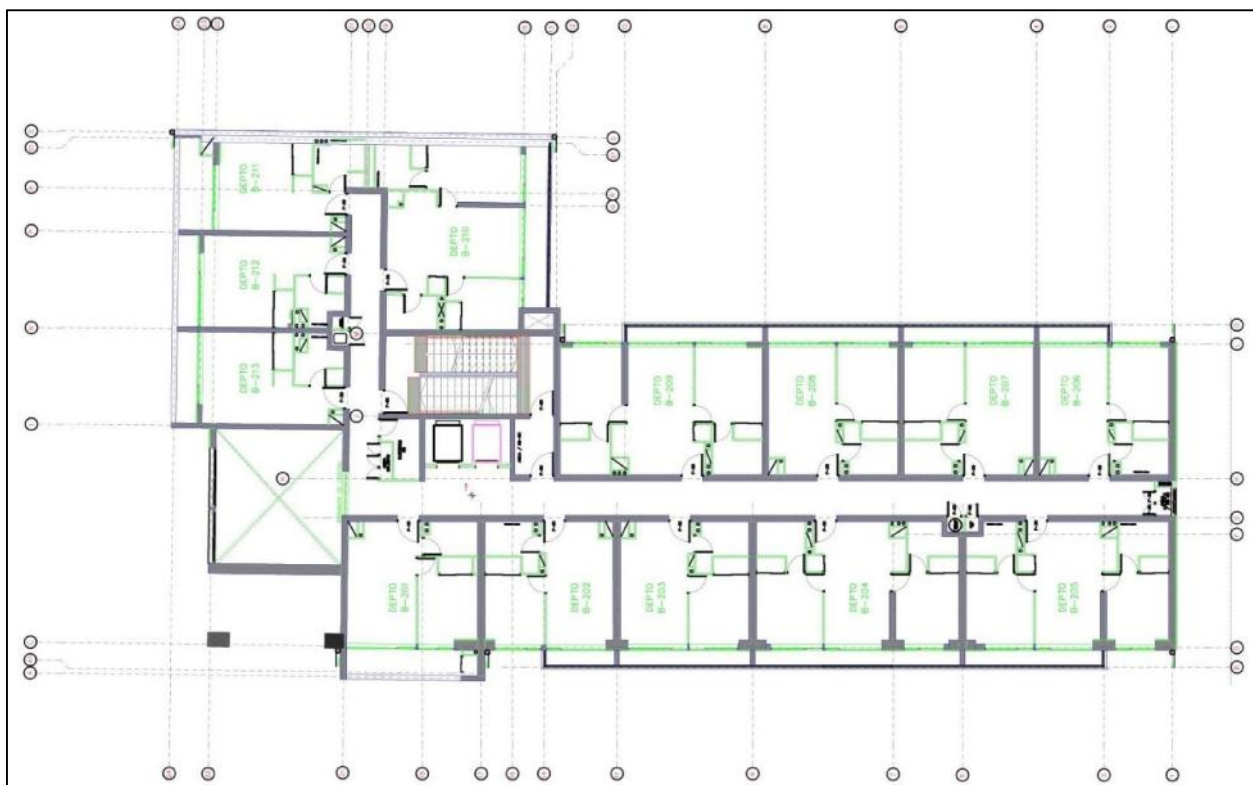


Figura A1.4 Planta segundo nivel Civic II

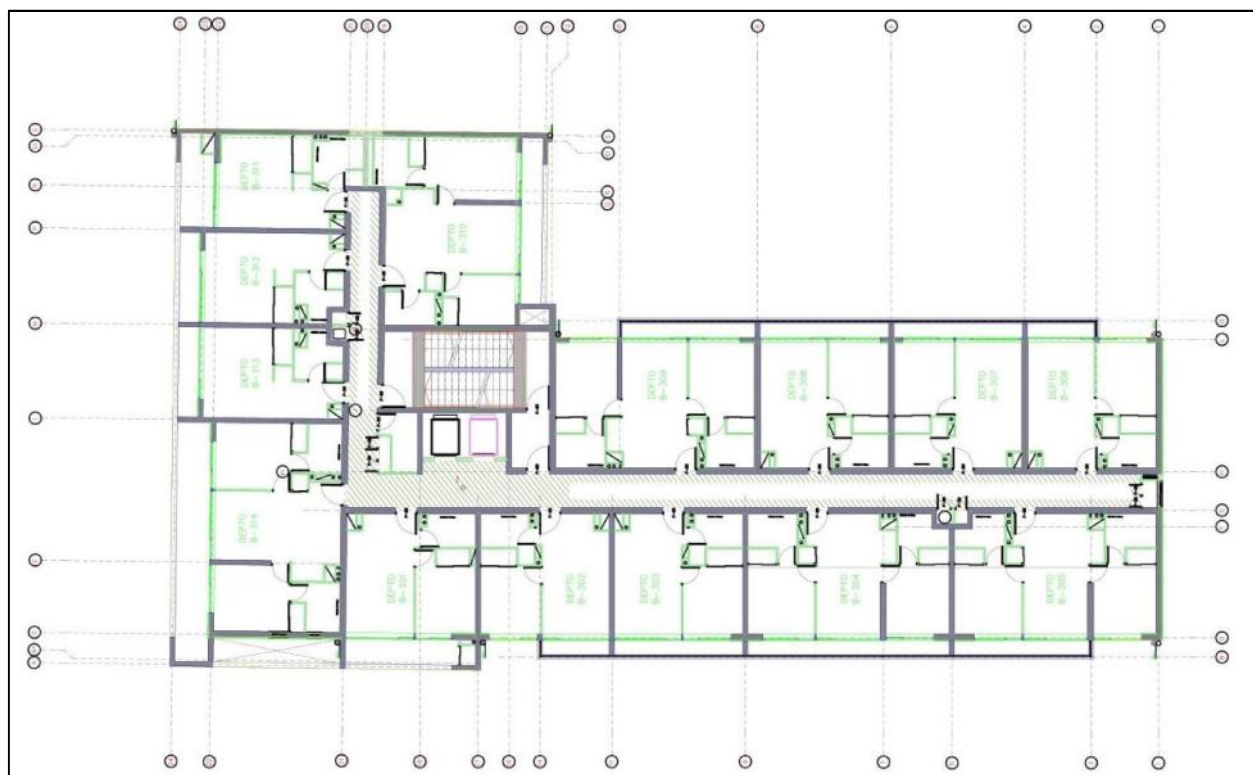


Figura A1.5 Planta tercer nivel Civic II

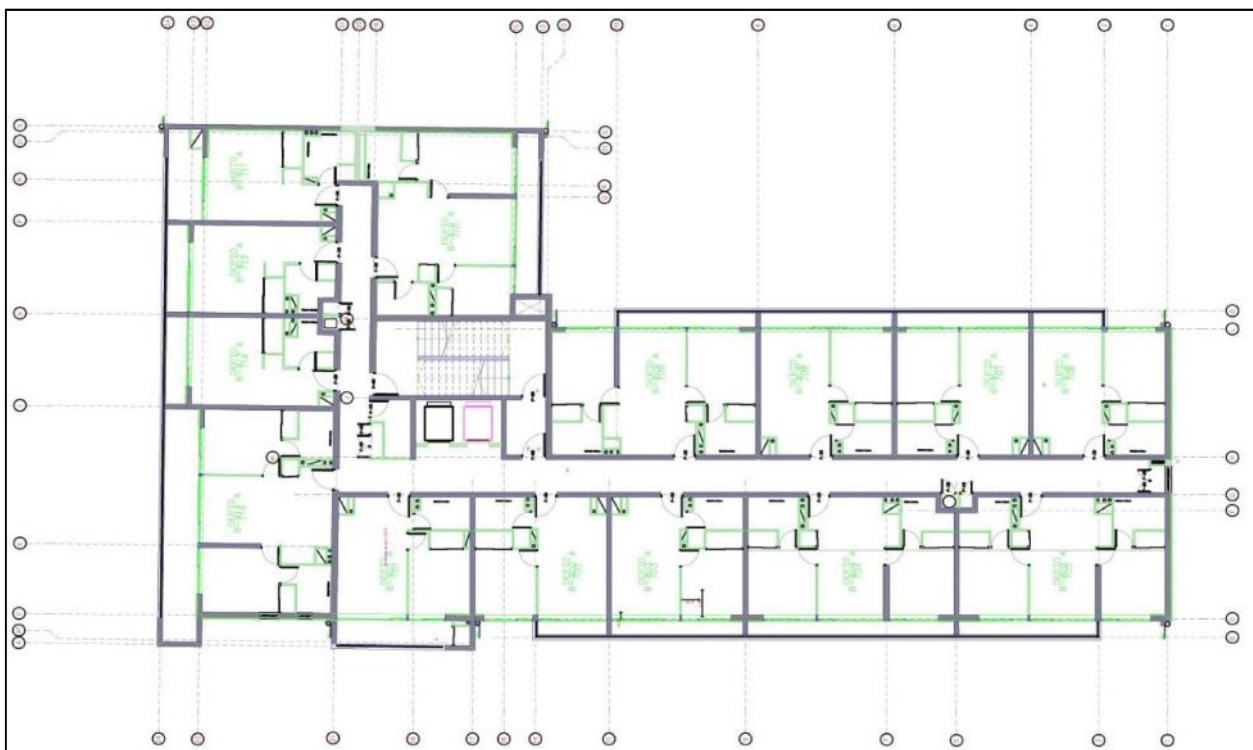


Figura A1.6 Planta cuarto-séptimo nivel Civic II

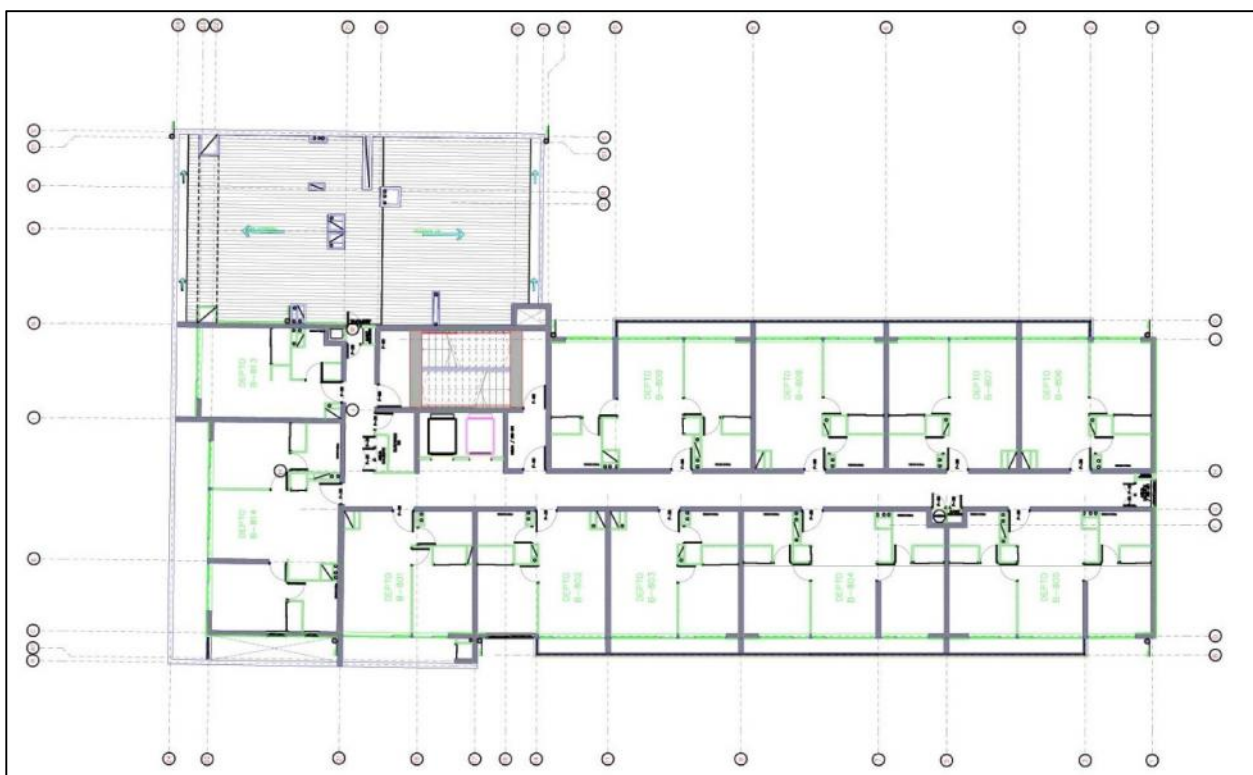


Figura A1.7 Planta octavo nivel Civic II



Figura A1.8 Planta noveno-duodécimo nivel Civic II



Figura A1.9 Planta segundo nivel Civic III



Figura A1.10 Planta tercer nivel Civic III

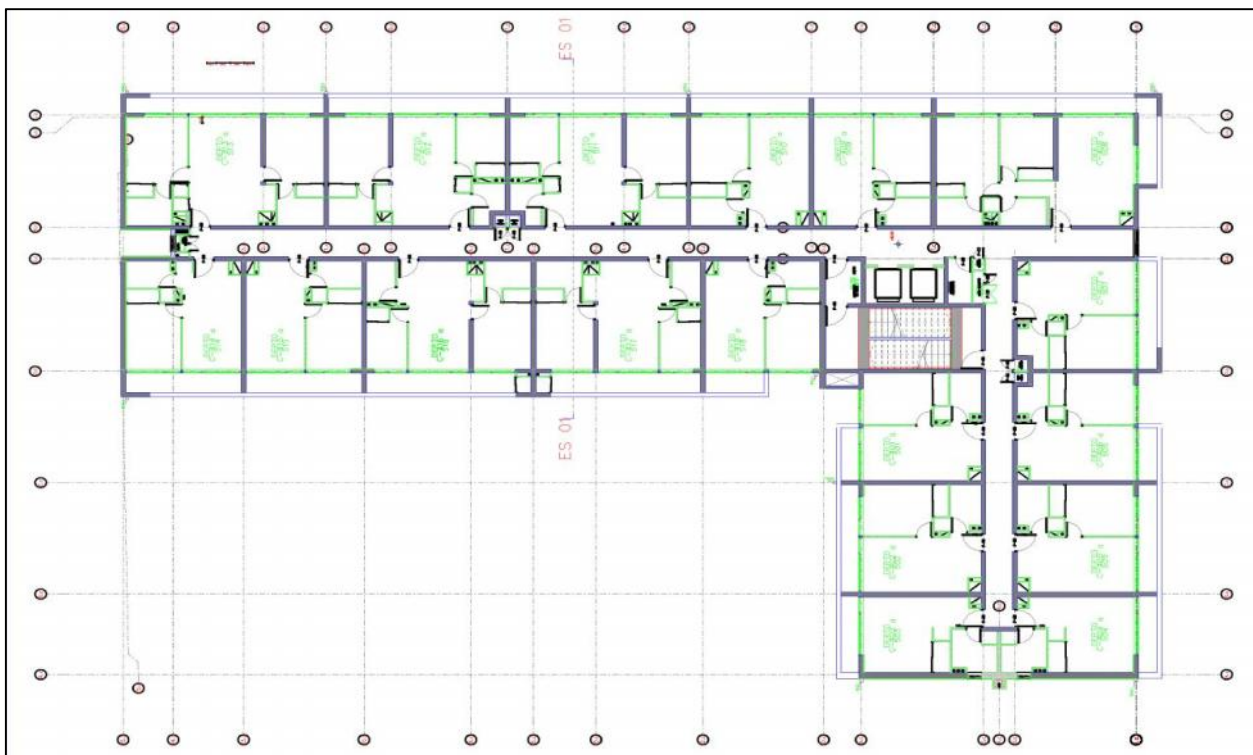


Figura A1.11 Planta cuarto- séptimo nivel Civic III



Figura A1.12 Planta octavo nivel Civic III

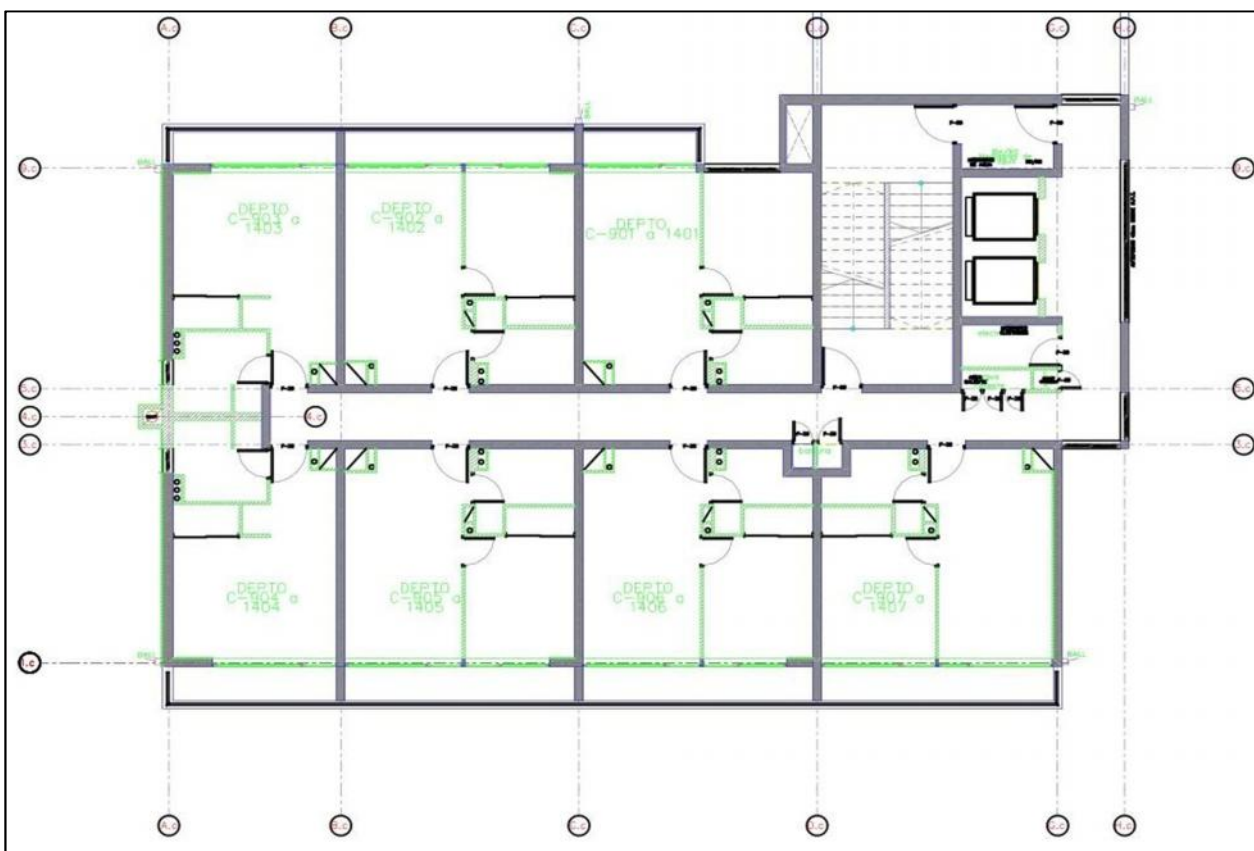


Figura A1.13 Planta noveno-decimo cuarto nivel Civic III

Anexo A2 Planilla utilizadas en reuniones

Las planillas que se mostrarán a continuación son las que se utilizaron para llevar a cabo las reuniones Last Planner en la obra Civic 2y 3, con las cuales se verificaban los avances de la obra.

Tabla A.2.1 Planificación Intermedia

PLANILLA DE PLANIFICACIÓN INTERMEDIA SEMANA Nº 64					Semana 01							Semana 02							Semana 03							Semana 04														
Fecha Inicio Planificación Intermedia		15-feb			Fecha Inicio		Fecha Termino		% Pendiente		Supervisor CVV		L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
Fecha Termino Planificación Intermedia		13-mar																																						
Descripción																																								
CIVIC 2																																								
Piso 12		08-ene		09-mar		58 %																																		
Remate guardapolvo		12-feb		22-feb		55 %		Herbal																																
Instalación cubrejuntas		12-feb		25-feb		62 %		Herbal																																
Instalación topes de puertas		12-feb		26-feb		43 %		Herbal																																
Cerámico pisos terrazas		12-feb		25-feb		83 %		Herbal																																
Barniz puerta acceso		15-feb		16-feb		100 %		Herbal																																
Cubiertas Cocinas		16-feb		19-feb		100 %		Herbal																																
Lavaplatos		16-feb		17-feb		100 %		Herbal																																
Grifería lavaplatos		17-feb		19-feb		100 %		Herbal																																
Cerámico muros cocina		19-feb		22-feb		100 %		Herbal																																
Flexibles y llaves de paso cocinas		19-feb		23-feb		100 %		Herbal																																

Tabla A2.2 Medición Semana Anterior

PLAN DE CORTO PLAZO PROYECTO: CONST. EDIFICIO CIVIC 2 Y 3						Semana
						63
Actividad	Semana		Compromisos			57,46%
	Fecha Inicio	Fecha Terminó	Cant.	Cant. Real	Responsable Actividad	
CIVIC 2						
Piso 8						
Cerámico pisos terrazas	07-ene	08-feb	1%	1%	Wladimir	1
Piso 9						
Muebles de closet	20-ene	08-feb	4%	4%	Wladimir	1
Artefactos eléctrico soquete y TDA	22-ene	08-feb	2%	2%	Wladimir	1
Pintura cielo baños (Esmalte Al agua)	25-ene	08-feb	2%	1%	Wladimir	0
Instalación accesorios de baño	08-feb	09-feb	1%	1%	Wladimir	1
Remate pinturas en cornisas	08-feb	10-feb	100%	64%	Wladimir	0
Remate pinturas en general	10-feb	11-feb	100%	50%	Wladimir	0
Piso 10						
Muebles de cocinas	22-ene	08-feb	1%	0%	Wladimir	0
Artefactos eléctrico soquete y TDA	22-ene	11-feb	20%	18%	Wladimir	0
Instalación cubrejuntas	05-feb	09-feb	32%	32%	Wladimir	1
Campana	10-feb	22-ene	100%	100%	Wladimir	1
Remate pinturas en general	11-feb	22-ene	100%	100%	Wladimir	1
Instalación accesorios de baño	12-feb	15-feb	100%	100%	Wladimir	1
Piso 11						
Instalación guardapolvos	14-ene	08-feb	12%	12%	Herbal	1
Cerámico muros baños (con guarda canto)	21-ene	08-feb	9%	9%	Herbal	1

Tabla A2.4 Cuadro resumen de Causas de no cumplimiento semanal

Tabla de Datos		
CNC	Semana	52
Falta de Cancha		6
Falta de materiales		2
Falta de M.O.		27
Cambios de proyecto		0
Falta Equipos - Herramientas		0
Mala estimación rendimientos		5
Problemas Coordinación		1
Seguridad		0

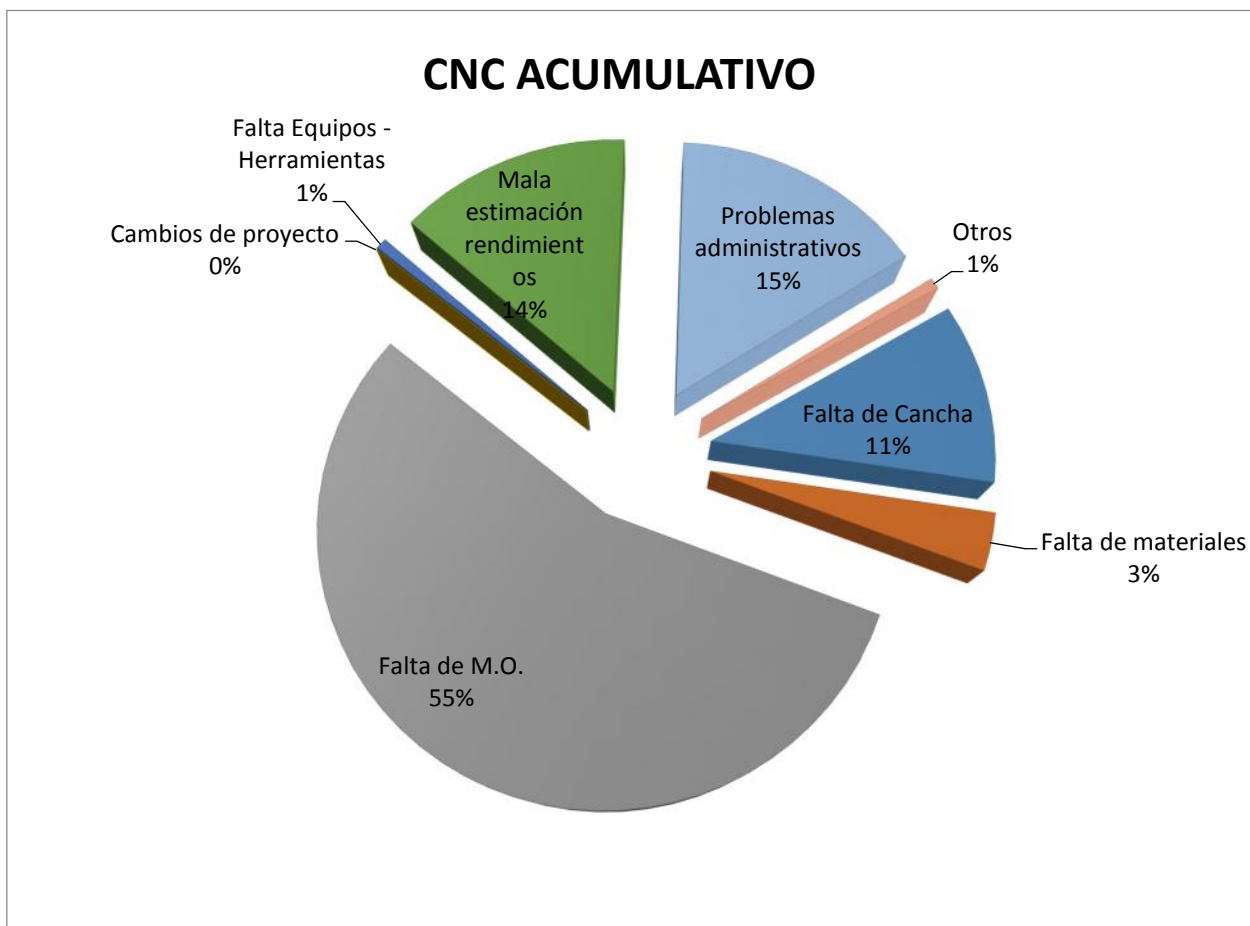


Figura A.2.1 Resumen de Causas de No cumplimiento acumuladas

Tabla A2.5 Evolución de PPC

Fecha Inicio	Fecha Cierre	Evolución	Media PPC
26-oct	01-nov	50,51%	50,51%
02-nov	08-nov	67,10%	58,81%
09-nov	15-nov	61,43%	59,68%
16-nov	22-nov	45,07%	56,03%
23-nov	29-nov	74,40%	59,70%
30-nov	06-dic	52,38%	58,48%
07-dic	13-dic	52,73%	57,66%
14-dic	20-dic	64,29%	58,49%
21-dic	27-dic	57,27%	58,35%
28-dic	03-ene	50,23%	57,54%
04-ene	10-ene	50,89%	56,94%
11-ene	17-ene	55,08%	56,78%
18-ene	24-ene	64,21%	57,35%
25-ene	31-ene	51,58%	56,94%
01-feb	07-feb	52,33%	56,63%
08-feb	14-feb	57,46%	56,69%

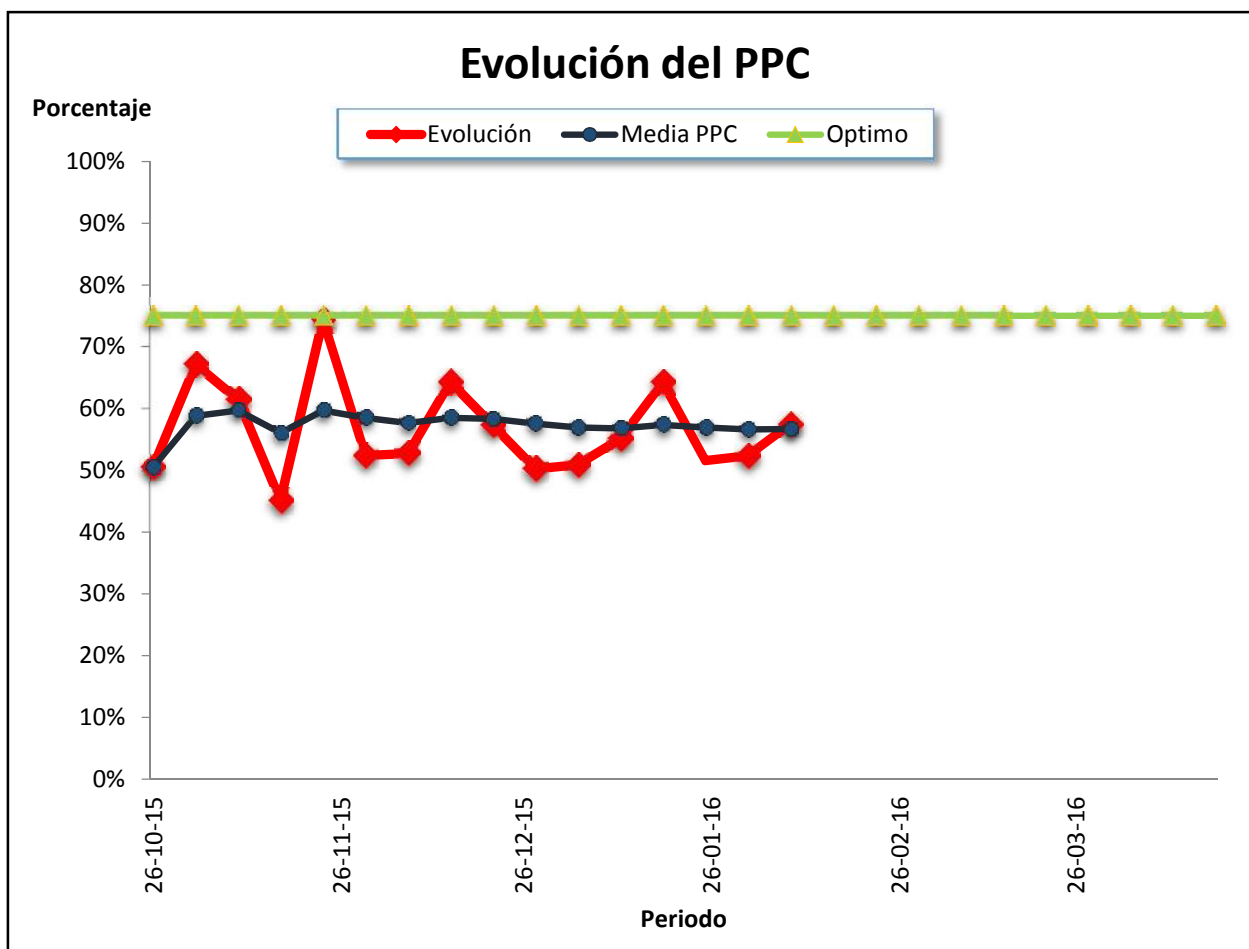


Figura A.2.2 Evolución del PPC

Tabla A2.6 Programa rítmico de terminaciones de departamentos

RÍTMICO TERMINACIONES DEPARTAMENTOS
EDIFICIO CIVIC 3

ÍTEM	ACTIVIDAD	CIVIC 3														
		TERMINACIONES DEPARTAMENTOS								1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407
		1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307								
31	Faldón de tina	100%	100%	100%	100%	100%				100%	100%	100%	100%	100%		
32	Instalación de tinas	100%	100%	100%	100%	100%				100%	100%	100%	100%	100%		
33	Instalación de receptáculos						100%	100%							100%	100%
34	Cerámico muros baños (con guarda canto)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
35	Porcelanato Piso En baños	100%	100%	0%	0%	100%	90%	100%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
36	Cerámico pisos terrazas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
37	Instalación marcos y puertas interiores	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
38	Instalación guardapolvos	80%	100%	50%	100%	100%	100%	90%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
39	Instalación marcos de puerta Acceso	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
40	Instalación Puertas Acceso (puerta Enchapada)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
41	Quincallería en puertas	100%	100%	50%	50%	100%	100%	100%		30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
42	Manillón Puerta acceso	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
43	Instalación de cornisas sector seco	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
44	Instalación cornisa Baño	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
45	Empaste	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
46	Pintura Losalín	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
47	Pintura cielo baños (Esmalte Al agua)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
48	Pintura puertas interiores	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
49	Terminación superficies para papel	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%		90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
50	Muebles de cocinas	100%	100%	95%	95%	95%	100%	95%		0%	80%	60%	60%	80%	80%	80%
51	Cubiertas Cocinas	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
52	Remate guardapolvo	80%	100%	80%	100%	100%	100%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
53	Hornos eléctrico	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla A2.7 Resumen de estados de departamentos

TERMINACIONES DEPARTAMENTOS	P9	P10	P11	P12	P13	P14
	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Instalación de tinas	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Instalación de receptáculos	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Cerámico muros baños (con guarda canto)	100%	100%	100%	92%	0%	0%
Porcelanato Piso En baños	100%	100%	100%	100%	70%	0%
Cerámico pisos terrazas	100%	100%	100%	0%	0%	0%
Instalación marcos y puertas interiores	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Instalación guardapolvos	100%	100%	100%	100%	89%	0%
Instalación marcos de puerta Acceso	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Instalación Puertas Acceso (puerta Enchapada)	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Quincallería en puertas	100%	100%	100%	100%	86%	30%
Manillón Puerta acceso	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Instalación de cornisas sector seco	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Instalación cornisa Baño	100%	100%	100%	0%	0%	0%
Empaste	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Pintura Losalín	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Pintura cielo baños (Esmalte Al agua)	100%	100%	36%	0%	0%	0%
Pintura puertas interiores	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Terminación superficies para papel	100%	100%	100%	90%	90%	90%
Muebles de cocinas	100%	100%	99%	100%	97%	63%
Cubiertas Cocinas	100%	100%	100%	79%	100%	0%
Remate guardapolvo	100%	100%	93%	86%	80%	0%
Hornos eléctrico	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Cocina encimera	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Campana	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Muebles de closet	100%	100%	100%	100%	99%	0%
Cerámico muros cocina (con guarda canto)	100%	100%	100%	57%	100%	0%
Artefacto sanitario WC	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Artefacto sanitario vanitorio c/mueble	100%	86%	0%	0%	0%	0%
Lavaplatos	100%	100%	100%	71%	100%	0%

Tabla A2.8 Seguimiento al ritmo de las partidas

ÍTEM	14-nov	21-nov	28-nov	5-dic	12-dic	19-dic	26-dic	2-ene	9-ene	16-ene	23-ene	30-ene	6-feb	13-feb	20-feb	27-feb	5-mar	12-mar	19-mar	26-mar	2-abr	
Instalación tinas y receptáculos	P 8 100%	P 9 100%	P 10 100%		P 11 0%		P 12 0%															
Cerámicas Baño	P 7 100%	P 8 99,77%	P 9 0%	P 10 68,18%		P 11 0%		P 12 0%														
Cerámicas terraza	P 7 100%	P 8 43,64%	P 9 0%	P 10 27,27%		P 11 0%		P 12 0%														
Marcos y puertas interiores	P 8 100%	P 9 100%	P 10 95,45%		P 11 0%		P 12 0%															
Guardapolvo	P 7 100%	P 8 100%	P 9 94,55%		P 10 90,91%		P 11 88,18%		P 12 0%													
Marco Puerta Acceso	P 7 100%	P 8 0%	P 9 0%	P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%														
Cornisas zona seca	P 7 100%	P 8 100%	P 9 100%	P 10 95,91%		P 11 0%		P 12 0%														
Cornisas zona de baños	P 7 41,43%	P 8 0%	P 9 0%	P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%														
Empastes	P 7 99,29%		P 8 98,18%		P 9 97,27%		P 10 50%		P 11 0%		P 12 0%											
Losalín en cielos zona seca	P 6 100%	P 7 100%		P 8 100%		P 9 90,91%		P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%										
Esmalte al gua cielo baños	P 6 50%	P 7 0%		P 8 0%		P 9 0%		P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%										
Pintura puerta interiores	P 6 50%	P 7 0%		P 8 0%		P 9 0%		P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%										
Sello papel	P 6 95%	P 7 92,86%		P 8 90%		P 9 0%		P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%										
Muebles de closets y cocina	P 6 66,52%	P 7 95,24%		P 8 22,12%		P 9 0%		P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%										
Hoja Puerta Acceso y Quincallería	P 6 100%		P 7 65,71%		P 8 0%		P 9 0%		P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%									
Inst. artefactos sanitarios y cocina	P 6 47,62%		P 7 33,33%		P 8 0%		P 9 0%		P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%									
Piso laminado	P 5 100%	P 6 100%		P 7 100%		P 8 100%		P 9 95,45%		P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%								
Junquillos y Cubrejuntas	P 5 100%	P 6 70,71%		P 7 40,36%		P 8 45%		P 9 35,91%		P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%								
Papel mural	P 5 100%		P 6 50%		P 7 0%		P 8 0%		P 9 0%		P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%							
Pintura remate departamento	P 4 100%	P 5 100%		P 6 50%		P 7 33,33%		P 8 0%		P 9 0%		P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%						
Aseo y entrega	P 4 0%		P 5 0%		P 6 0%		P 7 0%		P 8 0%		P 9 0%		P 10 0%		P 11 0%		P 12 0%					

Tabla A2.9 Cuadro control de combinación del método

OBJETIVO	META	INDICADOR	ACCIONES Y MEDIOS	PLAZO	RESPONSABLE INFORMACIÓN	RESPONSABLE
Cumplir con el porcentaje de PPC	Lograr valores de PPC 85%	PPC ≥ 85%	Analizar causas de no cumplimiento. No representa mayor problema	Semanal	Moderador	Profesional Residente
		50% ≤ PPC < 85%	Analizar causas de no cumplimiento, estado de restricciones			
		PPC < 50%	Verificación de productividad de M.O.			
Cumplimiento Ritmo	Lograr valores máximos de tolerancia de 10% del ritmo Teórico	$R_t \geq R_r \leq 1,1 \cdot R_t$	No es necesario intervenir la partida	Semanal	Moderador	Profesional Residente
		$1,1 R_t < R_r \leq 1,3 R_t$	Poner atención en la partida, verificando los rendimientos de la M.O.			
		$R_r > 1,3 R_t$	Analizar productividad, cantidad de mano de obra y cancha disponible			
Cumplir con el porcentaje rendimientos	Lograr rendimientos reales 85% del teórico	85%-100%		Semanal	Moderador	Profesional Residente
		51%-84%				
		0%-50%				

