



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

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA LAST PLANNER CON
EL APOYO DE MODELACIÓN 4D PARA LA OBRA GRUESA DE
EDIFICACIONES**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

ANDREA MAGDALENA GONZALEZ RETAMAL

PROFESOR GUÍA:

MAURICIO TOLEDO VILLEGAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

LUIS F. ALARCÓN CÁRDENAS

WILLIAM WRAGG LARCO

SANTIAGO DE CHILE

DICIEMBRE 2012

RESUMEN

Dentro de la construcción en Chile se han encontrado diversos problemas, entre los que se destacan: planificaciones deficientes, ya que en la carta Gantt no se logran visualizar las tareas que se desean ejecutar; falta de congruencia entre los compromisos propuestos y los ejecutados en terreno, lo que conlleva a Causas de No Cumplimiento (CNC); y dificultades de comunicación entre los actores del proyecto, ya que se entrega información ambigua lo que conlleva a distintas interpretaciones, a veces contradictorias.

El foco de esta investigación se centra en el uso de Last Planner junto a la modelación 4D para mejorar la planificación, reducir la incertidumbre y mejorar comunicación en la construcción de edificaciones. El Sistema Last Planner es una herramienta de Lean Construction, que apunta a lograr un trabajo en equipo y posee distintos niveles de planificación, donde se identifican las restricciones y se tratan de reducir con el fin de ejecutar las tareas a tiempo. La modelación 4D, busca conectar las planificaciones hechas en carta Gantt con su modelo tridimensional, con el fin de visualizarlo en el tiempo, identificando de este modo interferencias, actividades realizadas y programadas.

El trabajo se inicia con la recolección de experiencia de personas que han utilizado modelos 4D en la construcción de proyectos. Luego se trabajó en cuatro proyectos entre Julio 2011 y Mayo 2012: dos que utilizaron Last Planner y dos que utilizaron Last Planner-4D. Para el primer grupo de proyectos se hicieron visitas a algunas reuniones de planificación donde se midieron indicadores de la implementación Last Planner en relación a las recomendaciones indicadas en la literatura. Para el otro grupo de proyectos se midieron tres fases: Fase I: Uso de imágenes del modelo 4D, Fase II: Manipulación directa del modelo 4D y Fase III: Utilización de videos del modelo 4D, durante las reuniones de planificación. Para cada una de estas fases se midieron los mismos indicadores de la planificación que el primer grupo de proyectos. El análisis cuantitativo subjetivo medido arroja que, de los proyectos estudiados, los que utilizan Last Planner poseen mejores resultados que los Last Planner-4D. Sin embargo, hay que tener en consideración el entendimiento del Sistema Last Planner, trabajo en equipo, constancia en realizar las reuniones de planificación y análisis crítico del plan propuesto en las reuniones de planificación, parámetros no medidos en la investigación. La incertidumbre medida con los resultados del Porcentaje de Plan Completado (PPC), está directamente relacionada con la planificación, si bien el uso de un modelo 4D ayuda a esclarecer el plan a ejecutar, su uso no es directo con los resultados que se obtengan del PPC. Para cada una de las fases se midió el uso del modelo 4D, mediante la cantidad de veces que se acude al modelo durante la reunión de planificación, para los dos proyectos estudiados, el uso del modelo 4D es de gran ayuda cuando la construcción no era repetitiva, pero una vez llegado a los pisos tipos se pierde interés en el modelo, ya que conocen lo que deben hacer, cómo ejecutarlo, cuántos recursos y tiempo utilizar. Al finalizar cada fase se aplicó una encuesta de satisfacción para medir la comunicación del uso de Last Planner y Last Planner-4D respectivamente. Esta comunicación resulta ser muy satisfactoria, sobre el 75% promedio en todos los casos.

Finalmente de acuerdo a los proyectos estudiados, se pudo plantear una propuesta de implementación de Last Planner-4D, para la obra gruesa de edificaciones.

DEDICATORIA

A mi familia

*Mis padres y mamita
Magdalena, Pedro y Ana Delia*

*Mis hermanos
Marcelo, Ignacio y Pablo*

A mi novio

Raúl

AGRADECIMIENTOS

Todo lo que he logrado en la vida ha sido gracias a la ayuda de mi Padre Celestial y mi familia, quienes han sido la base fundamental para llegar a ser la persona que soy hoy en día.

Quisiera agradecer a mi familia, por todo su apoyo amor, comprensión y mucha paciencia sobre todo en aquellas épocas difíciles en todo mi proceso universitario. En especial a mi mamá por su gran esfuerzo de enseñarnos y dar lo mejor de sí para que todos sus hijos fuéramos profesionales.

A mi novio Raúl, por todo su amor y comprensión sobre en este último tiempo. Siempre ha sido un gran apoyo y lo fue en mayor medida en todo mi proceso de titulación.

A mis amigos y compañeros en la Universidad, en especial a Dieguinho que siempre me daba consejos y prestaba ayuda cuando lo necesitaba, siempre me alegraba el día haciéndome reír. Todos ellos hicieron que mi estadía en la Universidad fuera muy grata.

A mi profesor guía Mauricio Toledo quien me ayudó mucho en este trabajo, por su buena disposición y tiempo en corregirme y enseñarme como debía seguir.

A Gepuc por facilitarme los proyectos, para hacer posible esta investigación, en especial al profesor Claudio Mourgues.

A Daniela Mardones implementadora Last Planner de Gepuc, por todo su apoyo, por resolverme dudas y tener paciencia para enseñarme y darme los lineamientos de las implementaciones y mediciones de Last Planner en obra.

A Coopeuch por becarme durante toda mi carrera, lo que hizo que mi estadía por la universidad fuera más placentera y tranquila.

Voy a extrañar mucho a mi querida Universidad, a quien debo en gran parte el aprendizaje obtenido, aunque fue difícil en un comienzo y sufrí mucho con los ramos, la voy a recordar siempre con mucho cariño, sobre todo a la personas que pude conocer.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN	1
1.1- Introducción al Capítulo	1
1.2- Contextualización	1
1.3- Motivación de la Investigación	2
1.4- Alcance de la Investigación.....	2
1.5- Hipótesis de Investigación.....	3
1.6- Resultados Esperados.....	4
1.7- Objetivos de la investigación	4
1.8- Metodología de la investigación	4
1.9- Proyectos Estudiados.....	7
1.10- Descripción de los proyectos	8
1.11- Resumen del Capítulo	9
1.12- Guía de lectura.....	9
CAPÍTULO 2 : MARCO TEÓRICO	9
2.1. Introducción al Capítulo	9
2.2. Lean Construction	9
2.3. Sistema Last Planner.....	10
2.4. BIM	13
2.5. Experiencias previas de uso de Last Planner- 4D.....	14
2.6. Resumen del Capítulo	14
CAPÍTULO 3 : DESARROLLO DE PROYECTOS LAST PLANNER	14
3.1. Introducción al Capítulo	14
3.2. Fase única - Proyecto I: Marcoleta	17
3.3. Fase única - Proyecto II: Misioneros	27

3.4.	Resumen del capítulo	35
CAPÍTULO 4 : DESARROLLO DE PROYECTOS LAST PLANNER-4D		36
4.1.	Introducción al capítulo	36
4.2.	Fase I - Proyecto III: Yoemar	39
4.3.	Fase II - Proyecto III	51
4.4.	Fase III - Proyecto III : Yoemar	57
4.5.	Fase I - Proyecto IV: Las Lilas II.....	66
4.6.	Fase II - Proyecto IV: Las Lilas II	77
4.7.	Fase III - Proyecto IV: Las Lilas II.....	84
4.8.	Resumen del capítulo	93
CAPÍTULO 5 : COMPARACIÓN DE PROYECTOS.....		93
5.1.	Introducción al capítulo	93
5.2.	Análisis de la planificación	93
5.3.	Análisis de la incertidumbre.....	97
5.4.	Análisis de la comunicación.....	99
5.5.	Recomendaciones de generación de modelo 4D.....	102
5.6.	Propuesta de implementación de Last Planner-4D en la construcción ..	103
5.7.	Resumen del capítulo	112
CAPÍTULO 6 : CONCLUSIONES.....		112
6.1.	Resultados Obtenidos	112
6.2.	Comentarios sobre las Hipótesis	114
6.3.	Contribuciones al Conocimiento	116
6.4.	Relevancia Práctica	116
6.5.	Futuras investigaciones	116
6.6.	Resumen del Capítulo	116

CAPÍTULO 7 : REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
ANEXOS	120
ANEXO A: Entrevistas a personas que han utilizado Last Planner-4D	120
ANEXO B: Pauta de evaluación Last Planner	128
ANEXO C: Encuestas aplicadas	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.	18
Tabla 3.2 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.	22
Tabla 3.3 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación.	24
Tabla 3.4 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.	28
Tabla 3.5 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.	31
Tabla 3.6 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación	33
Tabla 4.1 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.	42
Tabla 4.2 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.	47
Tabla 4.3 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación	49
Tabla 4.4 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.	53
Tabla 4.5 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.	55
Tabla 4.6 Resultados Generales cada etapa de la reunión de planificación	56
Tabla 4.7 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.	59
Tabla 4.8 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.	62
Tabla 4.9 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación	63
Tabla 4.10 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.	69
Tabla 4.11 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.	74
Tabla 4.12 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación	76
Tabla 4.13 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.	79
Tabla 4.14 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.	81
Tabla 4.15 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación	83
Tabla 4.16 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.	86
Tabla 4.17 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.	88
Tabla 4.18 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación	90
Tabla 5.1 Análisis cuantitativo subjetivo promedio.	94
Tabla 5.2 N° de veces que se acude al modelo 4D durante las reuniones.	96
Tabla 5.3 PPC promedio y análisis subjetivo de la planificación para cada fase de los proyectos.	98
Tabla 5.4 N° de actividades comprometidas y CNC promedio de cada fase.	98

Tabla 8.1 Ponderación de cada una de las etapas de la Reunión de Planificación.....	132
Tabla 8.2 Indicadores de como es llevada la Planificación	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Metodología de la investigación.	6
Figura 2.1 Diagrama de una planificación ideal. (Campero y Alarcón 2008).....	11
Figura 3.1 Mapeo de reuniones de planificación con el uso de Last Planner en obras.	16
Figura 3.2 a) Proyección de los resultados obtenidos y del plan a ejecutar en la sala de reuniones. b) Distribución espacial de las reuniones y diagrama de fase representado en panel con post-it.	17
Figura 3.3 (a) Reporte de compromisos cumplidos y no cumplidos por cada U.P. (b) Revisión de indicadores de confiabilidad de cada U.P.....	19
Figura 3.4 Tendencia del PPC durante las mediciones.	19
Figura 3.5 Causas de No Cumplimiento y Causas de No Cumplimiento Acumuladas.....	20
Figura 3.6 Revisión del Plan de Mediano Plazo durante la reunión de planificación.....	20
Figura 3.7 Revisión del PCP, mediante la proyección de la Carta Gantt con las actividades a realizar la próxima semana, durante la reunión de planificación.	21
Figura 3.8 Representación del programa de fases del proyecto en construcción.	23
Figura 3.9 Panel de cumplimientos en la entrada de la sala de reuniones.....	23
Figura 3.10 % de satisfacción por etapa del uso de Last Planner en las reuniones de planificación.	25
Figura 3.11 % de Satisfacción de Last Planner en las reuniones de planificación según tipo de actor.	26
Figura 3.12 (a) Distribución espacial de las reuniones de planificación. (b) Esquema en planta de la planificación de las casas por sectores representados por un color diferente.....	27
Figura 3.13 (a) Etapa de revisión de compromisos donde cada UP da cuenta del trabajo realizado. (b) Proyección de los indicadores de CNC acumuladas durante la reunión.....	28
Figura 3.14 Tendencia del PPC durante las mediciones.	29
Figura 3.15 Causas de No Cumplimiento y Causas de No Cumplimiento Acumuladas.	29
Figura 3.16 (a) Revisión del PMP durante la reunión de planificación a cargo del Jefe de Terreno.(b) Panel del PMP de las siguientes cuatro semanas en la sala de reuniones.	30
Figura 3.17 Revisión del PCP mediante un panel durante la reunión de planificación.	31
Figura 3.18 Representación del programa de fases del proyecto en construcción.....	32
Figura 3.19 % de satisfacción por etapa del uso de Last Planner en las reuniones de planificación	34

Figura 3.20 % de Satisfacción de Last Planner en las reuniones de planificación según tipo de actor	35
Figura 4.2 Distribución espacial de las reuniones de planificación	39
Figura 4.3 Planificación del proyecto en construcción representado por diagramas y coladas de hormigonado.....	40
Figura 4.4 Ejemplo de 3° semana del PMP, de acuerdo al criterio de elaboración de imágenes acordado. Semana 1 coladas a ejecutar en color rosado, semana 2 coladas a ejecutar en color amarillo y semana 3 coladas a ejecutar en color verde.....	40
Figura 4.5 (a) Revisión de la semana anterior, marcando en color las coladas programadas hormigonar: en amarillo las coladas a hormigonar para el día lunes, en morado colada a ejecutar el día miércoles y en verde para el día viernes. (b) Segunda imagen de revisión de la semana anterior considerando el cumplimiento de las coladas comprometidas a hormigonar, pintándolas con los colores del semáforo: verde compromisos cumplidos, amarillo compromisos semi-cumplidos y rojo compromisos no cumplidos.....	43
Figura 4.6 Tendencia del PPC durante la Fase I	44
Figura 4.7 Plan de mediano plazo programado, donde cada color representada una semana del PMP (a)-(d). (a) Programación de la primera semana del PMP con las coladas a ejecutar en verde.(b) Programación de la segunda semana del PMP con las coladas a ejecutar en azul. (c) Programación de la tercera semana del PMP con las coladas a ejecutar en color rojo. (d) Programación de la cuarta semana del PMP con las coladas a ejecutar en color rosado, donde existe un problema de ejecución de la colada marcada en un círculo. (e) Imagen de otra vista de un problema en la ejecución de la colada 1 de la cuarta semana del PMP, en color rosado, debido a que no posee apoyo para construir los muros.	45
Figura 4.8 Cambio en el orden de ejecución de todas las semanas del PMP (a)-(d), debido a problema de ejecución de una colada de la Figura 4.7. (a) Reprogramación de la primera semana del PMP con las coladas a ejecutar representadas en verde. (b) Reprogramación de la segunda semana del PMP representada por las coladas en azul. (c) Reprogramación de tercera d representada en color anaranjado. (d) Reprogramación de la cuarta semana representada en color rosado, donde ya no existen dificultades en su ejecución, debido a la reprogramación de las coladas anteriores.	46
Figura 4.9 Imagen del plan de trabajo semanal ocupada en la reunión de planificación, representado en color verde las coladas comprometidas a realizar esa semana.	47
Figura 4.10 % de Satisfacción de imágenes 4D según tipo de actor	50
Figura 4.11 Utilización de modelo durante la reunión	51
Figura 4.12 Tendencia del PPC durante la Fase II	54
Figura 4.13 Utilización de emulación del modelo 4D en Revit durante la revisión del PMP.....	54
Figura 4.14 % de Satisfacción del modelo según tipo de actor de la Fase II.	57

Figura 4.15 Tendencia del PPC durante la Fase III.	60
Figura 4.16 Visualización del video 4D del Plan de Corto Plazo	61
Figura 4.17 Comparación de % de satisfacción entre Fases I, II y III.	64
Figura 4.18 Notas de cada fase.	65
Figura 4.19 Mejor forma de mostrar el programa durante las reuniones según los participantes de la reunión.	65
Figura 4.20 Planificación del proyecto en construcción representado por diagramas de ciclos de hormigonado.	66
Figura 4.21 Criterio de elaboración de imágenes según coladas y colores por semana.	67
Figura 4.22 Representación de los compromisos de la semana anterior en imágenes.	69
Figura 4.23 Revisión de las Causas de No Cumplimiento durante la revisión de la semana anterior.	70
Figura 4.24: Tendencia del PPC durante la Fase I.	70
Figura 4.25 Ejemplo de Plan de Mediano Plazo programado.	71
Figura 4.26 Revisión del Plan de Corto Plazo mediante una imagen diaria del modelo 4D del plan semanal durante la reunión.	72
Figura 4.27 Imagen del plan de trabajo semanal mostrada durante la reunión	73
Figura 4.28 Diagrama de la planificación entregada a los U.P. del plan a ejecutar.	75
Figura 4.29 % de Satisfacción de imágenes 4D según tipo de actor	76
Figura 4.30 Tendencia del PPC durante la Fase II.	80
Figura 4.31 Revisión del Plan de Corto Plazo con el modelo 4D durante la reunión.	81
Figura 4.32 % de Satisfacción de modelo 4D según tipo de actor	83
Figura 4.33 Visualización de video 4D durante las reuniones de planificación, con dos vistas: una en planta y la otra en perspectiva, mostradas simultáneamente.	85
Figura 4.34 Tendencia del PPC durante la Fase III.	87
Figura 4.35 Revisión del modelo 4D del Plan de Corto Plazo	88
Figura 4.36 % de Satisfacción Fases I, II Y III	90
Figura 4.37 % de Satisfacción de videos 4D según tipo de actor.....	91
Figura 4.38 Notas de cada fase para proyecto IV	92
Figura 4.39 Mejor forma de mostrar el programa durante las reuniones según los participantes de la reunión	92
Figura 5.1 % de satisfacción de los proyectos I y II con el uso de Last Planner.....	100

Figura 5.2 % de satisfacción de los proyectos III y IV	101
Figura 5.4 Ejemplo de uso de de colores al exportar modelo de Revit a Navisworks	105
Figura 5.5 Ejemplo de visualización por actividades del programa a ejecutar en Naviswoks....	106
Figura 5.6 Ejemplo de visualización de la revisión de la semana anterior mediante una imagen comparativa de las tareas programadas y las ejecutadas. (a) Imagen de las tareas programadas y comprometidas a realizar. (b) Imagen de las tareas ejecutadas la semana anterior.....	108
Figura 5.7 Ejemplo de representación del PMP, con una imagen semanal del programa de construcción. (a) Programa de construcción para la primera semana del plan programado. (b)-(c) Programa de construcción programado para la segunda y tercera semana del PMP. (d) Representación del la cuarta semana del PMP.	109
Figura 5.8 Representación del PCP en la reunión de planificación, mediante un video en el Time Liner de Naviswoks, incluyendo dos vistas simultáneas en el video: una vista en planta y otra en perspectiva.	110
Figura 5.9 : Ejemplo de entrega del PCP a ejecutar una vez terminada la reunión de planificación, como recordatorio para los UP.	111
Figura 5.10 Ejemplo de entrega del PMP una vez finalizada la reunión de planificación, para generar restricciones al plan programado.	111
Figura 5.11: Diario mural con los cumplimientos obtenidos en la planificación de la obra, indicando el PPC obtenido semanalmente, CNC acumuladas obtenidas regularmente y porcentaje de confiabilidad de los participantes de la reunión de planificación.	112

CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN

1.1- Introducción al Capítulo

En el presente capítulo se presenta una contextualización, motivación para realizar este trabajo, alcance, hipótesis, objetivos, resultados esperados y metodología de la investigación. Además se muestran los proyectos estudiados con sus respectivas descripciones, un resumen del capítulo y finalmente una guía de lectura del trabajo de investigación.

1.2- Contextualización

Hoy en día el mejoramiento de gestión en la construcción, la incorporación de calidad, especialización, productividad, nuevas tecnologías y más información con el fin de realizar procesos de una manera más óptima, se está haciendo cada vez más conocido en esta industria. Si bien este crecimiento ha sido notable, aún las constructoras son reacias a hacer cambios significativos en la forma de planificar sus obras, se tiene una visión de corto plazo de los problemas, tomando constantemente medidas correctivas en vez de medidas preventivas como se esperaría.

Teniendo como objetivos mejorar la gestión en la construcción Koskela (1992) introdujo el nuevo modelo 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 y Howell, 1998).

BIM (Building Information Modeling), modelado de información para la edificación, es una plataforma tecnológica que integra arquitectura, ingeniería y construcción, que tiene como objetivo modelar edificaciones con la información necesaria para facilitar su diseño y construcción (Anon., 2007). Como parte de BIM la modelación 4D busca conectar las planificaciones hechas en carta Gantt con su modelo tridimensional, con el fin de visualizarlo en el tiempo, identificando de este modo interferencias, actividades hechas y ayudar a cuantificar la magnitud de los compromisos proyectados a ejecutar. Esta herramienta sumada al Sistema Last

Planner es de gran ayuda en las planificaciones, y su uso en conjunto es reciente, tanto en Chile, como internacionalmente (Khanzode, 2010).

La tecnología Last Planner-4D actualmente se ha implementado y sigue implementando en algunos proyectos del país. Hasta el momento la forma de operar en conjunto se ha utilizado solamente en proyectos donde la complejidad de la obras es alta debido a la forma, proceso constructivo y la cantidad de disciplinas que participan.

1.3- Motivación de la Investigación

Se han encontrado diversos problemas en las metodologías de construcción en Chile, entre las que destacan:

1. 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 y 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.
2. Dificultades de comunicación entre los actores del proyecto (integrantes de la oficina técnica y terreno). Se entrega información poco clara, lo que conlleva a distintas interpretaciones.
3. Falta de congruencia entre los compromisos propuestos, la mayoría de las veces son impuestos por los profesionales a cargo de revisar la programación, y lo ejecutado en terreno. Esto conlleva a Causas de No Cumplimiento (CNC) y avances menores a los esperados.

La principal motivación de este trabajo es validar la implementación de Last Planner-4D en edificaciones en Chile.

1.4- Alcance de la Investigación

Se estudiarán cuatro proyectos que utilizan el Sistema Last Planner en su planificación. Dos de ellos adicionalmente poseen un modelo tridimensional hecho en Revit Architecture, el cual mediante la ayuda de la investigadora será utilizado para visualizar el programa de construcción a ejecutar. La idea es medir en los cuatro proyectos como es llevada a cabo la

planificación tomando datos de los indicadores de cumplimiento del programa y aspectos de forma de las reuniones. Estas mediciones se realizarán durante las reuniones de planificación realizadas una vez a la semana. Para los proyectos Last Planner-4D, se medirán otros aspectos de forma de cómo el modelo 4D ayuda en el entendimiento del programa a ejecutar.

Para los proyectos Last Planner esta medición será de tres a cuatro semanas, duración de una fase de medición. Para los proyectos Last Planner-4D esas mediciones serán más extensas, debido a que la visualización del modelo 4D se divide en tres fases con duración de tres a cuatro semanas cada una.

El análisis de los proyectos Last Planner estará basado en cómo es llevada la planificación durante las mediciones tomadas y como los indicadores: Porcentaje del Plan Completado (PPC) y Causas de No cumplimiento (CNC) muestran el comportamiento de la incertidumbre de estos proyectos. Para los proyectos que utilizan 4D, además se recogerá la opinión de los participantes de las reuniones de planificación para saber cómo las distintas visualizaciones del modelo 4D ayudan a comunicar mejor el plan a ejecutar, y cuál es la visualización más adecuada para ser utilizada en cada una de las etapas de la reunión.

Finalmente según los resultados obtenidos se planteará una propuesta del uso del Sistema Last Planner en conjunto con el modelo 4D en las reuniones de planificación.

1.5- Hipótesis de Investigación

- El utilizar el modelo 4D en conjunto con Last Planner en edificaciones, ayuda a tener mejores resultados en la planificación, la incertidumbre y comunicación, que aquellos proyectos que no utiliza el modelo 4D.

- Utilizar Last Planner-4D mejora la planificación, obteniéndose mejores resultados en los aspectos cuantitativos según una pauta de evaluación Last Planner que los proyectos que solo ocupan Last Planner.

- La incertidumbre disminuye en los proyectos que utilizan Last Planner- 4D en relación a los que solo ocupan Last Planner, debido a que cada una de las personas que participa de la implementación reduce las dudas sobre las tareas que deben realizar en comparación con los proyectos que solo utilizan Last Planner, mejorando los indicadores PPC y CNC.

- La comunicación se facilita utilizando el modelo 4D con Last Planner. Los actores del proyecto quedan más claros sobre cuáles son las tareas que deben realizar y las dificultades para ejecutarlas, en relación a aquellos proyectos que solo utilizan Last Planner.

1.6- Resultados Esperados

- Formalización de una propuesta de implementación de un método de planificación aplicando el Sistema Last Planner junto a modelación 4D en edificaciones.

- Análisis cualitativo y cuantitativo comparando la variación de la planificación entre la implementación del sistema Last Planner y Last Planner-4D.

- Análisis de las mediciones del cumplimiento de las tareas mediante los indicadores: PPC, CNC y cómo ellos ayudan en la incertidumbre del trabajo realizado tanto para los casos de implementación Last Planner como para Last Planner-4D.

- Análisis de percepción de los actores: estudio de factibilidad de la comunicación e interpretaciones entre los participantes y sus diferencias para los casos utilizando Last Planner y Last Planner-4D.

1.7- Objetivos de la investigación

1.7.1.- Objetivo General

Analizar y proponer una metodología de aplicación de elementos del Sistema Last Planner con modelación 4D en edificaciones.

1.7.2.- Objetivos Específicos

Para 4 proyectos en construcción, 2 implementado Last Planner y 2 Last Planner-4D se trabajará para lograr los siguientes objetivos:

1. Identificar como varía la planificación de obras que utilizan Last Planner, cuando se agrega un modelo 4D.
2. Analizar la variación de incertidumbre en las tareas a realizar en terreno de proyectos que utilizan Last Planner con aquellas que incorporan un modelo 4D.
3. Cuantificar cómo afecta la comunicación entre los actores de un proyecto que utilizan Last Planner versus la utilización de Last Planner-4D.

1.8- Metodología de la investigación

En la Figura 1.1, se detalla la metodología ocupada. Esta investigación parte con entrevistas a expertos que han implementado Last Planner-4D en proyectos, con el fin de recoger sus experiencias y lecciones aprendidas (Ver Anexo A). Luego esta investigación se divide en dos tipos de análisis, uno para el grupo de proyectos Last Planner y otro para el grupo de proyectos Last Planner-4D.

Para el primer grupo de proyectos se medirá durante tres a cuatro reuniones de planificación cómo se desarrolla la planificación, para ello se medirán diversos aspectos mediante

una evaluación denominada “Pauta de evaluación Last Planner”, mediciones que se detallan en el Anexo B, para finalmente aplicar una encuesta de satisfacción de cómo se comunica el programa a ejecutar.

Para el segundo grupo de proyectos se medirán tres fases distintas, cada una durante tres a cuatro reuniones, donde en cada una se mostrará el modelo 4D, de manera diferente:

- Fase I: Uso de imágenes del modelo 4D durante la reunión de planificación.
- Fase II: Manipulación directa del modelo 4D durante la reunión de planificación.
- Fase III: Uso de videos del modelo 4D durante la reunión de planificación.

Al igual que el grupo de proyectos anterior, a las reuniones a las cuales se asista se medirá mediante la pauta de evaluación Last Planner y al finalizar cada una de las fases se aplicará una encuesta de satisfacción sobre cómo ayuda el uso del modelo 4D en sus distintas visualizaciones al entendimiento del plan a ejecutar, durante las reuniones de planificación.

Finalmente se analizarán tres aspectos de los resultados obtenidos: planificación, incertidumbre y comunicación, y de acuerdo a estos resultados se propondrá una metodología de aplicación en conjunto del Sistema Last Planner con modelación 4D.

1.9- Proyectos Estudiados

Proyecto I : MARCOLETA

Ubicación : Centro de Santiago

Planificación : Last Planner



Proyecto II : MISIONEROS

Ubicación : La Dehesa

Planificación : Last Planner



Proyecto III : YOEMAR

Ubicación : Conchalí

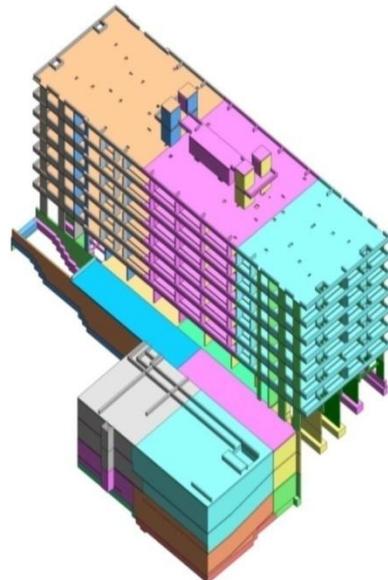
Planificación : Last Planner-4D



Proyecto IV : LAS LILAS II

Ubicación : Las Condes

Planificación : Last Planner-4D



1.10- Descripción de los proyectos

a) Proyecto I

Nombre	:	MARCOLETA
Tipo de edificación	:	Edificio habitacional
Tamaño (m ²)	:	35.400
Duración	:	Enero 2011 – Marzo 2012
Etapas de construcción	:	Terminaciones
Costo	:	US\$ 12 MILLONES
Web	:	http://www.paseolira.cl/

b) Proyecto II

Nombre	:	MISIONEROS
Tamaño (m ²)	:	40.530
Tipo de edificación	:	Casas residenciales
Duración	:	Enero 2011 – Febrero 2012
Etapas de construcción	:	Terminaciones
Costo	:	-
Web	:	http://www.losmisioneros.cl

c) Proyecto III

Nombre	:	YOEMAR
Tamaño (m ²)	:	30.581
Tipo de edificación	:	Edificio de oficinas
Duración	:	Marzo 2011 – Octubre 2012
Etapas de construcción	:	Obra Gruesa
Costo	:	-
Web	:	http://www.torreyoemar.net

d) Proyecto IV

Nombre	:	LAS LILAS II
Tamaño (m ²)	:	9.223
Tipo de edificación	:	Edificio de oficinas
Duración	:	Octubre 2011 – Noviembre 2012
Etapas de construcción	:	Obra Gruesa
Costo	:	154.037 UF
Web	:	-

1.11- Resumen del Capítulo

En este capítulo fueron especificados los puntos principales de la investigación: problemas encontrados en la práctica a modo de motivación, alcance, hipótesis, resultados esperados, objetivos y metodología de la investigación. Además fueron descritos los proyectos en estudio.

1.12- Guía de lectura

El siguiente trabajo de investigación se divide en 8 capítulos: Capítulo 1 describe los puntos fundamentales para entender el sentido de la investigación: motivación, alcance, resultados esperados, objetivos, metodología y descripción de los proyectos en estudio. Capítulo 2 describe el marco teórico en el cual se basa la investigación, importante para entender los temas que se tratarán en este trabajo. Capítulo 3 presenta los resultados y análisis obtenidos de los proyectos Last Planner. Capítulo 4 detalla los resultados y análisis obtenidos de los proyectos Last Planner-4D. Capítulo 5 hace una comparación de los resultados obtenidos de los proyectos Last Planner y Last Planner-4D, además se plantea una metodología de aplicación del Sistema Last Planner en conjunto con modelación 4D de acuerdo a los resultados obtenidos de los capítulos anteriores. Capítulo 6 detalla las conclusiones de la investigación de acuerdo a las hipótesis planteadas en el primer capítulo. Capítulo 7 muestra las referencias bibliográficas a las cuales se acudió para desarrollar la investigación, finalmente los Anexos muestran las entrevistas a expertos, la pauta de evaluación Last Planner y las encuestas aplicadas.

CAPÍTULO 2 : MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción al Capítulo

En el presente capítulo se presenta las definiciones necesarias para comprender los conceptos utilizados durante la investigación. Primeramente se estudió Lean Construction, punto fundamental para entender de donde nace el Sistema Last Planner ocupado en la planificación de obras. También fue revisada la teoría de modelación 4D, parte de la tecnología BIM. Finalmente se indican experiencias previas de uso de la metodología en conjunto Last Planner-4D.

2.2. Lean Construction

La industria manufacturera ha sido el modelo a seguir de las innovaciones que se han realizado en la construcción. Las primeras ideas de la nueva filosofía de producción se originan en Japón en el año 1950, las cuales fueron aplicadas en el Sistema Toyota, sin embargo, es hacia fines de la década de los setenta cuando estos nuevos enfoques de implementación “Lean Production” o “Producción Sin Pérdidas”, tienen un importante impacto en la producción industrial actual, siendo uno de los ejemplos más notables el de la industria automovilística (Howell y Ballard 1994).

Teniendo como base las experiencias de la industria manufacturera, a principios de los 90 el "International Group of Lean Construction" (IGLC) desarrolla un nuevo referencial teórico denominado "Lean Construction" o "Construcción Sin Pérdidas", este nuevo sistema de construcción propuesto por Koskela (1992), tiene por objetivo mejorar la productividad minimizando o eliminando todas aquellas fuentes de pérdidas en los procesos productivos, que normalmente implican: menor calidad y mayores costos, entre otros.

Mediante el enfoque Lean Construction se han desarrollado diversas herramientas que tienen por objetivo reducir las pérdidas a través del proceso productivo. Una de estas herramientas de planificación y control fue diseñada por Ballard (1994) denominado "Sistema Last Planner" o "Sistema del Último Planificador". Este sistema de planificación presenta cambios fundamentales en la manera de cómo los proyectos son planificados y controlados. El método incluye la definición de unidades de producción y el control de flujo de actividades, mediante asignaciones de trabajo. Facilita el conocimiento del origen de los problemas y la toma de decisiones oportuna para solucionarlas a tiempo, incrementando de este modo la productividad.

El Sistema Last Planner ha sido aplicado en un gran número de proyectos en todo el mundo. En Chile este sistema se ha implementado en varios proyectos desde 1996 (Alarcón y Cruz 1997), y en forma intensiva desde el año 2000 por investigadores del Centro de Excelencia en Gestión de Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

2.3. Sistema Last Planner

El concepto de planificación no debe ser entendido simplemente por la utilización de un programa computacional para ordenar las actividades de un proyecto. La planificación debe determinar lo que se debe hacer, cómo se debe hacer, qué acción debe tomarse, quién es el responsable de ella y porqué. Con el fin de implementar un sistema de planificación que incluyese los puntos antes mencionados Glen Ballard, propone el Sistema Last Planner., con el cual apunta a fundamentalmente a aumentar la fiabilidad en la planificación y de esta manera mejorar los desempeños y por la tanto la productividad (Campero y Alarcón 2008).

Este nuevo sistema agrega al nivel de planificación existente: la planificación general de la obra o Plan Maestro, otros tres niveles de planificación: programa de fase, planificación intermedia y planificación semanal. El plan se va afinando de acuerdo a la consideración cuidadosa de lo que DEBERÍA hacerse y lo que efectivamente PUEDE realizarse. A diferencia de la planificación convencional, esta nueva forma de planificar selecciona lo que DEBE realizarse para completar el proyecto y decidir en un marco de tiempo lo que SERÁ hecho. Reconociendo que a raíz de la limitaciones de recursos, no todo PUEDE ser hecho. Por consiguiente, si lo que DEBE realizarse se determina el subconjunto de lo que PUEDE ser hecho, y a la vez de lo que PUEDE realizarse se determina el subconjunto de lo que SERÁ realizado, entonces existe una alta probabilidad que lo que se ha planificado sea completado con éxito (Campero y Alarcón 2008).

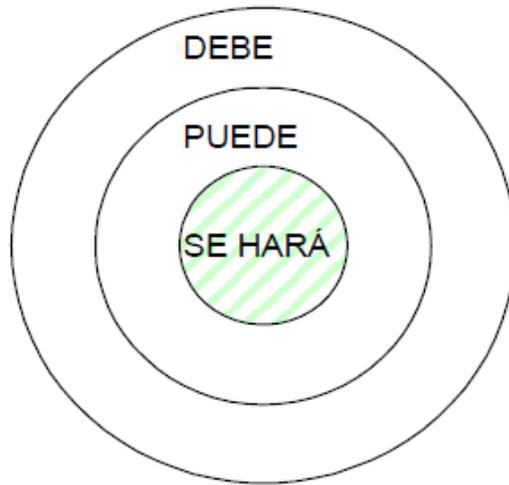


Figura 2.1 Diagrama de una planificación ideal (Campero y Alarcón 2008).

Dentro del Sistema Last Planner se plantean los compromisos que deben asumir las personas que los ejecutarán, se analizan las restricciones o cuellos de botella que impiden que los compromisos que se plantean sean logrados. Las personas que plantean dichas restricciones se denominan “Últimos Planificadores (UP)”.

A continuación se detallan los distintos niveles de planificación:

Programa Maestro: Es la planificación inicial. En este punto se genera el presupuesto y el programa del proyecto proporcionando un mapa de coordinación de actividades que llevan a la realización del proyecto. Debe ser desarrollado con información que represente el verdadero desempeño que posee la empresa en obra, de otra manera el Sistema Last Planner no tiene validez.

La estructura básica del programa Maestro se determina subdividiendo el trabajo en partes, determinando la secuencia en que serán ejecutadas y los hitos de control para el proyecto. Este programa no debería ser usado para manejar actividades excepto en proyectos muy simples y pequeños.

Programa de Fase: Estos programas de fase son una subdivisión más detallada del programa Maestro, ya que cuando los proyectos son muy grandes el uso de ellos resulta más ordenado y manejable.

Planificación Intermedia (lookahead): Esta planificación tiene como principal objetivo controlar el flujo de trabajo. Durante esta etapa se detalla y ajusta el presupuesto del programa, arrastrando recursos hacia la obra y protegiendo actividades para las que probablemente los recursos no estén disponibles. En este nivel se analizan las restricciones futuras.

Planificación Semanal: Planificación que presenta el mayor nivel de detalle antes de realizar un trabajo. Es realizada por diseñadores, capataces, subcontratos y otras personas que supervisan directamente la ejecución del trabajo. En esta planificación se selecciona lo que

DEBE realizarse para completar el trabajo y se decide lo que SERÁ hecho, dentro de este marco se selecciona lo que PUEDE ser hecho a modo de compromiso para la semana siguiente. Semana a semana se revisan los compromisos cumplidos y se genera el índice de Porcentaje del Plan Completado (PPC), calculado como se muestra en la ecuación 1.

$$PPC = \frac{\sum \text{Actividades completadas}}{\sum \text{Actividades programadas}} \times 100 \text{ (ec. 1)}$$

Cuando las actividades comprometidas no son completadas se determinan las CNC y sus responsables. Estas son llevadas estadísticamente para mantener un registro histórico y planear acciones correctivas.

En ciertos casos, cuando la implementación del Sistema Last Planner es exitoso entre los participantes de un proyecto, además del PPC y las CNC se mide el porcentaje de confiabilidad de cada Ultimo Planificador (ver ecuación 2), el cual tiene por objetivo como es el cumplimiento de compromisos de cada UP.

$$\% \text{ de confiabilidad de cada UP} = \frac{\sum \text{Actividades cumplidas}}{\sum \text{Actividades comprometidas}} \times 100 \text{ (ec. 2)}$$

El Sistema Last Planner llevado a la práctica durante las reuniones de planificación semanales posee algunos factores que deben ser considerados al momento de implementar este sistema de planificación (Sabbatino 2011):

Una buena reunión debe ser rápida y fluida para lograr los objetivos que se necesitan. La duración óptima debe ser alrededor de 1:00-1:30 hrs., para esto se debe segmentar la reunión en tres etapas bien definidas: análisis de lo transcurrido en el pasado, luego mirar hacia el futuro (lookahead) en búsqueda de nuevas restricciones y finalmente revisar el presente donde los últimos planificadores se comprometen a realizar tareas para el próximo período.

A continuación se explica lo que debe contener cada una de las etapas de la reunión:

- a) **Revisión de la Semana anterior:** Esta etapa dentro de la reunión de planificación, se recomienda que debe durar alrededor de un 25% del tiempo del total de la reunión, donde principalmente se debe hacer un análisis minucioso del Porcentaje del Plan Completado (PPC). También se deben revisar las Causas de No Cumplimiento (CNC) para luego tomar las Acciones Correctivas (AC) para evitar situaciones similares en el futuro.
- b) **Revisión del Plan de Mediano Plazo:** Esta parte de la reunión debe ser una de las más importantes, ya que es donde se pueden detectar posibles dificultades y problemas a futuro. Los implementadores de Last Planner experimentados recomiendan que el Plan de Mediano Plazo se revise antes del Plan de Corto Plazo (PCP), ya que es donde se pueden visualizar las restricciones que se tendrán a largo plazo para tenerlas presente, durante el posterior análisis del Plan de Corto Plazo. Una

vez detectadas las restricciones se deben generar compromisos por parte de los participantes para lograr su gestión y liberación en una fecha definida. También se debe hacer una actualización de las actividades del plan de lookahead y el reordenamiento del trabajo según corresponda para preparar el trabajo que se ejecutará en el futuro PCP. Esta etapa debe ocupar el 50% del tiempo de la reunión.

- c) **Revisión del Plan de Corto Plazo:** Por último, se debe examinar el período de corto plazo siguiente. Se deben comprometer avances por parte de los participantes según lo programado (lo que se “debe” cumplir según el programa) y lo que efectivamente se puede lograr (lo que se hará según las condiciones). Estos compromisos se revisarán y analizarán en el próximo período.

2.4. BIM

BIM: “Building Information Modeling” (Eastman et al., 2008) o “Modelado de Información para la Edificación” modela toda la información necesaria para facilitar el diseño, la construcción y la operación de un proyecto de construcción y corresponde a una generación de programas que permite ir diseñando tridimensionalmente desde el inicio del proyecto e incorpora información en cada uno de los elementos, lo que permite ir cubicando y calculando costos al mismo tiempo que se va proyectando. BIM es mucho más que un 3D, y está dejando atrás al 2D.

Existen distintos estudios desarrollados por variados grupos de interés que han fomentado distintos nombres para lograr el mismo objetivo: mejorar la gestión de los proyectos de construcción utilizando modelos visuales inteligentes. Está VDC (Virtual Design and Construction) propuesto por CIFE “Center for Integrated Facility Engineering” de la Universidad de Stanford en EEUU, nD Modeling por la Universidad de Salford del Reino Unido y BIM nombre fomentado principalmente por empresas de software (Saldías 2010).

Dentro de BIM, se encuentra una división denominada modelación 4D. Esta tecnología, combina modelos 3D con una cuarta dimensión dada por el tiempo. La cual es aplicada dentro de la construcción para visualizar los procesos constructivos. Al incorporar el tiempo, la construcción se visualiza en etapas tempranas del proyecto, en un enfoque que va más allá de la forma tradicional de planificación de la estrategia de construcción: “Los modelos 4D reflejan la realidad de la ejecución de la etapa de construcción del proyecto mejor que cualquier otro enfoque actualmente en uso” (Fischer y Kunz 2004).

Una de las grandes ventajas que tiene esta aplicación es que se puede incorporar la experiencia de construcción desde la etapa de diseño, donde diseñadores, planificadores y constructores trabajan integradamente desde etapas tempranas del proyecto. De este modo los errores son captados a tiempo antes de la ejecución con el correspondiente ahorro de costos y de tiempo que este análisis conlleva. Además con los modelos 4D se mejora el proceso de toma de decisiones al poder realizar el análisis en el mismo modelo suponiendo casos hipotéticos y modelándolos.

La precisión geométrica es importante, pero no crítica en este tipo de modelos. Lo que sí es relevante es la actualización del modelo con el fin de que el modelo sea consistente con las actividades de la secuencia constructiva.

2.5. Experiencias previas de uso de Last Planner- 4D

Dentro de Chile el uso de la modelación 4D en conjunto con Last Planner para planificar obras es nuevo, uno de los casos emblemáticos de uso de esta tecnología ha sido el Museo de la Memoria en Santiago de Chile: proyectado con una superficie de construcción cercana a los 5.000 m² y una inversión superior a los 11 mil millones de pesos. Como resultado se obtuvo un aumento de los compromisos de las reuniones en un 12%, se redujo el tiempo de coordinación del proyecto a solo una reunión semanal de duración de una hora (Mora 2009; Saldías 2010).

2.6. Resumen del Capítulo

En este capítulo se revisaron temas de Lean Construction, Sistema Last Planner, tecnología 4D como parte de BIM y finalmente experiencias previas del uso de Last Planner-4D, una vez definidas cada una de las herramientas necesarias para comprender los conceptos utilizados en este trabajo de investigación, es posible comenzar con el desarrollo de la metodología en los siguientes capítulos.

CAPÍTULO 3 : DESARROLLO DE PROYECTOS LAST PLANNER

3.1. Introducción al Capítulo

En el presente capítulo se dan a conocer las experiencias registradas de los proyectos que utilizan el Sistema Last Planner en su planificación. Se registra la metodología utilizada durante las reuniones de planificación para dar a conocer el plan a ejecutar, con el fin de tener una visión general de cómo estos proyectos operan con esta planificación. En los siguientes capítulos se hará una comparación con aquellos proyectos que utilizan un modelo 4D para visualizar su planificación.

El diagrama de la Figura 3.1 representa la metodología utilizada en los proyectos Last Planner, que consta de una única fase de 3 a 4 mediciones, cuyas mediciones y supuestos están definidos en la pauta de evaluación Last Planner, que se adjunta en el Anexo B.

1. Reunión previa: durante esta reunión se miden los temas a tratados, quienes participan y su duración.

2. Reunión de Planificación: dentro de la reunión de planificación, se hace una subdivisión en tres etapas, además de una medición de aspectos generales de la reunión,

- a. **Aspectos Generales:** se refiere a la medición de los aspectos generales o aspectos de forma de la reunión de planificación, tales como asistencia, atrasos, duración y si se tienen bien definidas las tres etapas de la reunión.
- b. **Revisión de la Semana Anterior:** es la primera etapa de la reunión, donde se revisa lo ocurrido la semana anterior, se mide y analiza el PPC, las CNC, se toman acciones correctivas, se revisa el estado de avance del proyecto, y en algunos casos se revisa el porcentaje de confiabilidad de cada UP, entre otros.
- c. **Revisión del Mediano Plazo:** durante esta etapa se mide la duración de la etapa, si se valida el Plan de Mediano Plazo (PMP) a ejecutar y se analizan restricciones para realizar dicho plan.
- d. **Revisión del Corto Plazo:** es la última etapa de medición de la reunión, donde se mide su duración, se valida el Plan de Corto Plazo (PCP) a ejecutar y se analizan las restricciones.

3. Post Reunión: En este punto se registran los documentos entregados a los UP, como el plan de mediano y corto plazo.

4. Análisis de resultados: Durante esta medición se ordenan los datos medidos mediante la pauta de evaluación Last Planner, para luego ser analizados.

5. Encuesta de percepción de la fase: Al finalizar la fase de medición, se aplica una encuesta de satisfacción del uso del Sistema Last Planner (Ver Anexo C), con el fin de medir como ayuda a comunicar el programa de construcción.

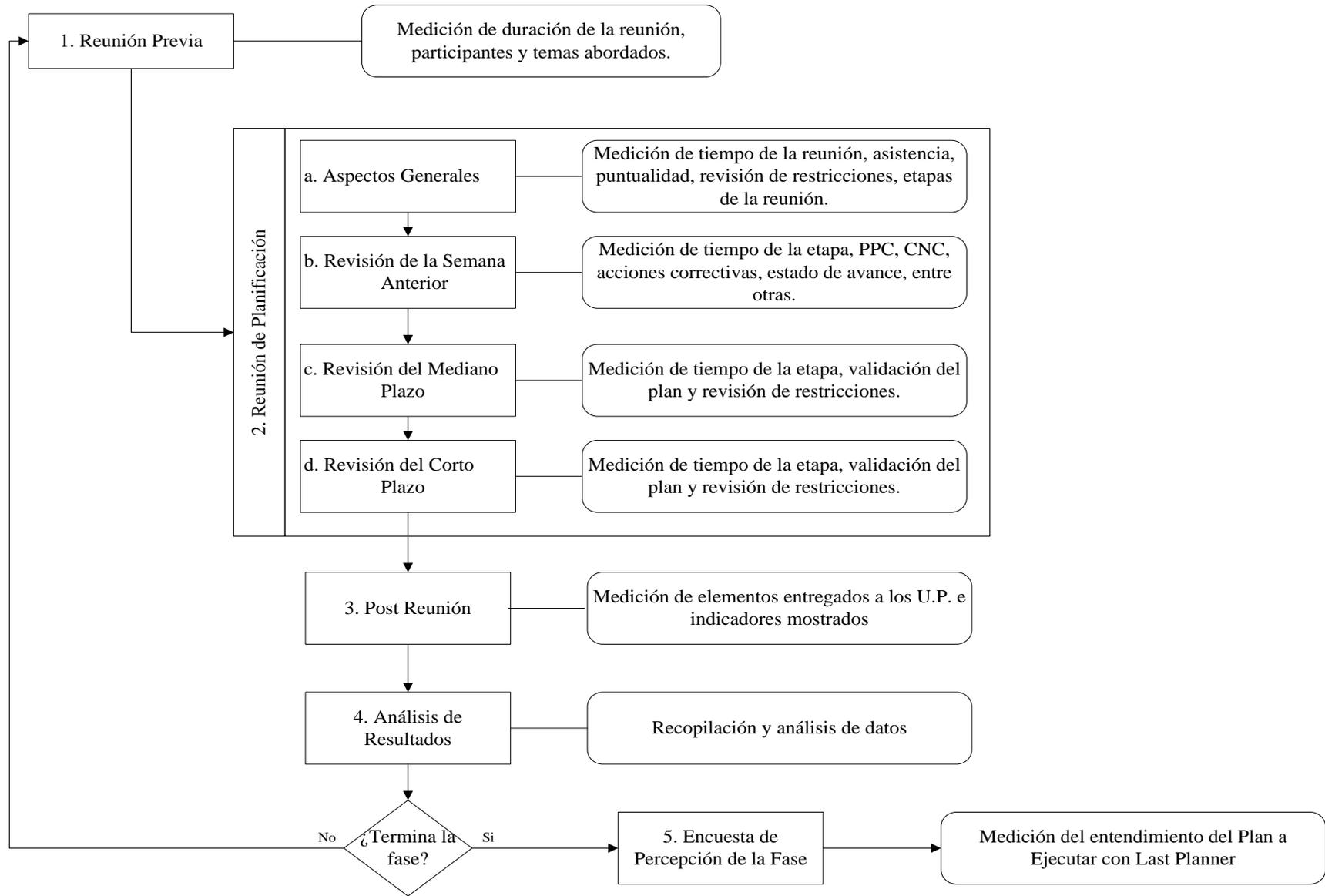


Figura 3.1 Mapeo de reuniones de planificación con el uso de Last Planner en obras.

3.2. Fase única - Proyecto I: Marcoleta

Se participa en cuatro reuniones de planificación como se muestra en la Figura 3.2, donde se miden diversos parámetros necesarios para tener una visión panorámica de cómo es llevada a cabo la programación.



Figura 3.2 (a) Proyección de los resultados obtenidos y del plan a ejecutar en la sala de reuniones. (b) Distribución espacial de las reuniones y diagrama de fase representado en panel con post-it.

3.2.1. Reunión previa

En esta etapa la investigadora no participa. Solamente se hace un chequeo de si es realizada la reunión previa, quienes participan y los puntos tratados durante la reunión.

Para el caso de Marcoleta, las reuniones previas se realizan una hora antes de comenzar la reunión de planificación, pero durante la semana existe un procesamiento de los datos: revisión del programa a ejecutar tanto por oficina técnica, terreno como por el facilitador durante la semana, se elaboran gráficos de PPC, CNC, se miden los porcentajes de confiabilidad de los últimos planificadores y se procesan los datos capturados por el facilitador.

Se verificaba el avance de la obra, yendo el día anterior a recorrer la obra, lo cual es realizado por el jefe de terreno, ayudante de terreno, oficina técnica y el facilitador de la reunión. El facilitador de la reunión para este proyecto es el Jefe de instalaciones, quien analiza la información para entregarla y llevarla procesada a la reunión previa. Durante esta reunión se hacen las modificaciones pertinentes al plan a ejecutar que se mostrará, se analiza el PPC y los puntos que se tratarán durante la reunión de planificación.

3.2.2. Reunión de Planificación

a) Aspectos generales de la reunión de planificación

Con el fin de tener una visión panorámica de cómo se llevó a cabo la reunión de planificación se midieron los parámetros que aparecen en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.

Fecha	Cuantitativo			Cuantitativo subjetivo				
	Duración de la reunión	% de personas sin atraso	% Asistencia	Tiempo	Puntualidad	Asistencia	¿Se tiene las etapas bien marcadas durante la reunión?	Promedio
02-sep	1:30:00	89%	94%	100	100	100	100	100
09-sep	1:01:00	94%	100%	100	100	100	100	100
16-sep	1:20:00	83%	83%	100	100	100	100	100
23-sep	1:01:00	56%	94%	100	100	100	100	100

Los valores presentados anteriormente se calculan de acuerdo una pauta de evaluación Last Planner, que se detalla en el Anexo B, basada en las recomendaciones de Sabbatino (2011).

De los resultados anteriores, se puede ver que el tiempo de duración de la reunión está dentro de los tiempos óptimos que debe durar una reunión de planificación, de acuerdo a las recomendaciones de Sabbatino (2011), aún estando en la etapa de terminaciones, donde se revisan mayor cantidad de actividades y se tendería a pensar que la duración sería mayor. En general los aspectos de forma de reunión como la duración, asistencia y puntualidad son muy buenos en este proyecto, por ello dentro del análisis cuantitativo subjetivo se alcanzaron puntajes máximos.

b) Revisión de la semana anterior

Durante esta etapa cada uno de los últimos planificadores, da cuenta de cómo fue su desempeño de la semana anterior. Esta instancia es rápida, cada uno, va diciendo velozmente y a viva voz los compromisos no cumplidos, de acuerdo al listado de actividades comprometidas entregado la semana anterior, para así conocer las CNC y tomar acciones correctivas al respecto. El facilitador de la reunión constantemente está pendiente de que la reunión no se desvíe de la discusión central o se comiencen a tratar temas técnicos por ejemplo, que hacen que la reunión de planificación pierda sentido. Las actividades comprometidas solamente se marcan como cumplidas y no se da mayor detalle al respecto.

En la revisión de compromisos hechos por cada UP, estos no se proyectan en la pantalla (ver Figura 3.3), para que cada uno deba hacerse cargo de sus compromisos y a su vez hacerlos responsables del Sistema Last Planner.

Una vez revisados los compromisos se da paso a la revisión de los indicadores: PPC, CNC y confiabilidad de cada último planificador.

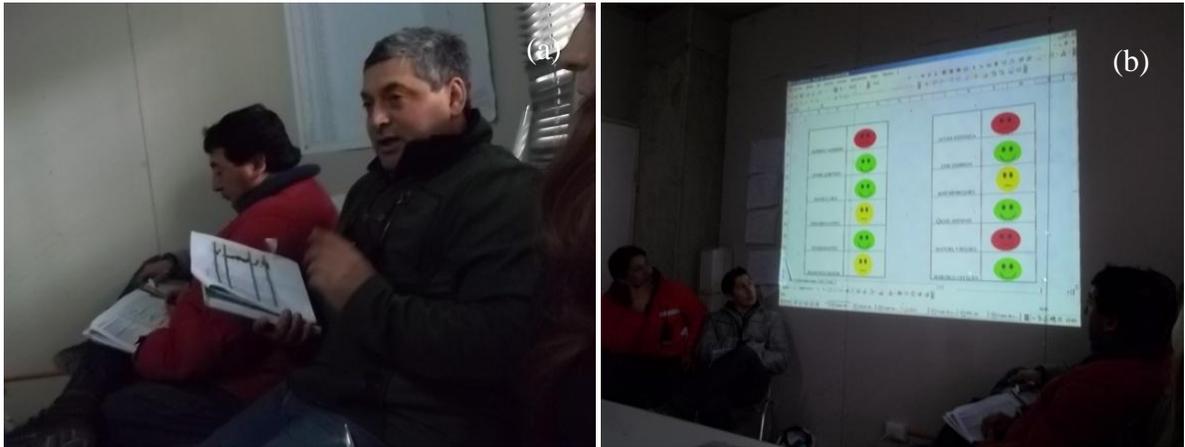


Figura 3.3 (a) Reporte de compromisos cumplidos y no cumplidos por cada U.P. (b) Revisión de indicadores de confiabilidad de cada U.P.

En la Tabla 3.2, se muestran dos tipos de análisis: cuantitativo y cuantitativo subjetivo basados en los indicadores medidos en esta etapa de la reunión (Ver Anexo B):

Dentro del análisis cuantitativo se puede destacar la disminución del PPC (Ver Figura 3.4), el cual se mantiene dentro de niveles de cumplimiento aceptables, y las principales CNC, que se deben a problemas de subcontratos tales como: falta de materiales, mano de obra y cancha como lo muestra la Figura 3.5.

El tiempo de duración de esta etapa, durante las mediciones, es mayor al esperado debido a que cada último planificador, alrededor de 18, da cuenta de su trabajo de la semana anterior. Una vez finalizada esta etapa se analizan los indicadores PPC, CNC y estado de avance del proyecto con la duración indicada en la tabla anterior.

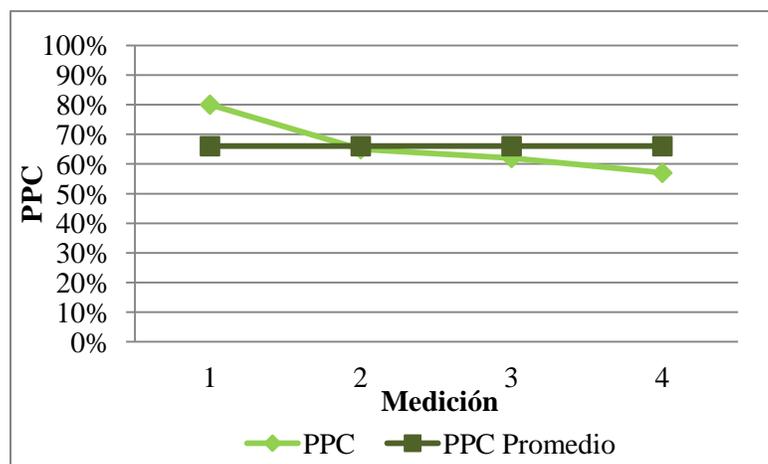


Figura 3.4 Tendencia del PPC durante las mediciones.

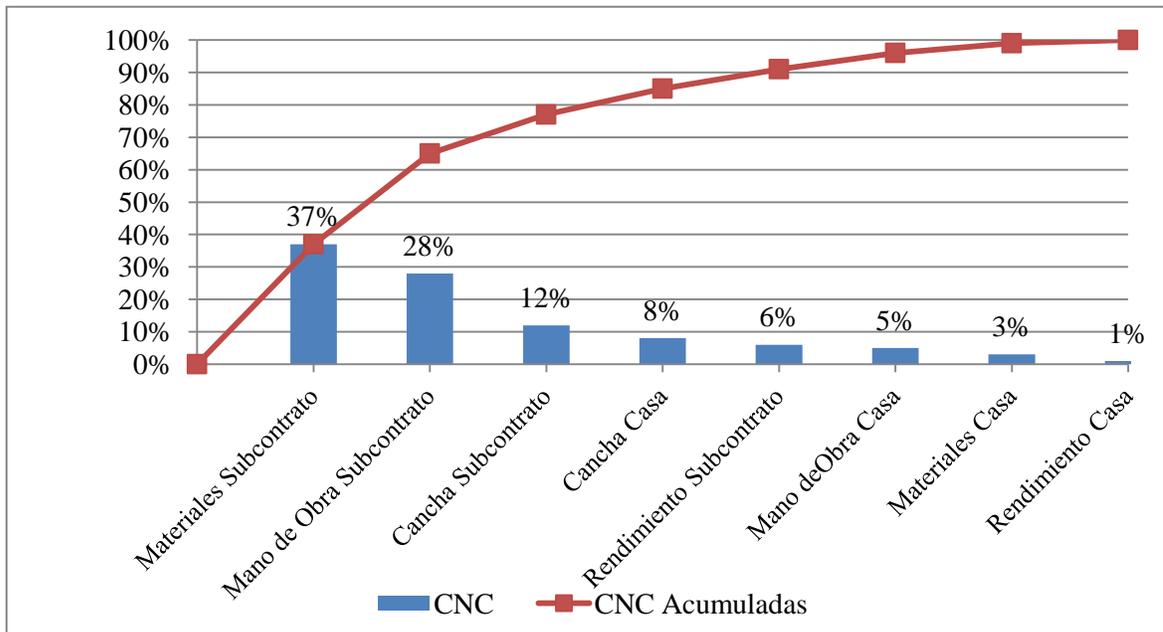


Figura 3.5 Causas de No Cumplimiento y Causas de No Cumplimiento Acumuladas.

c) Revisión del mediano plazo

Durante las reuniones se revisa un horizonte de cuatro semanas hacia adelante, proyectando el plan propuesto como se muestra en la Figura 3.6. Este Plan posee la siguiente convención de colores: en verde las actividades que no poseen restricción, anaranjado las que poseen dos restricciones y en rojo aquellas actividades que tienen tres o más restricciones.

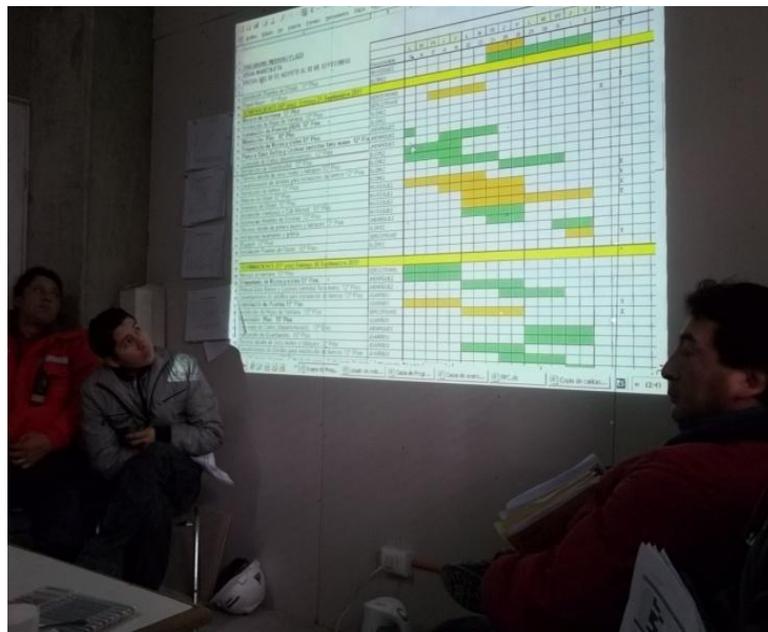


Figura 3.6 Revisión del Plan de Mediano Plazo durante la reunión de planificación.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 3.2, se ve que la duración de la revisión del mediano plazo es corta en comparación al tiempo total ocupado en la reunión. Esta etapa se revisa al final de la reunión, donde principalmente se ven aquellas actividades en rojo y anaranjado para buscar una solución y liberar sus restricciones.

d) Revisión del corto plazo

Durante esta etapa se revisa el PCP (Plan de Corto Plazo) a ejecutar de la próxima semana, el facilitador lo muestra proyectado, ver Figura 3.7, y se va validando piso a piso por cada uno de los responsables de las tareas a realizar. En esta instancia es donde los últimos planificadores de distintas especialidades aportan para que el programa sea más preciso en las fechas propuestas de acuerdo a la disponibilidad de materiales, mano de obra y cancha con la que cuentan, y de este modo detectar las restricciones que pueden impedir que el plan se cumpla.



Figura 3.7 Revisión del PCP, mediante la proyección de la Carta Gantt con las actividades a realizar la próxima semana, durante la reunión de planificación.

De los resultados obtenidos en Tabla 3.2, se puede apreciar que en general la duración y puntos tratados durante esta etapa son bastante buenos con respecto a las recomendaciones de Sabbatino (2011), sin embargo la revisión de restricciones no se realiza con frecuencia, sino que se hace durante el PMP (Plan de Mediano Plazo) de manera más general.

Las puntuaciones obtenidas en la Tabla 3.2 se obtienen según los parámetros medidos, los cuales se detallan en el Anexo B.

Tabla 3.2 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.

Etapas	Cuantitativo						Cuantitativo subjetivo									
	Duración de la etapa	% de Tiempo de la Reunión	N° de actividades comprometidas	PPC	N° CNC	Tiempo en mostrar indicadores PPC, CNC, confiabilidad, avances	Duración de la etapa	Revisión de compromisos	Detección de CNC	¿Se toman acciones correctivas?	Revisión de Estado de Avance	Análisis del PPC	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance	Revisión y validación del Plan a ejecutar	Revisión de restricciones	Promedio
Revisión Semana Anterior	0:30:00	33%	75	80%	15	0:05:00	100	100	100	100	100	100	100	-	-	100
	0:20:00	33%	66	65%	23	0:06:00	100	100	100	100	100	100	100	-	-	100
	0:47:00	59%	55	62%	21	0:05:00	50	100	100	50	100	100	100	-	-	86
	0:26:00	43%	49	57%	21	0:10:00	50	100	100	50	0	100	50	-	-	64
Revisión PMP	0:22:00	24%	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:17:00	28%	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:14:00	18%	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:15:00	25%	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
Revisión PCP	0:38:00	42%	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:24:00	39%	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:19:00	24%	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	100	0	67
	0:20:00	33%	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	100	0	67

3.2.3. Post reunión

Una vez finalizada la reunión de planificación, al día siguiente se entregan los acuerdos y compromisos tomados, tanto del corto como el mediano plazo.

Dentro de la sala de reuniones se cuenta con un diagrama de fases representados por post it como se aprecia en la Figura 3.8, donde el programa desglosado por pisos, se va marcando con un ticket si la actividad ha finalizado y con un punto a aquellas actividades que están siendo ejecutadas o han comenzado.

En la entrada de la sala de reuniones se cuenta con un panel informativo (ver Figura 3.9) donde se van mostrando los indicadores de la obra y personales: PPC, CNC acumuladas a la fecha y % de confiabilidad de cada UP (Último Planificador).



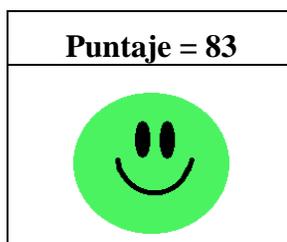
Figura 3.8 Representación del programa de fases del proyecto en construcción.



Figura 3.9 Panel de cumplimientos en la entrada de la sala de reuniones.

3.2.4. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos del análisis cuantitativo subjetivo se muestran en la Tabla 3.3, según los resultados se puede ver que la implementación del Sistema Last Planner en Marcoleta es eficiente y las distintas etapas del sistema se realizan de manera correcta, ya que se obtuvo sobre 80 puntos, lo cual es considerado como una muy buena planificación, según la convención definida en la pauta de evaluación Last Planner en el Anexo B.



La planificación en este proyecto es buena, ya que se mantiene un ritmo de trabajo, el Sistema Last Planner se implementa a un nivel más avanzado de incluso calcular los porcentajes de confiabilidad de cada último planificador. Este éxito también se debe a que existe un compromiso de todo el equipo de trabajo en el uso de este Sistema: Administración, Oficina Técnica, Terreno y los últimos planificadores, lo que hace la planificación sea más manejable, todos comprenden el sistema Last Planner y sus objetivos, y están dispuestos a hacer constantes mejoras. La planificación no descansa en una sola persona, sino que todo el equipo está constantemente buscando formas de ayudar en la planificación.

La incertidumbre del proyecto medida por la variación del PPC, tiene una tendencia a la baja durante las mediciones, indica que disminuye el cumplimiento del programa a ejecutar, esto no se debe a que la planificación haya sido deficiente, sino que se produjeron problemas externos como la falta de mano de obra y materiales de subcontrato que incidieron en el no cumplimiento de las actividades programadas.

Tabla 3.3 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación.

Fecha	Aspectos Generales de la Reunión de Planificación	Análisis de la semana anterior	Análisis del Mediano Plazo	Análisis del Corto Plazo	Promedio
02-sep	100	100	83	83	92
09-sep	100	100	83	83	92
16-sep	100	86	83	67	84
23-sep	100	64	83	67	79
Promedio	100	88	83	75	86
Ponderado	10%	20%	40%	30%	
Total Ponderado	83				

3.2.5. Encuesta de percepción de la fase

Al finalizar la etapa de toma de datos durante las reuniones de planificación, se aplicó una encuesta de satisfacción para todos los participantes de la reunión que en total fueron 18 personas, entre ellas distintas especialidades y cargos.

La Figura 3.10 muestra los niveles de satisfacción obtenido para las distintas etapas dentro de la reunión de planificación, donde la mayor satisfacción del uso de Last Planner se obtuvo en la Revisión de la Semana Anterior, esto puede deberse a que es la etapa donde más participan los últimos planificadores, dando un reporte de los compromisos cumplidos y por lo tanto la claridad de la etapa es mayor, además que se entrega información que para ellos es relevante como el PPC, CNC y confiabilidad de los últimos planificadores, que es la información que ellos valoran más.

En caso opuesto se encuentra el PMP, que obtuvo el más bajo porcentaje de satisfacción. Esto puede deberse a que primero se revisa el corto plazo para luego ver el mediano plazo, lo que pudo haber provocado un desinterés en este último, ya que los últimos planificadores están al tanto de lo que deben realizar la semana próxima y no les llamaba tanto la atención lo que pasaría más allá de ese horizonte temporal.

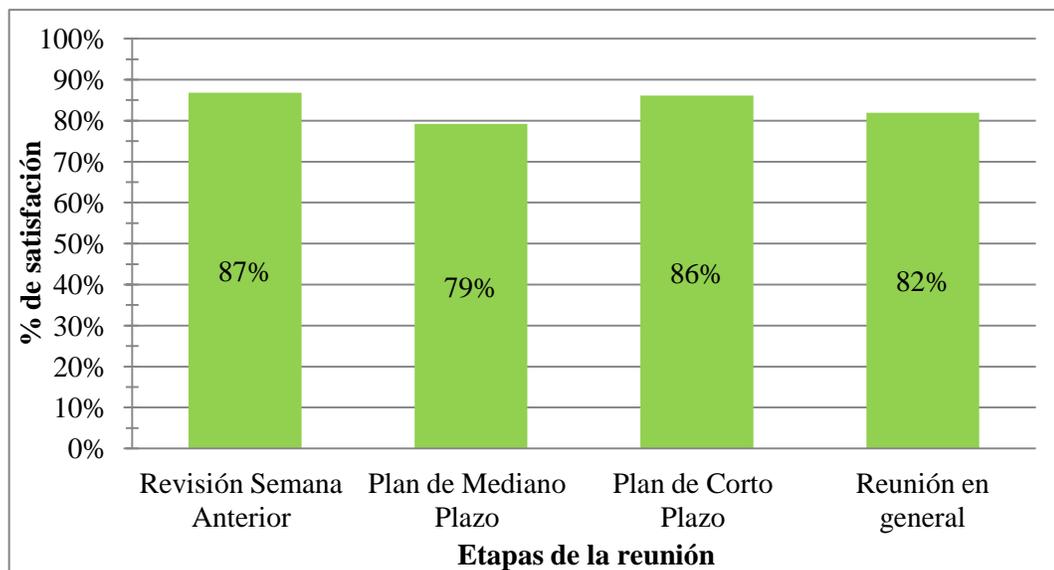


Figura 3.10 % de satisfacción por etapa del uso de Last Planner en las reuniones de planificación.

La satisfacción que dio el Sistema Last Planner a los distintos cargos que participaron en la toma de decisiones, se puede apreciar en la Figura 3.11. De las categorías se pueden encontrar: subcontratos, supervisores, capataces de la casa y profesionales expertos, donde estos últimos se refieren a: jefe de oficina técnica, jefe de instalaciones, profesionales de terreno y administrador.

Los subcontratos tuvieron el mayor nivel de satisfacción en el Mediano Plazo, con lo que se podría decir que se está pendiente de tener los materiales y trabajos a tiempo.

Para el caso de los Supervisores los mayores niveles de satisfacción están orientados al Corto Plazo, lo cual es esperable, ya que son ellos los responsables inmediatos de que los trabajos a realizar sean entregados bien hechos. Por ello es importante que estén al tanto de las cosas que les interesa para realizar su trabajo.

Los capataces de la casa, obtuvieron un mayor porcentaje tanto en la revisión de la Semana Anterior como Revisión del Corto Plazo, les queda más claro el análisis de la Semana Anterior, ya que son los actores principales de la etapa, además que se muestra la confiabilidad de cada uno, lo que va generando mayores expectativas de cumplir con los compromisos, para no obtener una carita triste de confiabilidad. La satisfacción hacia el Corto Plazo puede deberse a que son las actividades inmediatas que deben realizar.

Los profesionales expertos al igual que el caso anterior, tienen un mayor énfasis a la revisión de la Semana Anterior y al Corto Plazo, en este caso se podría haber intuido que esta parte está más interesada en la revisión del Mediano Plazo, teniendo una visión a futuro para hacer sus programaciones. Estos resultados puede deberse al tipo de actividades que se estaban ejecutando de terminaciones, las cuales no presentan mayores modificaciones en el mediano plazo.

En resumen se podría decir que los niveles de satisfacción más altos según las especialidades se vieron reflejados en la revisión de la Semana Anterior y el Plan de Corto Plazo, exceptuando a los subcontratos que fueron los únicos en tener niveles de satisfacción mayores en el Plan de Mediano Plazo.

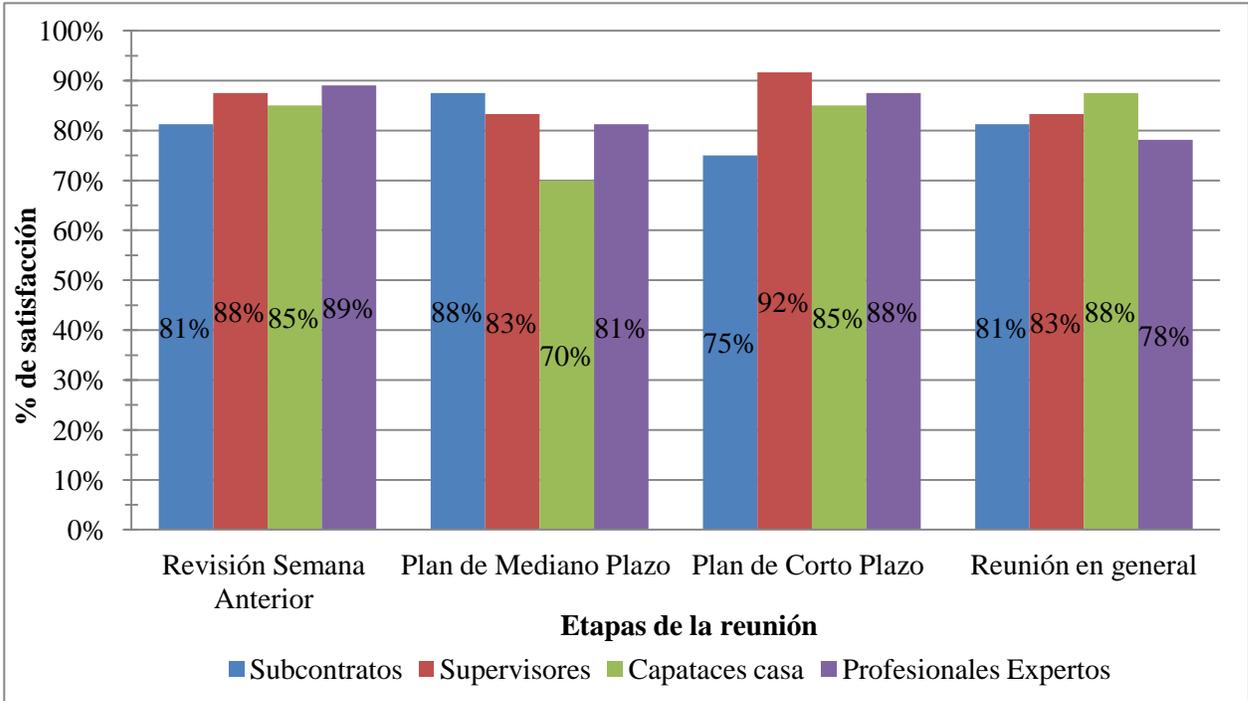


Figura 3.11 % de Satisfacción de Last Planner en las reuniones de planificación según tipo de actor.

3.3. Fase única - Proyecto II: Misioneros

Se participó en 3 reuniones de planificación como se muestra en la Figura 3.12, donde se midieron los mismos parámetros del proyecto I, a fin de obtener una visión panorámica de cómo fue llevada a cabo la programación, los cuales se detallan en el flujograma de la Figura 3.1.



Figura 3.12 (a) Distribución espacial de las reuniones de planificación. (b) Esquema en planta de la planificación de las casas por sectores representados por un color diferente.

3.3.1. Reunión previa

Las reuniones previas se realizan los días miércoles, en las cuales participan el encargado de calidad, jefe de terreno, administrador, jefe de instalaciones, supervisor de instalaciones, jefe de oficina técnica, jefe de bodega e ingeniero visitador. Durante estas reuniones se valida el Plan a ejecutar que es elaborado por el Jefe de Terreno en conjunto con el programador para finalmente mostrarlo en la reunión, además ellos poseen una programación rítmica de las partidas, la cual se va actualizando semana a semana.

3.3.2. Reunión de Planificación

a) Aspectos generales de la reunión de planificación

Los datos obtenidos de las reuniones de planificación se muestran a continuación en la Tabla 3.4, donde se puede apreciar buenos resultados de forma en la reunión de planificación, lo que demuestra un compromiso por parte de los participantes con la obra y el Sistema Last Planner. Además las duraciones de las reuniones son óptimas, a pesar de que se revise una gran cantidad de actividades a realizar.

Tabla 3.4 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.

Fecha	Cuantitativo			Cuantitativo subjetivo				
	Duración de la reunión	% de personas sin atraso	% Asistencia	Tiempo	Puntualidad	Asistencia	¿Se tiene las etapas bien marcadas durante la reunión?	Promedio
23-dic	0:55:00	80%	92%	100	100	100	50	88
05-ene	1:06:00	88%	100%	100	100	100	100	100
12-ene	1:05:00	80%	88%	100	100	100	50	88

b) Revisión de la semana anterior

Durante esta etapa, que para el caso de este proyecto es la etapa de mayor duración dentro de la reunión, cada uno de los últimos planificadores, da cuenta de cómo fue su desempeño durante la semana que pasó, inmediatamente se revisan las CNC para tomar las acciones correctivas correspondientes, guiados por el facilitador de la reunión. Es aquí donde los distintos actores como capataces de la casa, supervisores y subcontratos pueden compartir sus puntos de vista y llegar a un consenso para encontrar una solución.

Una vez finalizada la revisión de compromisos se revisa el PPC de la semana y CNC acumuladas y confiabilidad de cada UP como se muestra en la Figura 3.13.

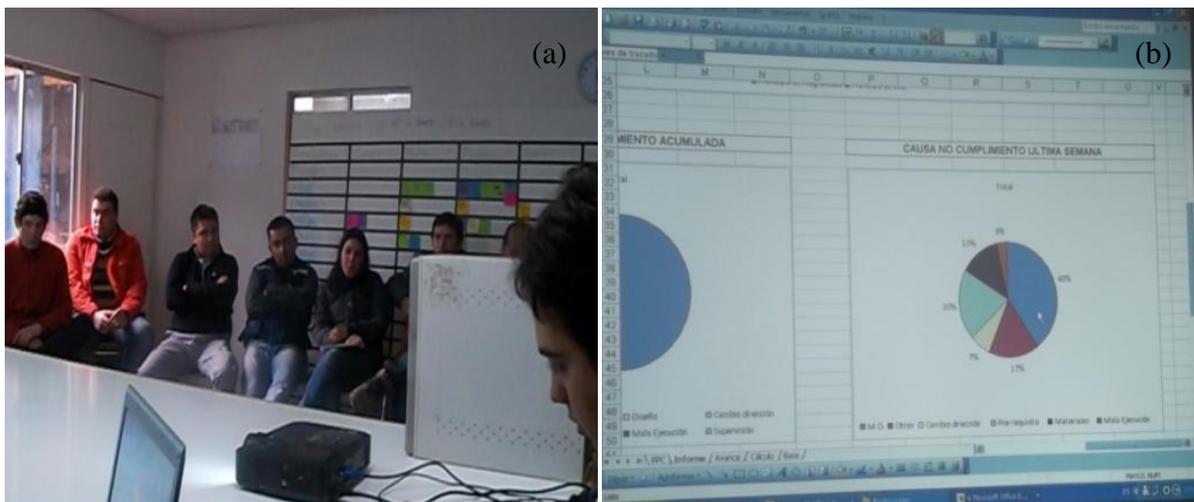


Figura 3.13 (a) Etapa de revisión de compromisos donde cada UP da cuenta del trabajo realizado. (b) Proyección de los indicadores de CNC acumuladas durante la reunión.

En la Tabla 3.5, se muestran dos tipos de análisis: cuantitativo y cuantitativo subjetivo basados en los indicadores medidos en esta etapa de la reunión. Dentro del análisis cuantitativo se puede destacar principalmente la variación del PPC en las cuatro mediciones, el cual fue disminuyendo (Ver Figura 3.14), debido principalmente a problemas externos de la obra, como la llegada a tiempo de los materiales de los subcontratos, y falta de mano de obra de subcontrato principalmente, como lo muestra la Figura 3.15.

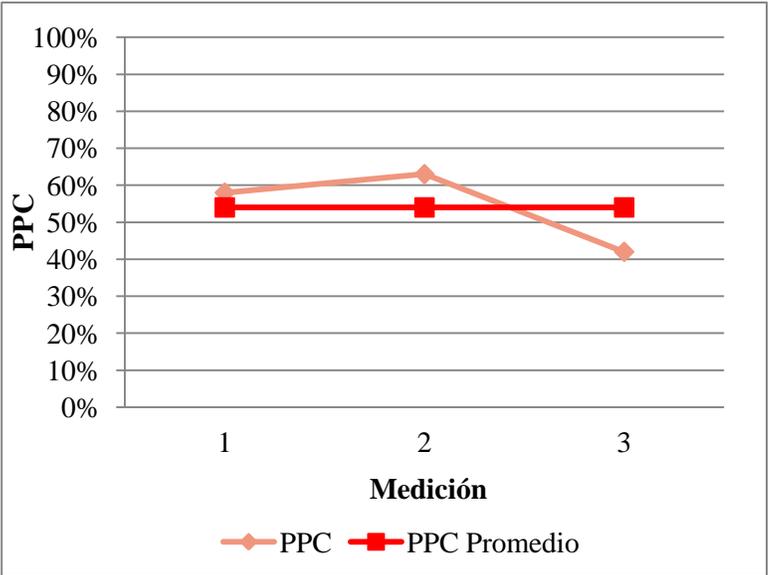


Figura 3.14 Tendencia del PPC durante las mediciones.

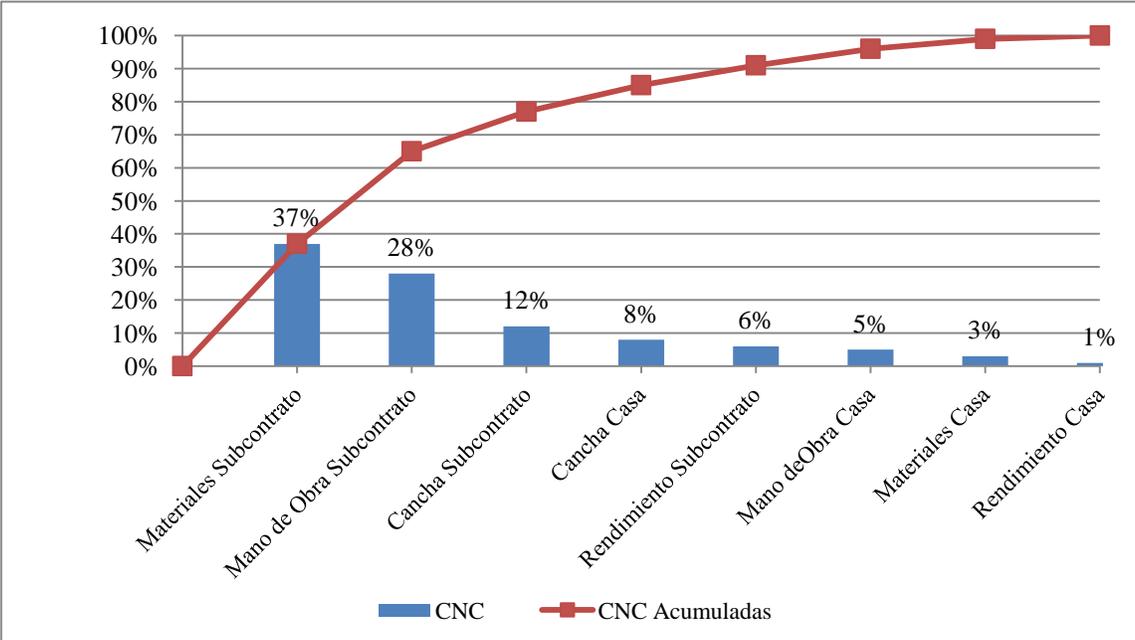


Figura 3.15 Causas de No Cumplimiento y Causas de No Cumplimiento Acumuladas.

c) Revisión del mediano plazo

La revisión del Plan de Mediano Plazo está a cargo del Jefe de Terreno quien se encarga de dar a conocer el programa para las siguientes cuatro semanas, mediante un panel con post it como se muestra en la Figura 3.16, ordenado según las actividades que debe realizar cada último planificador. Esta etapa en la reunión es corta, más que nada para dar instrucciones de lo que se debe hacer, ya que la validación del Plan a ejecutar se efectúa por los últimos planificadores durante la semana, ellos van a la sala de reuniones a revisar las tareas programadas y en caso de alguna eventualidad se avisa al programador y jefe de terreno los cambios pertinentes. En general no se revisaban durante esta etapa restricciones del plan.

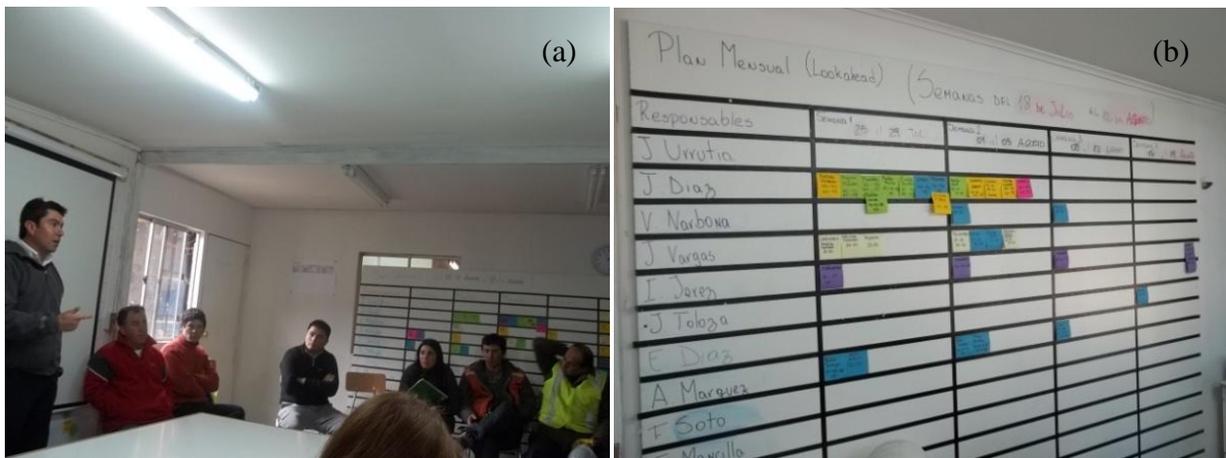


Figura 3.16 (a) Revisión del PMP durante la reunión de planificación a cargo del Jefe de Terreno.(b) Panel del PMP de las siguientes cuatro semanas en la sala de reuniones.

En la Tabla 3.5 se pueden ver los resultados obtenidos en la etapa, donde en promedio los tiempos utilizados en mostrar el Plan de Mediano Plazo son mucho menores a lo recomendado, si bien se revisa durante las reuniones su eficacia es regular, ya que en promedio los resultados de la etapa están bajo los 80 puntos.

d) Revisión del corto plazo

La revisión del Plan de Corto Plazo se realiza por el Jefe de Terreno también, que al igual que el Plan de Mediano Plazo es representado en un panel con post it, separado por las actividades que deben realizar día a día los últimos planificadores (Ver Figura 3.17). La validación del plan, al igual que el caso anterior no se realiza durante la reunión, sino durante la semana se informan los cambios.



Figura 3.17 Revisión del PCP mediante un panel durante la reunión de planificación.

Los resultados de la revisión del Plan de Corto Plazo se puede ver en la Tabla 3.5, donde al igual que la etapa anterior durante la reunión el tiempo dedicado a revisar este plan es mucho menor al recomendado, no valida el plan a ejecutar ni se revisan las restricciones durante la reunión, lo que en general da un promedio de la etapa considerado como deficiente, ya que se obtiene un puntaje menor a los 50 puntos.

Tabla 3.5 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.

Etapa	Cuantitativo						Cuantitativo subjetivo									
	Duración de la etapa	% de Tiempo de la Reunión	N° de actividades comprometidas	PPC	N° CNC	Tiempo en mostrar indicadores PPC, CNC, confiabilidad, avances	Duración de la etapa	Revisión de compromisos	Detección de CNC	¿Se toman acciones correctivas?	Revisión de Estado de Avance	Análisis del PPC	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance	Revisión y validación del Plan a ejecutar	Revisión de restricciones	Promedio
Revisión Semana Anterior	0:35:00	64%	138	58%	58	0:04:00	50	100	100	100	100	100	100	-	-	93
	1:00:00	91%	133	63%	49	0:03:00	0	100	100	100	100	100	100	-	-	86
	0:55:00	85%	124	42%	72	0:05:00	0	100	100	100	100	100	100	-	-	86
Revisión PMP	0:15:00	27%	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50
	0:03:00	5%	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:05:00	8%	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50

Etapa	Cuantitativo						Cuantitativo subjetivo									
	Duración de la etapa	% de Tiempo de la Reunión	N° de actividades comprometidas	PPC	N° CNC	Tiempo en mostrar indicadores PPC, CNC, confiabilidad, avances	Duración de la etapa	Revisión de compromisos	Detección de CNC	¿Se toman acciones correctivas?	Revisión de Estado de Avance	Análisis del PPC	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance	Revisión y validación del Plan a ejecutar	Revisión de restricciones	Promedio
Revisión PCP	0:05:00	9%	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	0	0	33
	0:03:00	5%	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	0	0	33
	0:05:00	8%	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	0	0	33

3.3.3. Post reunión

Los documentos entregados una vez finalizada la reunión de planificación son los acuerdos y compromisos tomados en el corto plazo.

En la sala de reuniones se cuenta con un diagrama de fases representados por post it como se aprecia en la Figura 3.18, programa desglosado en grupos de casas, según la programación que habían hecho inicialmente de la obra.

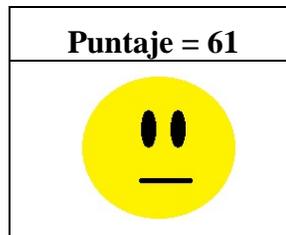


Figura 3.18 Representación del programa de fases del proyecto en construcción.

3.3.4. Análisis de resultados

En resumen se tiene que para las reuniones de planificación en las cuales se participó, los resultados obtenidos son regulares de acuerdo al indicador de la planificación del proyecto, por lo tanto hay que hacer mejoras en las etapas de revisión de los planes a ejecutar a las cuales hay que dedicarles más tiempo y revisarlas concienzudamente.

El puntaje ponderado asignado al proyecto durante las mediciones es un punto intermedio entre una planificación deficiente y una buena



De acuerdo a los resultados de la Tabla 3.6, se puede ver que si bien los Aspectos Generales de la Reunión de Planificación y el Análisis de la Semana Anterior se poseen resultados muy satisfactorios, las últimas dos etapas poseen resultados bajos, considerando la importancia de estas últimas.

Tabla 3.6 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación

Fecha	Aspectos Generales de la Reunión de Planificación	Análisis de la Semana Anterior	Análisis del Mediano Plazo	Análisis del Corto Plazo	Promedio
23-dic	88	93	50	33	66
05-ene	100	86	83	33	76
12-ene	88	86	50	33	64
Promedio	92	88	61	33	69
Ponderado	10%	20%	40%	30%	
Total Ponderado	61				

3.3.5. Encuesta de percepción de la fase

Al finalizar la etapa de toma de datos durante las reuniones de planificación, se aplica una encuesta de satisfacción para todos los participantes de la reunión, en total 18 personas, entre ellas distintas especialidades y cargos.

La Figura 3.19, muestra los niveles de satisfacción de las distintas etapas de la reunión de planificación.

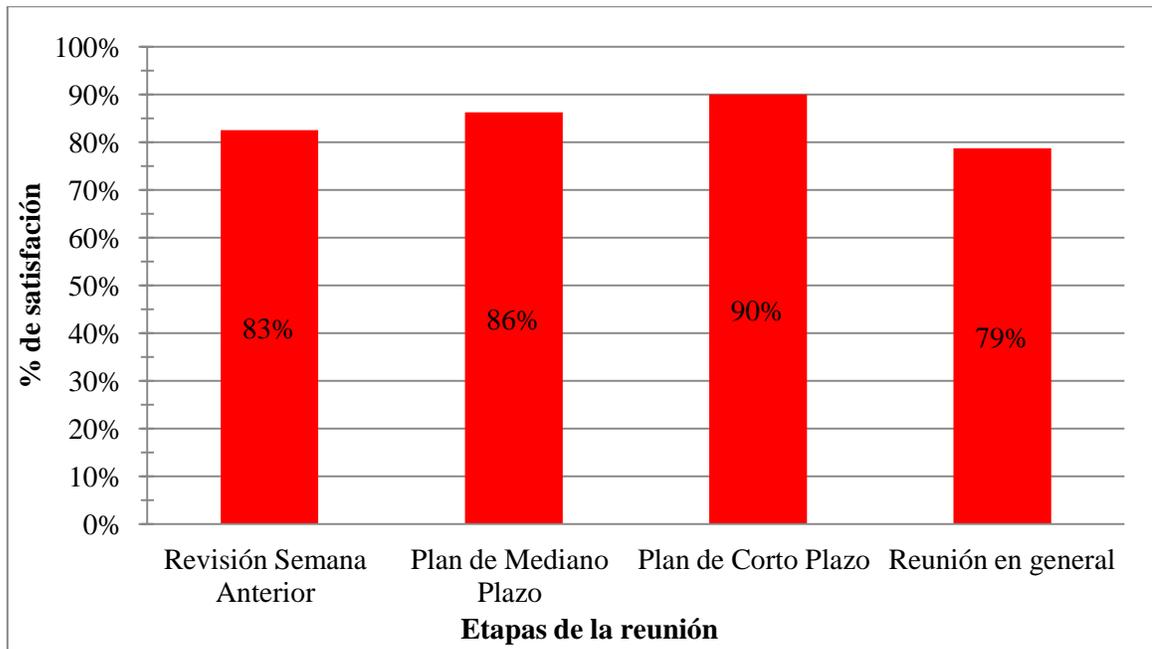


Figura 3.19 % de satisfacción por etapa del uso de Last Planner en las reuniones de planificación.

La revisión de la Semana Anterior, obtuvo el más bajo porcentaje de satisfacción, esto puede deberse a que muchos de los últimos planificadores que participan en la reunión son subcontratos, corresponden a tareas que no son tan importantes para el resto de los participantes.

En caso opuesto se encuentra la Revisión del Plan de Corto Plazo, esta inclinación puede deberse a que es donde los últimos planificadores se enteran de lo que deben ejecutar en la semana, que es lo inmediatamente importante que deben realizar. Aún aunque esta etapa no se le da tanta importancia durante la reunión.

En general se puede decir que los porcentajes obtenidos en cada etapa son todos muy satisfactorios.

La satisfacción que dio el Sistema Last Planner a los distintos cargos que participaron en la toma de decisiones, se puede apreciar en la Figura 3.20.

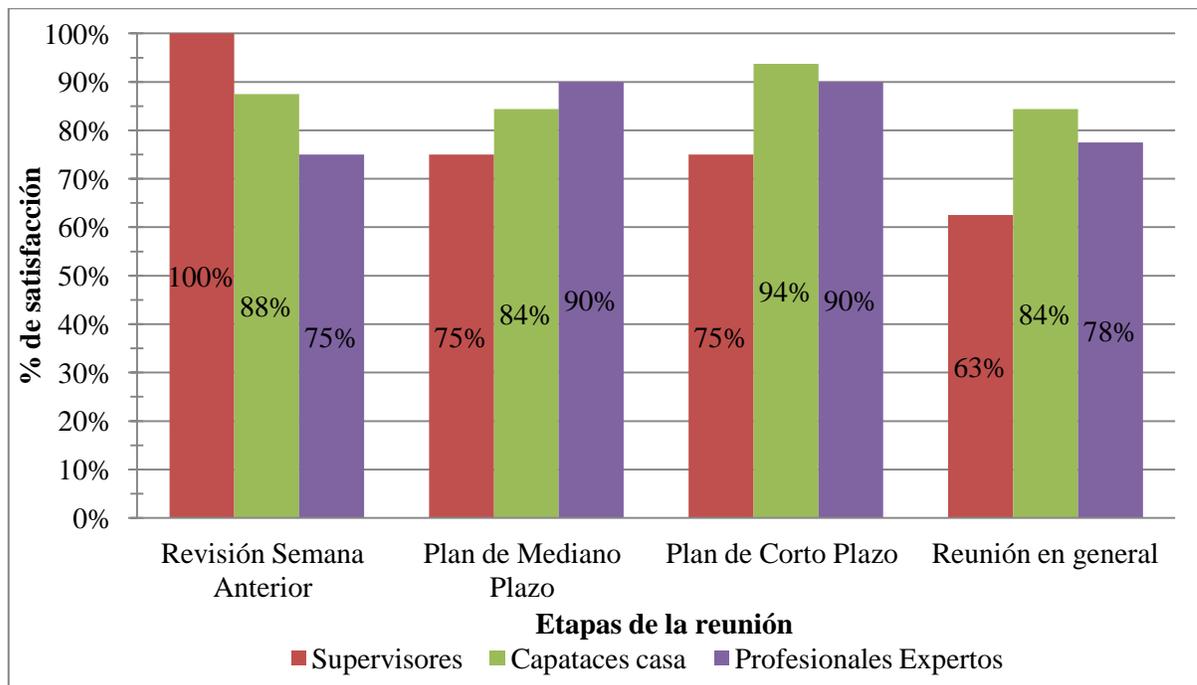


Figura 3.20 % de Satisfacción de Last Planner en las reuniones de planificación según tipo de actor.

Para los supervisores el mayor porcentaje de satisfacción es en la Revisión de la Semana Anterior, donde para las siguientes etapas su porcentaje de satisfacción es el mismo, y todos con porcentajes muy satisfactorios exceptuando los aspectos Generales de la Reunión.

Los capataces de la casa por su parte en cada una de las etapas obtienen porcentajes muy satisfactorios de la reunión, destacándose el Plan de Corto Plazo.

Para el caso de los Profesionales Expertos tanto el Plan de Mediano como Corto plazo su satisfacción es equivalente, y para la revisión de la semana anterior su atención se pierde disminuyendo la satisfacción.

3.4. Resumen del capítulo

En este capítulo se mostraron las formas en que se implementa el sistema de planificación Last Planner de dos obras distintas, se analizaron los resultados obtenidos de los indicadores tomados durante las reuniones como PPC, CNC y otros. Además se aplicó en cada caso una encuesta de satisfacción del Sistema Last Planner el cual servirá de comparación con aquellos proyectos que si utilizan modelos 4D en su planificación.

CAPÍTULO 4 : DESARROLLO DE PROYECTOS LAST PLANNER-4D

4.1. Introducción al capítulo

En el presente capítulo se dan a conocer las experiencias registradas para dos proyectos que utilizan Last Planner-4D en su planificación. Se registra la metodología de tres fases utilizadas durante las reuniones de planificación:

- Fase I : Uso de imágenes del modelo 4D durante la reunión de planificación.
- Fase II : Manipulación directa del modelo 4D durante la reunión de planificación.
- Fase III : Uso de video del modelo 4D durante la reunión de planificación.

La metodología ocupada para analizar estos proyectos se puede ver en la Figura 4.1, donde se destaca con líneas punteadas las etapas medidas en los proyectos Last Planner. Además se explican cada una de las etapas de la metodología:

1. Modelo 3D + Carta Gantt: Es la primera etapa donde se revisa que exista en el proyecto el Modelo 3D y la programación hecha en Carta Gantt, para vincular la programación a un modelo visual y crear el modelo 4D.

2. Criterio de Uso de Modelo 4D: El criterio de uso del modelo, dependiendo del proyecto, se revisa con los profesionales a cargo de hacer la reunión de planificación, con el fin de que la visualización sea entendible por las personas que asistan.

3. Reunión previa: En esta reunión se miden los temas tratados, quiénes participan y su duración.

4. Generación de modelo 4D: Según los acuerdos tomados durante la reunión previa y el criterio de uso de la simulación 4D, se genera este modelo.

5. Revisión de modelo: Una vez realizado el modelo para la reunión, este debe ser revisado por los expertos, con el fin de que se muestre lo que realmente se quiere transmitir del plan a ejecutar tanto del mediano como el corto plazo.

6. Preparación de la reunión: Esta debe ser llevada a cabo por alguien de la obra, se debe preparar una presentación de los resultados obtenidos la semana anterior, con los indicadores calculados como por ejemplo PPC y CNC, además se debe preparar la forma de dar a conocer el plan de mediano y corto plazo de acuerdo a los criterios de visualización del modelo 4D.

7. Reunión de Planificación: de la reunión de planificación en sí, se hace una subdivisión en tres etapas más una de medición de aspectos generales de la reunión.

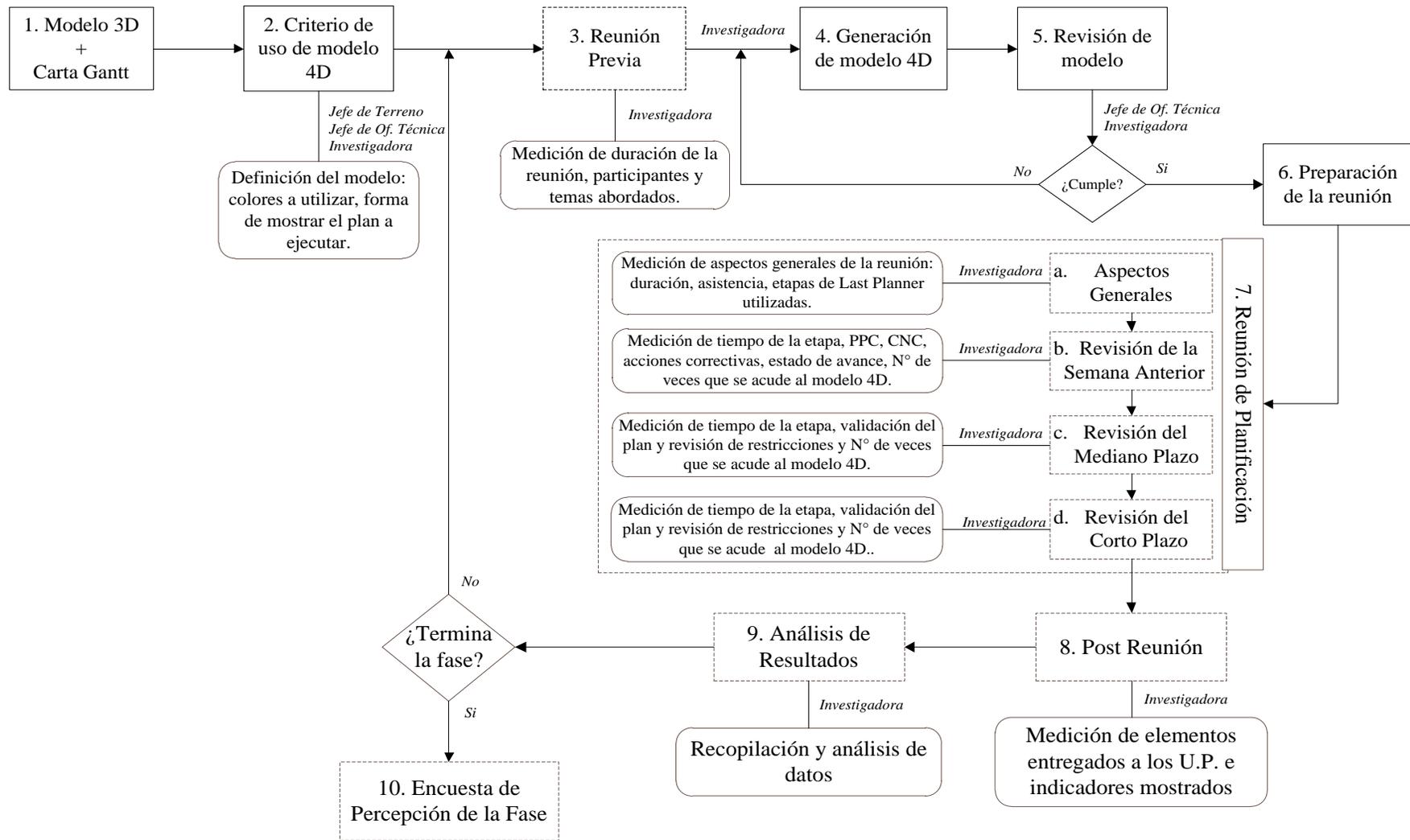
- a. **Aspectos Generales:** Se refiere a medir los aspectos de forma de la reunión de planificación, como la asistencia, atrasos, tiempo y si se tienen bien definidas las revisiones de la semana anterior, el mediano y corto plazo dentro de la reunión.

- b. **Revisión de la Semana Anterior:** es la primera etapa de la reunión donde se revisa lo ocurrido la semana anterior, se mide el PPC, las CNC, se revisa si se toman acciones correctivas, el estado de avance del proyecto, se contabilizan las instancias en que se consulta el modelo 4D durante la reunión, entre otros parámetros.
- c. **Revisión del Mediano Plazo:** durante esta etapa se mide la duración, el número de consultas al modelo 4D, además de medición de la validación del plan a ejecutar y análisis de restricciones para realizar dicho plan.
- d. **Revisión del Corto Plazo:** es la última etapa de medición de la reunión, donde se mide el tiempo, número de consultas al modelo 4D, medición de la validación del plan a ejecutar y análisis de restricciones.

8. Post Reunión: En este punto se registran los documentos entregados a los UP, como el PMP, PCP y los indicadores que son puestos a disposición de toda la obra para que estén en conocimiento de cómo está el estado del proyecto.

9. Análisis de resultados: Durante esta medición se ordenan los datos medidos, para luego ser analizados.

10. Encuesta de percepción de la fase: Al finalizar la fase de medición, se aplica una encuesta de satisfacción del uso del Sistema Last Planner-4D, con el fin de medir como ayuda a comunicar el programa de construcción.



----- Tareas que corresponden al Sistema Last Planner utilizado para medir los proyectos I y II.

* Se generaron tres tipos de visualizaciones : imágenes del modelo 4D, manipulación directa del modelo 4D y videos del modelo 4D.
 Figura 4.1 Metodología de medición en reuniones de planificación con el uso de Last Planner-4D en obras.

4.2. Fase I - Proyecto III: Yoemar

Se participó en 4 reuniones de planificación, donde se utilizó esta primera fase de imágenes del modelo 4D, ver Figura 4.2, durante estas reuniones se midieron datos con los cuales se podrán estimar los efectos de la utilización de los modelos 4D durante las reuniones de planificación.



Figura 4.2 Distribución espacial de las reuniones de planificación.

4.2.1. Modelo 3D + Carta Gantt

El modelo 3D en Revit fue realizado inicialmente por el Jefe de Oficina Técnica, con la idea de ubicar el hormigón, luego se comenzó a ocupar durante las reuniones de planificación para mostrar el proceso constructivo, para ello se pidió que se terminara el modelo según la programación inicial del modelo representada en diagramas de las plantas de los distintos pisos del edificio como muestra la Figura 4.3, este modelo fue realizado por un arquitecto externo a la obra.

Se trabajó directamente sobre el modelo en Revit para ver la programación en las primeras dos fases, ante cambios en el modelo el Jefe de Oficina Técnica e investigadora eran los encargados de hacer las modificaciones.

La planificación de la construcción está hecha mediante unos diagramas con post-it de la Figura 4.3, tanto para los subterráneos como para la torre (sobre cota 0), pero no se cuenta con una carta Gantt a la cual se hacen seguimiento de los avances. En un comienzo esta modalidad es bastante asertiva, pero al pasar el tiempo se producen problemas, ya que esta planificación es muy general y no hay un desglose más detallado de las partidas.

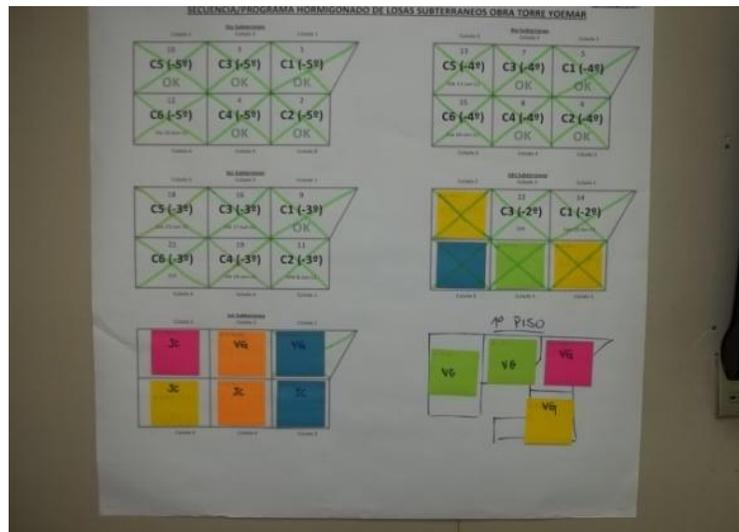


Figura 4.3 Planificación del proyecto en construcción representado por diagramas y coladas de hormigonado.

Una vez terminada la construcción de la cota 0, hubo diversas modificaciones a la planificación, con las que vio afectado el modelo 3D, teniendo que hacer cambios de manera permanente, lo que influyó en la preparación del modelo 4D de las reuniones.

4.2.2. Criterio de uso de imágenes 4D

El criterio de imágenes acordado con los profesionales de la obra e investigadora, es de acuerdo a coladas de hormigonado según la planificación mostrada anteriormente. Esta se trata de una escala temporal, cada semana está representada por un color diferente, como se muestra en la Figura 4.4.

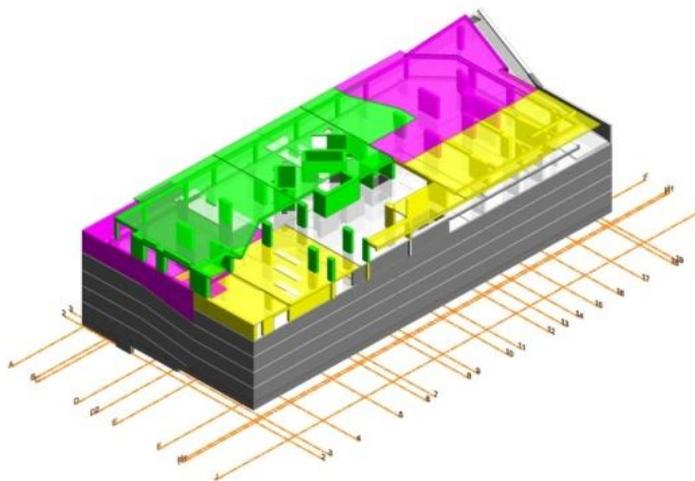


Figura 4.4 Ejemplo de 3° semana del PMP, de acuerdo al criterio de elaboración de imágenes acordado. Semana 1 coladas a ejecutar en color rosado, semana 2 coladas a ejecutar en color amarillo y semana 3 coladas a ejecutar en color verde.

4.2.3. Reunión Previa

En las reuniones previas participan: jefe de oficina técnica, jefe de terreno, ayudante de terreno y en algunas ocasiones el administrador de obra. Los actores anteriormente nombrados se reúnen el día anterior de la reunión para alinear el plan a presentar en la reunión, tanto el PMP como el PCP, y duran alrededor de una hora. Durante esta etapa la investigadora no participa de las reuniones previas, ya que el plan en esta etapa no sufre mayores modificaciones, por lo tanto los acuerdos son mandados vía correo electrónico.

4.2.4. Elaboración de imágenes

Según los acuerdos tomados durante la reunión previa del plan a mostrar en la reunión de planificación se elaboraban las imágenes para la situación de la semana anterior, Plan de Mediano Plazo y Plan de Corto Plazo.

4.2.5. Revisión de imágenes

Las imágenes generadas se revisan por el facilitador de la reunión, que era el Jefe de Oficina Técnica, las cuales son enviadas vía correo electrónico, él las revisa de acuerdo al plan programado. Si las imágenes no cumplen lo que se desea mostrar en la reunión, se corrigen hasta obtener las correctas.

4.2.6. Preparación de la reunión

La preparación de la reunión está a cargo del facilitador, quien prepara una presentación desglosada en tres áreas de la reunión: revisión de la situación pasada, mostrando gráficos e indicadores del estado de avance de la obra, revisión del plan de mediano plazo con el uso de las imágenes y finalmente el plan de corto plazo para la toma de compromisos.

Los compromisos acordados en la reunión anterior, se recolectan el día anterior, para tener el cálculo del PPC, las CNC se preguntan durante la reunión a cada responsable.

4.2.7. Reunión de planificación

a) Aspectos generales de la reunión de planificación

De los resultados obtenidos durante la Fase I del proyecto, mostrados en la Tabla 4.1, se puede ver que para esta fase los aspectos de forma de las reuniones son muy buenos, ya que se tienen todas las etapas de las reuniones y bien definidas, las personas asisten con regularidad participando activamente de ellas. Los resultados de los Aspectos Generales de la reunión son muy buenos, con puntaje promedio mayor a 80 puntos en la mayoría de los casos.

Tabla 4.1 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.

Fecha	Cuantitativo			Cuantitativo subjetivo				
	Duración de la reunión	% de personas sin atraso	% Asistencia	Tiempo	Puntualidad	Asistencia	¿Se tiene las etapas bien marcadas durante la reunión?	Promedio
14-jul	1:12:00	100%	92%	100	100	100	100	100
21-jul	1:08:00	90%	91%	100	100	100	100	100
19-ago	1:24:00	64%	100%	100	50	100	50	75
26-ago	0:59:00	80%	91%	100	100	100	100	100

b) Revisión de la situación pasada

Durante esta etapa, en primer lugar, se muestra la presentación de dos imágenes de los compromisos de la semana anterior como se puede ver en la Figura 4.5:

- 1° imagen: compromisos de la semana anterior en un mismo color.
- 2° imagen: Semáforo de cumplimiento de compromisos según color:
 - Verde : Compromisos cumplidos.
 - Amarillo : Compromisos semi-cumplidos.
 - Rojo : Compromisos no cumplidos.

Una vez mostradas las imágenes, se pasa a la revisión de los compromisos no cumplidos, para detectar las CNC, se muestra el PPC, gráfico de CNC acumuladas, estado de avance del proyecto y curva de avance según los m³ de hormigón ejecutados versus los que tenían programados a fecha.

En la Tabla 4.2 se detallan los valores obtenidos durante esta etapa. De los resultados, se puede concluir que esta etapa se desarrolla de manera óptima. Las veces que se acude al modelo 4D durante la reunión de planificación, en los dos primeros datos es cero debido a que en esa fecha no estaba previsto tomar ese indicador. La fluctuación del PPC (Ver Figura 4.5) en el último caso, alcanza un 11% debido a problemas en las horas de entrega de los compromisos, ya que los últimos planificadores se comprometen con día y hora de entrega de estos.

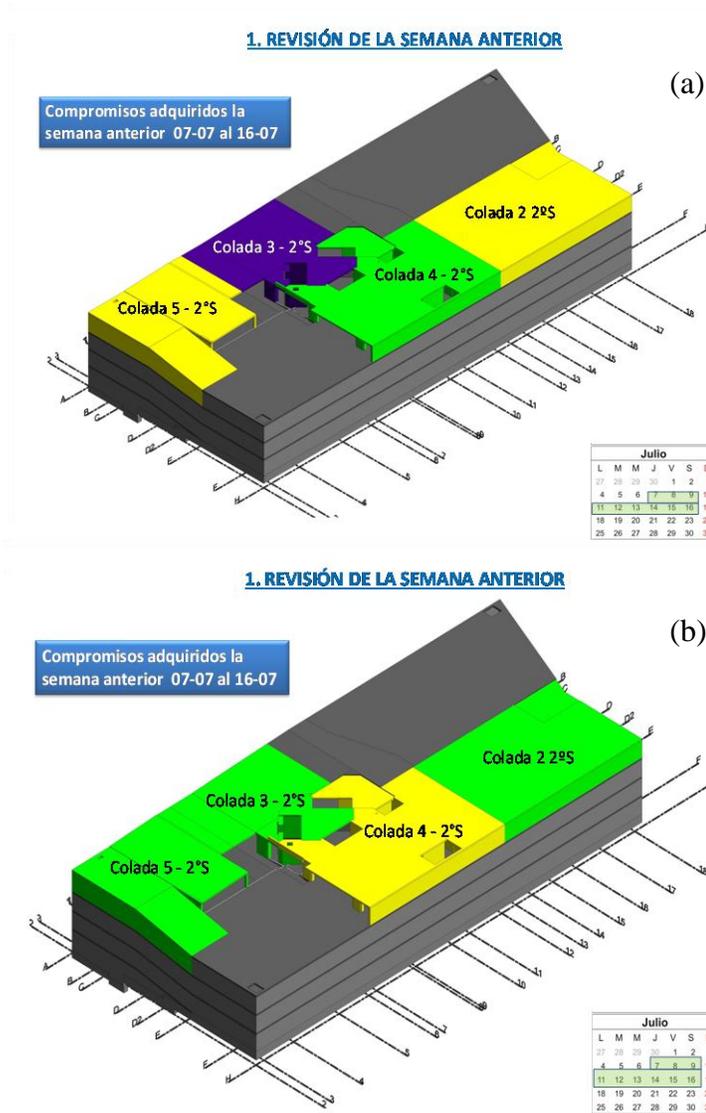


Figura 4.5 (a) Revisión de la semana anterior, marcando en color las coladas programadas hormigonar: en amarillo las coladas a hormigonar para el día lunes, en morado colada a ejecutar el día miércoles y en verde para el día viernes. (b) Segunda imagen de revisión de la semana anterior considerando el cumplimiento de las coladas comprometidas a hormigonar, pintándolas con los colores del semáforo: verde compromisos cumplidos, amarillo compromisos semi-cumplidos y rojo compromisos no cumplidos.

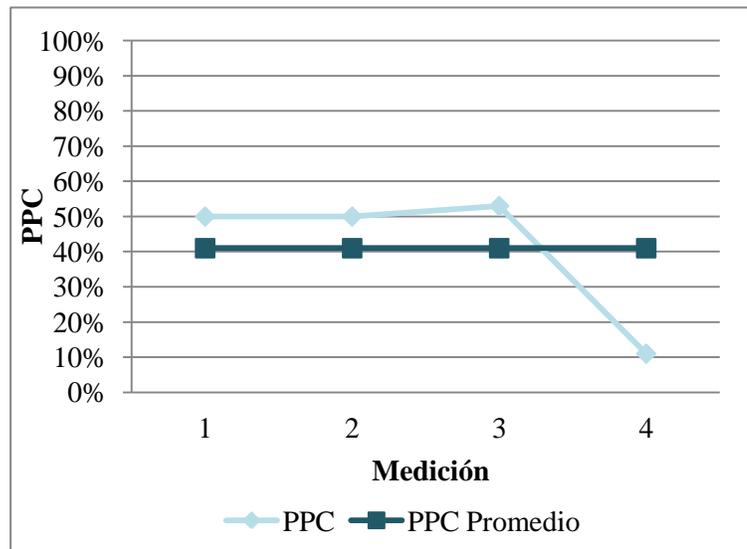


Figura 4.6 Tendencia del PPC durante la Fase I.

c) Revisión del Plan de Mediano Plazo

Para el Plan de Mediano Plazo se muestra un visor de cuatro semanas hacia delante, utilizando 4 imágenes, una semanal, representada por un color diferente donde se distingue el plan a ejecutar.

Según la Tabla 4.2, los puntajes obtenidos son muy buenos en cuanto a cómo se lleva a cabo la revisión del Plan de Mediano Plazo. Se puede notar que los tiempos que se utilizan en la reunión en la revisión de este plan es bajo en relación a las recomendaciones de Sabbatino (2011), sin embargo, se revisan los puntos importantes que deben ser tratados. La cantidad de veces que se invoca al modelo 4D en la revisión del PMP aumenta considerablemente, ya que se mantiene mucho más tiempo revisando las imágenes del plan a ejecutar, y visualizar sus restricciones.

En las Figuras 4.7 y 4.8 se muestra el caso del PMP del mes de Julio, donde según lo proyectado en la planificación inicial se debe realizar una colada en la cuarta semana, correspondiente a la primera colada sobre cota 0 representada en color rosado, la cual si se seguía con esa programación, no tendría la base necesaria para ser construida como se ve en la Figura 4.7. Por ello, en este caso es necesario realizar un cambio a la programación, planificando en otro orden las coladas según el nuevo plan como lo muestra la Figura 4.8.

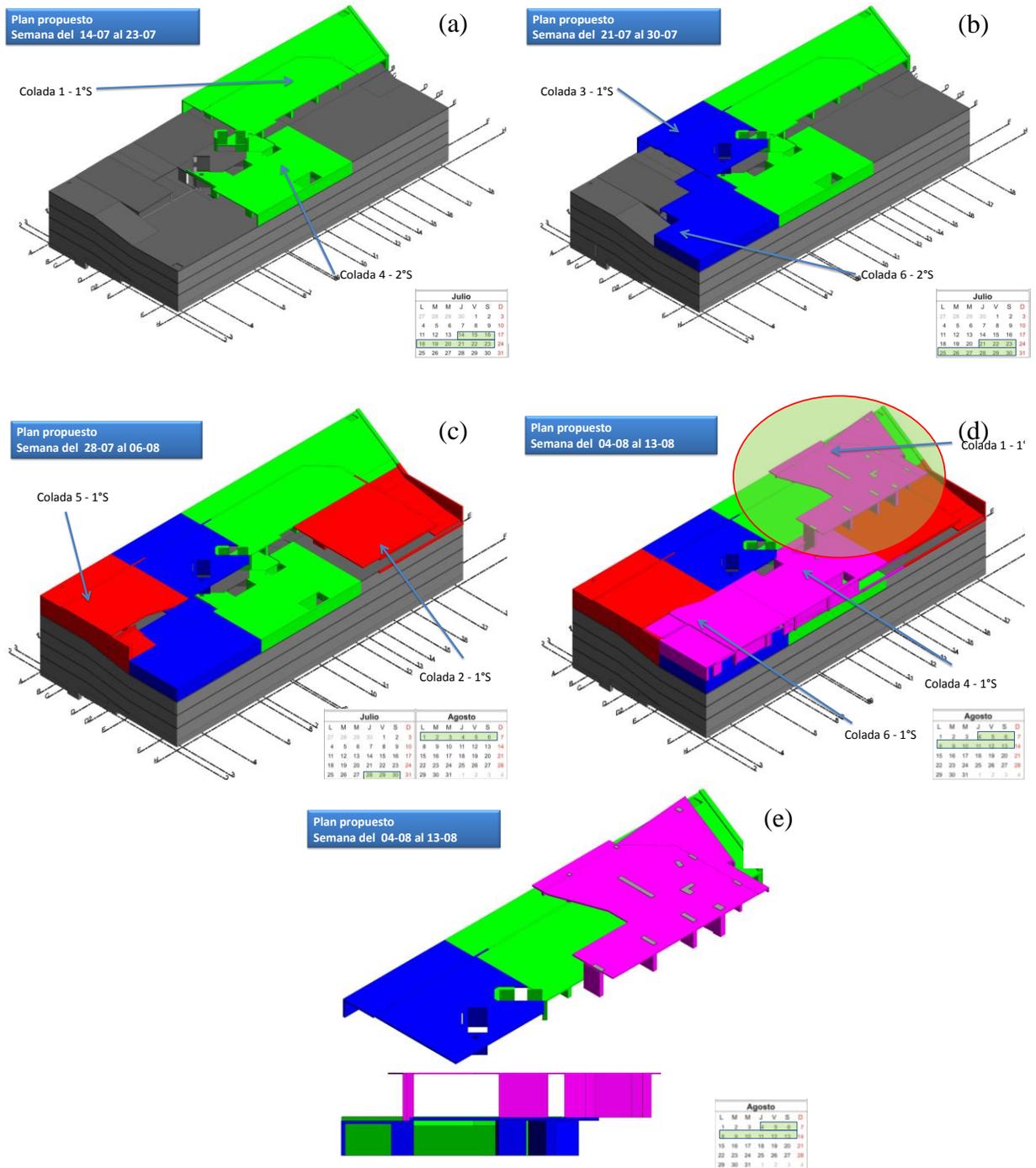


Figura 4.7 Plan de mediano plazo programado, donde cada color representada una semana del PMP (a)-(d). (a) Programación de la primera semana del PMP con las coladas a ejecutar en verde.(b) Programación de la segunda semana del PMP con las coladas a ejecutar en azul. (c) Programación de la tercera semana del PMP con las coladas a ejecutar en color rojo. (d) Programación de la cuarta semana del PMP con las coladas a ejecutar en color rosado, donde existe un problema de ejecución de la colada marcada en un círculo. (e) Imagen de otra vista de un problema en la ejecución de la colada 1 de la cuarta semana del PMP, en color rosado, debido a que no posee apoyo para construir los muros.

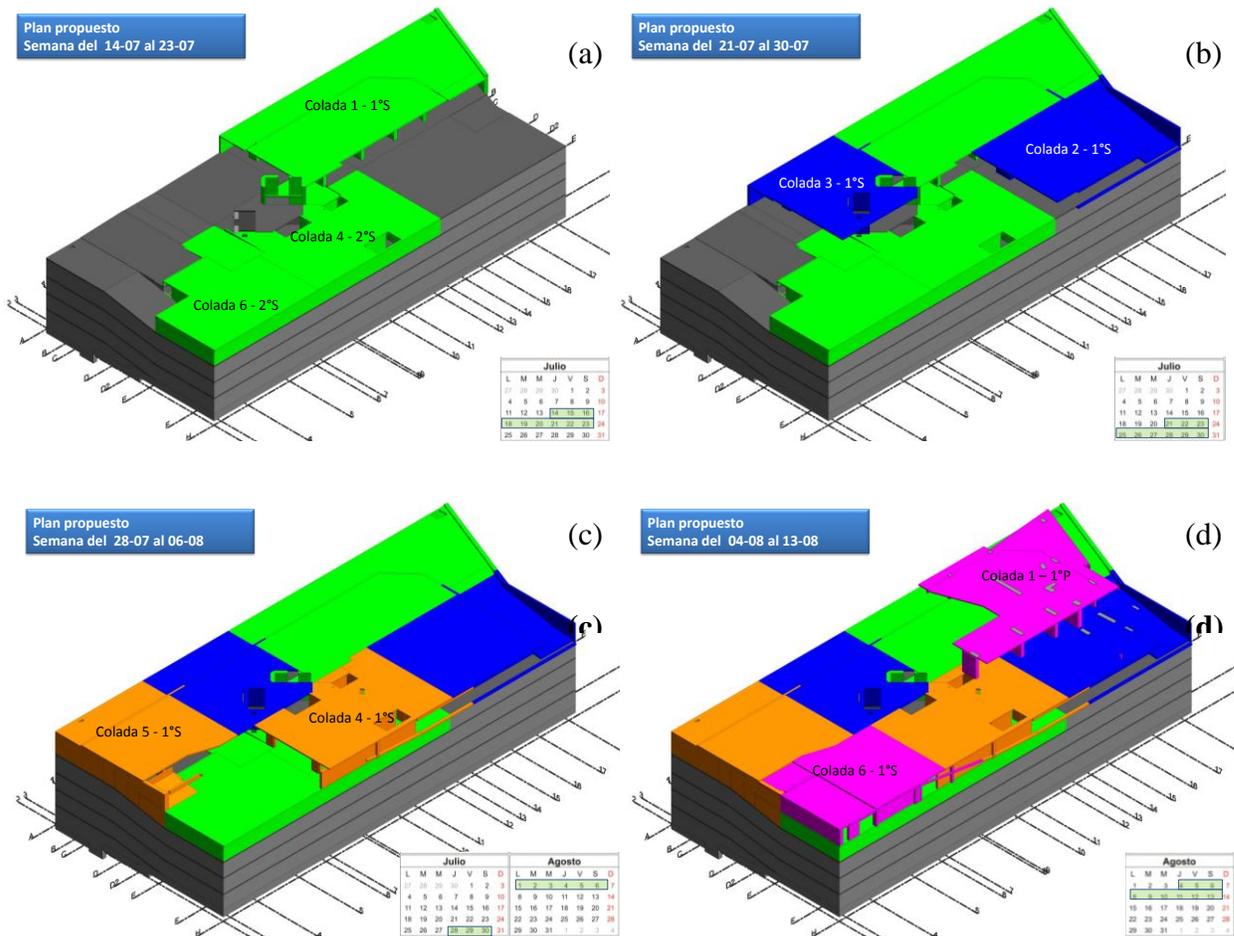


Figura 4.8 Cambio en el orden de ejecución de todas las semanas del PMP (a)-(d), debido a problema de ejecución de una colada de la Figura 4.7. (a) Reprogramación de la primera semana del PMP con las coladas a ejecutar representadas en verde. (b) Reprogramación de la segunda semana del PMP representada por las coladas en azul. (c) Reprogramación de tercera d representada en color anaranjado. (d) Reprogramación de la cuarta semana representada en color rosado, donde ya no existen dificultades en su ejecución, debido a la reprogramación de las coladas anteriores.

d) Revisión del Plan de Corto Plazo

En el plan de corto plazo se revisa al final de la reunión y corresponde a una imagen del plan a ejecutar la próxima semana como se ve en la Figura 4.9, la cual es sacada de la primera semana del Plan de Mediano Plazo. En esta etapa, de acuerdo al plan mostrado en la imagen se revisan las tareas necesarias realizar para cumplir el plan, y se establecen fechas de cumplimiento de los compromisos por cada U.P.

A continuación en la Tabla 4.2 se ven los resultados obtenidos de la etapa, donde se puede apreciar, que en general la mayor cantidad de tiempo utilizado en la reunión se ocupa en la

revisión del PCP. Se recurre bastante al modelo 4D para mostrar lo que se deje ejecutar en la semana siguiente, además se puede ver que en algunas ocasiones se revisan las restricciones del plan, por ello en promedio la puntuación total de la etapa es 71, ubicándose en término medio a lo que es una buena revisión del PCP.

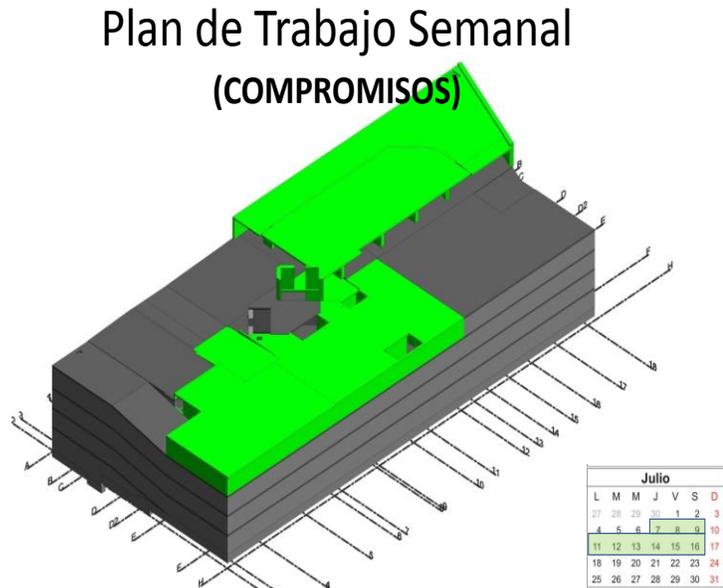


Figura 4.9 Imagen del plan de trabajo semanal ocupada en la reunión de planificación, representado en color verde las coladas comprometidas a realizar esa semana.

Tabla 4.2 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.

Etapa	Cuantitativo							Cuantitativo subjetivo									
	Duración de la etapa	% de Tiempo de la Reunión	N° de actividades comprometidas	PPC	N° CNC	Tiempo en mostrar indicadores PPC, CNC, confiabilidad, avances	N° de veces que se acude al modelo 4D	Duración de la etapa	Revisión de compromisos	Detección de CNC	¿Se toman acciones correctivas?	Revisión de Estado de Avance	Análisis del PPC	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance	Revisión y validación del Plan a ejecutar	Revisión de restricciones	Promedio
Revisión Semana Anterior	0:19:00	26%	23	50%	12	0:01:00	0	100	50	50	100	100	100	100	-	-	86
	0:19:00	28%	18	50%	9	0:03:00	0	100	100	100	0	100	100	100	-	-	86
	0:18:00	21%	22	53%	10	0:05:00	1	100	100	100	100	100	50	-	-	93	
	0:22:00	37%	19	11%	17	0:02:00	1	50	100	100	0	100	100	100	-	-	79

Etapa	Cuantitativo							Cuantitativo subjetivo									
	Duración de la etapa	% de Tiempo de la Reunión	N° de actividades comprometidas	PPC	N° CNC	Tiempo en mostrar indicadores PPC, CNC, confiabilidad, avances	N° de veces que se acude al modelo 4D	Duración de la etapa	Revisión de compromisos	Detección de CNC	¿Se toman acciones correctivas?	Revisión de Estado de Avance	Análisis del PPC	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance	Revisión y validación del Plan a ejecutar	Revisión de restricciones	Promedio
Revisión PMP	0:26:00	36%	-	-	-	-	0	100	-	-	-	-	-	-	100	100	100
	0:07:00	10%	-	-	-	-	0	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50
	0:08:00	10%	-	-	-	-	5	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:20:00	34%	-	-	-	-	13	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
Revisión PCP	0:27:00	38%	-	-	-	-	0	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:42:00	62%	-	-	-	-	0	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50
	0:58:00	69%	-	-	-	-	20	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:17:00	29%	-	-	-	-	10	100	-	-	-	-	-	-	100	0	67

4.2.8. Post Planificación

Una vez hecha cada reunión de planificación, al día siguiente se entrega impreso los compromisos hechos por cada uno de los U.P. Para este proyecto no se tienen en un panel los indicadores de la obra.

4.2.9. Análisis de resultados

El resumen de cada una de las etapas de la reunión de la Fase I, se muestran en la Tabla 4.3, donde se puede ver que en los Aspectos de Generales de la Reunión de Planificación y la Revisión de la Semana Anterior, son las etapas que poseen la puntuación más alta. Sin embargo las etapas en las cuales se da conocer el plan a ejecutar tanto de corto como mediano plazo, disminuye debido a que el tiempo utilizado no es el recomendado por Sabbatino (2011), además en el plan de corto plazo no se revisan restricciones regularmente, lo que hace que la puntuación de estas etapas disminuya considerablemente.

Finalmente se puede decir que la planificación de la Fase I con el uso de imágenes del modelo 4D durante las reuniones, la planificación es término medio al no darle el interés debido a las etapas de mayor importancia como el plan de mediano y corto plazo, en revisar las restricciones y no respetar los tiempos de cada etapa. El indicador de planificación es:

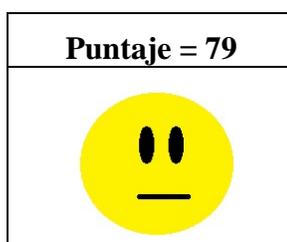


Tabla 4.3 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación.

Fecha	Aspectos Generales de la Reunión de Planificación	Análisis de la semana anterior	Análisis del Mediano Plazo	Análisis del Corto Plazo	Promedio
14-jul	100	86	100	83	92
21-jul	100	86	50	50	71
19-ago	75	93	83	83	84
26-ago	100	79	83	67	82
Promedio	94	86	79	71	82
Ponderado	10%	20%	40%	30%	
Total Ponderado	79				

4.2.10. Encuesta de percepción de la fase

Considerando según el tipo de actor como las imágenes ayudaron a comprender mejor el Plan a ejecutar como se ve en la Figura 4.10, donde se destacan dos categorías de los actores que participan en la reunión: capataces de la casa y profesionales expertos.

De los resultados obtenidos se puede ver que para los capataces de la casa dentro de las tres etapas de la reunión, la que produce mayor satisfacción de las imágenes mostradas son tanto el Plan de Mediano como Corto Plazo, obteniéndose un 78%, en ambos casos. Estas etapas son consideradas satisfactorias por estos capataces. Como hipótesis es esperable que estos capataces estén más interesados en el Corto Plazo, lo cual resulta cierto, ya les interesa más lo que deben ejecutar en la semana, pero además muestran el mismo interés para el Plan de Mediano Plazo, los

cual es muy favorable, ya que las imágenes ayudan a que puedan tener un importante interés por lo que deben hacer a largo plazo.

La categoría Profesionales Expertos, obtiene el mayor porcentaje de satisfacción para las imágenes de la Revisión de la Semana Anterior con un 92% de satisfacción, seguida del Plan de Mediano Plazo con un 88%, lo cual es esperable dentro de las responsabilidades y toma de decisiones que deben tomar como profesionales. De la revisión de la semana anterior se obtiene una retroalimentación de la situación pasada, tomando acciones correctivas al respecto para evitar repetir las mismas CNC. El Plan de Mediano Plazo es importante, ya que este grupo de profesionales deben encargarse de ver más allá de las necesidades inmediatas que deban proveerse para la obra, como la compra de materiales y falta de mano de obra, la cual puede solucionarse con tiempo revisando cual es el trabajo que hay que hacer en un mes más.

Finalmente para los dos tipos de actores la Reunión en general con el uso de imágenes fue de un 90% de satisfacción, lo que es considerado muy satisfactorio.

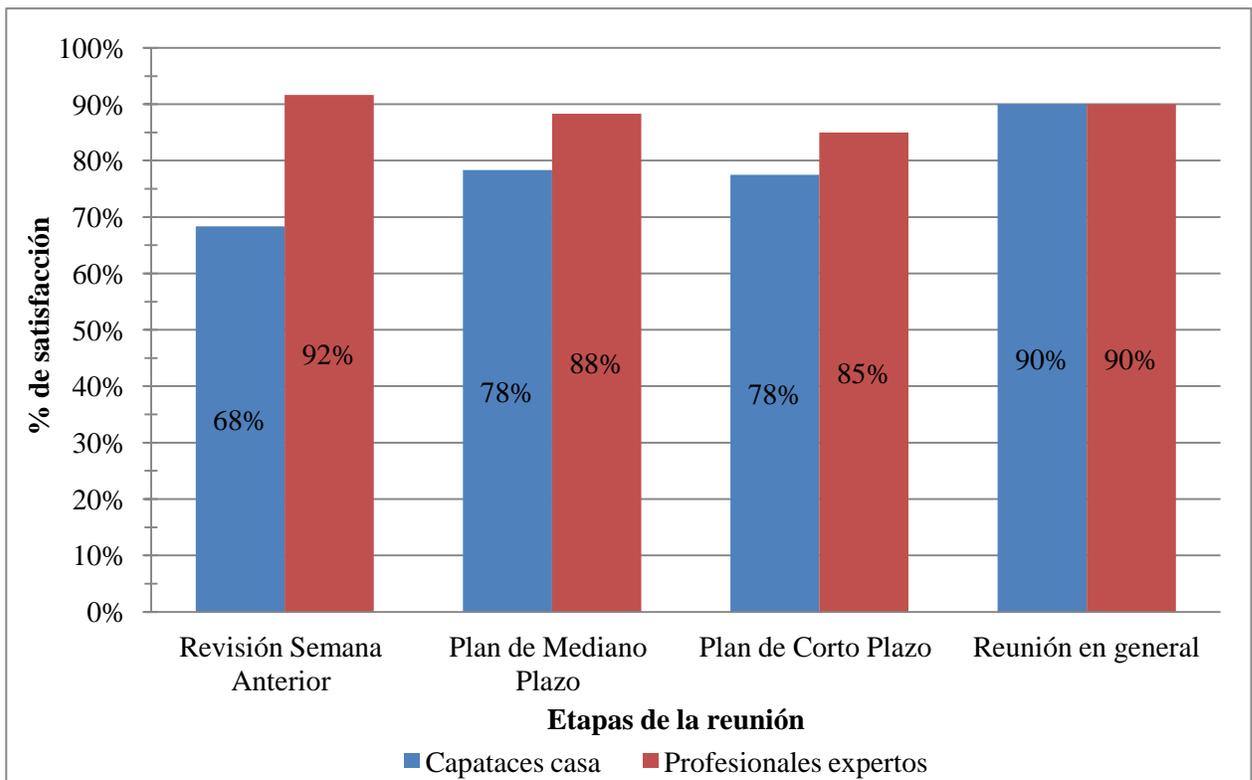


Figura 4.10 % de Satisfacción de imágenes 4D según tipo de actor.

4.3. Fase II - Proyecto III

Se participó en 4 reuniones de planificación, donde se utilizaron la segunda fase de utilización del modelo 4D durante la reunión, ver Figura 4.11. Durante estas reuniones se midieron los mismos datos que la Fase I, los cuales se detallan en el flujograma de la Figura 4.1.



Figura 4.11 Utilización de modelo durante la reunión.

4.3.1. Modelo 3D + Carta Gantt

El modelo 3D en Revit fue realizado inicialmente por el Jefe de Oficina Técnica y un arquitecto externo a la obra.

Se trabajó directamente sobre el modelo en Revit para ver la programación en la Fase II: Manipulación directa del modelo 4D durante la reunión, ante cambios en el modelo el Jefe de Oficina Técnica e investigadora eran los encargados de hacer las modificaciones.

La planificación de la construcción está hecha mediante unos diagramas con post-it, tanto para los subterráneos como para la torre (sobre cota 0), pero no se cuenta con una carta Gantt a la cual se hacen seguimiento de los avances. Hasta la Fase II esta modalidad es bastante asertiva, pero al pasar el tiempo se producen problemas, ya que esta planificación es muy general y no hay un desglose más detallado de las partidas.

4.3.2. Criterio de uso del modelo 4D en la reunión

El criterio de uso del modelo 4D acordado con los profesionales de la obra y la investigadora, fue seguir el mismo criterio de visualización de las imágenes, donde cada semana estaba representada por un color, con las coladas que quedarían hormigonadas esa semana. Este modelo 4D hecho Revit, debido a que es el software manejado por el Jefe de Oficina Técnica encargado de manejarlo y hacer las actualizaciones, es una emulación de un modelo 4D real que une una Carta Gantt a un modelo 3D, ya que las coladas se pintan manualmente en el modelo en Revit, además que este último no está hecho para visualizar modelos 4D, pero en este caso se utilizó así debido a la simplicidad de la planificación.

4.3.3. Reunión Previa

En esta fase, las reuniones previas participaron solamente los profesionales de obra: jefe de oficina técnica, jefe de terreno, ayudante de terreno, debido a que el Jefe de Oficina Técnica manejaba el modelo y se encargaba de actualizarlo de acuerdo al plan de trabajo.

Durante esta reunión se siguió con la misma tónica y temas tratados de las reuniones de la Fase I.

4.3.4. Elaboración de modelo

La elaboración del modelo durante esta etapa estuvo a cargo del Jefe de Oficina Técnica, el cual era encargado de manejar el modelo y su actualización.

4.3.5. Revisión de modelo

La revisión del modelo 4D, preparado en Revit se hacía durante la reunión previa, donde se iba actualizando el programa de acuerdo a las modificaciones que sufriera.

4.3.6. Preparación de la reunión

La preparación de la reunión estuvo a cargo del facilitador. Para el caso del uso del modelo, no era necesario preparar una presentación lo que disminuyó en gran manera el tiempo en preparar la reunión, ya que a diferencia de la Fase I, no se generaban imágenes, lo que toma más tiempo.

Durante esta etapa al igual que la Fase I: El facilitador se encargaba de mostrar indicadores como PPC, CNC, estado de avance de la obra.

4.3.7. Reunión de planificación

a) Aspectos generales de la reunión de planificación

Los resultados de los Aspectos Generales de la Reunión de Planificación que se aprecian en la Tabla 4.4, muestran que la duración de las reuniones en esta etapa está dentro de las duraciones óptimas recomendadas, sin embargo parámetros como puntualidad y asistencia disminuyen en esta etapa, además se puede ver que las etapas dentro de la reunión no siempre están bien definidas, provocando un desorden en la entrega de información. Finalmente se puede decir que esta etapa se realiza de manera regular durante la Fase II de medición.

Tabla 4.4 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.

Fecha	Cuantitativo			Cuantitativo subjetivo				
	Duración de la reunión	% de personas sin atraso	% Asistencia	Tiempo	Puntualidad	Asistencia	¿Se tiene las etapas bien marcadas durante la reunión?	Promedio
11-sep	1:47:00	45%	100%	50	0	100	50	50
15-sep	0:46:00	55%	64%	100	50	50	100	75
22-sep	0:58:00	55%	73%	100	50	50	50	63
21-oct	1:22:00	36%	73%	100	0	50	0	38

b) Revisión de la situación pasada

Durante esta etapa no se mostró el modelo 4D. Se pasaba a la revisión de los compromisos de la semana anterior, donde cada último planificador iba dando el reporte de las actividades no cumplidas, para detectar las CNC. Se mostraba el PPC, gráfico de CNC acumuladas, estado de avance del proyecto y curva de avance según los m³ de hormigón ejecutados versus los m³ programados a fecha.

De resultados de la Tabla 4.5, se puede ver que los parámetros medidos son muy satisfactorios, como por ejemplo en la duración de la reunión, revisión de compromisos, detección de CNC, análisis del PPC (Ver Figura 4.12) y el tiempo que utilizan en mostrar los indicadores en la reunión, sin embargo, en la mitad de las mediciones no se toman acciones correctivas, además que las veces que se invoca el modelo durante la revisión de la situación pasada también es muy baja, ya que durante esta etapa se muestra rápidamente el modelo que se habían comprometido cumplir, para pasar inmediatamente a las CNC en una planilla Excel preparada.

En las mediciones 2 y 3 de las reuniones de esta etapa en la Fase II, no se toman acciones correctivas de las CNC encontradas, además de esta última reunión no se revisa el estado de avance del proyecto, lo que hace que las puntuaciones en estas reuniones disminuya, a pesar de ello, los resultados promedio de la fase son bastante satisfactorios.

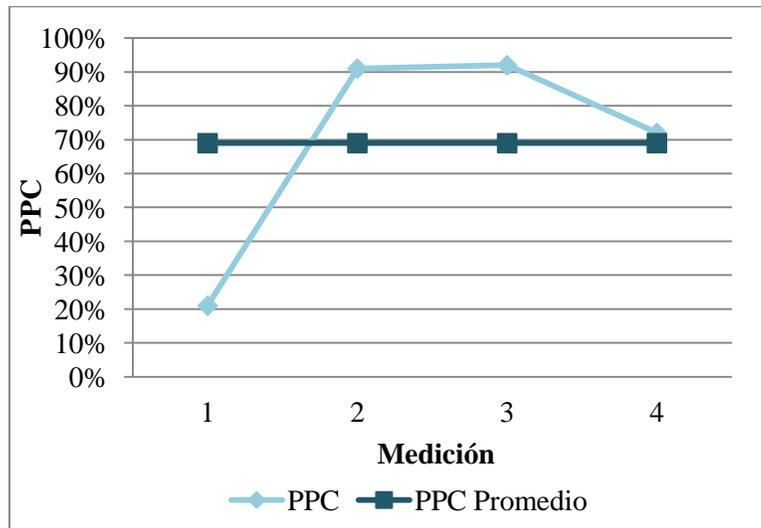


Figura 4.12 Tendencia del PPC durante la Fase II.

c) Revisión del Plan de Mediano Plazo

Para el Plan de Mediano Plazo se muestra un visor de cuatro semanas hacia delante, mostrando 4 vistas del modelo en Revit: una vista semanal representada por un color diferente, donde se distingue el plan a ejecutar como se ve en la Figura 4.13. Esto se realiza de esta manera debido a que en obra el facilitador maneja este programa.

En la Tabla 4.5, se puede ver que los resultados de esta etapa los parámetros medidos son buenos. Hay algunas veces que se acude al modelo 4D durante la reunión de planificación con un mayor detalle, como por ejemplo, acercarse a algún elemento conflictivo o mirar otra vista, hacer un corte, entre otros. Finalmente la revisión del PMP en promedio se realiza de manera óptima.

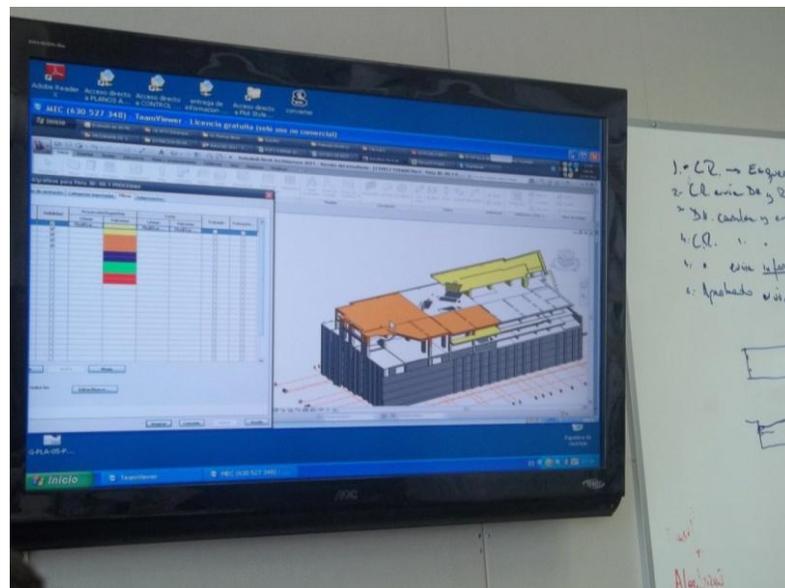


Figura 4.13 Utilización de emulación del modelo 4D en Revit durante la revisión del PMP.

d) Revisión del Plan de Corto Plazo

El Plan de Corto Plazo correspondía a la primera vista del Plan de Mediano Plazo. Como esta vez se trataba de un modelo que se podía girar y ver distintas vistas, en caso de dudas en ciertos sectores se podía acercarse y ver con mayor detalle como estaba dispuesto el elemento.

De la Tabla 4.5, se destaca principalmente el tiempo utilizado en revisar el PCP el cual es el mayor porcentaje de la reunión, además en la mitad de las mediciones hechas no se revisan las restricciones del plan a ejecutar, lo que hace que esta etapa en ciertas ocasiones sea óptima y en otras regular.

Tabla 4.5 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.

Etapa	Cuantitativo							Cuantitativo subjetivo									
	Duración de la etapa	% de Tiempo de la Reunión	N° de actividades comprometidas	PPC	N° CNC	Tiempo en mostrar indicadores PPC, CNC, confiabilidad, avances	N° de veces que se acude al modelo 4D	Duración de la etapa	Revisión de compromisos	Detección de CNC	¿Se toman acciones correctivas?	Revisión de Estado de Avance	Análisis del PPC	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance	Revisión y validación del Plan a ejecutar	Revisión de restricciones	Promedio
Revisión Semana Anterior	0:33:00	31%	15	21%	12	0:03:00	1	100	100	100	100	100	100	100	-	-	100
	0:02:00	4%	11	91%	1	0:01:00	1	100	100	100	0	100	100	50	-	-	79
	0:09:00	16%	13	92%	1	0:02:00	1	100	100	100	0	0	100	100	-	-	71
	0:32:00	39%	18	72%	5	0:03:00	1	50	100	100	100	100	100	100	-	-	93
Revisión PMP	0:27:00	25%	-	-	-	-	4	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:19:00	41%	-	-	-	-	6	100	-	-	-	-	-	-	100	0	67
	0:22:00	38%	-	-	-	-	11	100	-	-	-	-	-	-	100	100	100
	0:04:00	5%	-	-	-	-	6	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
Revisión PCP	0:47:00	44%	-	-	-	-	5	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:25:00	54%	-	-	-	-	6	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50
	0:27:00	47%	-	-	-	-	2	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:46:00	56%	-	-	-	-	4	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50

4.3.8. Análisis de resultados

Finalmente se en la Tabla 4.6 se puede ver que las etapas que se realizan de manera óptima son el Análisis de la Semana Anterior y el Análisis del Mediano Plazo, los que no ocurre con el Análisis del Corto Plazo, debido a que regularmente no se revisan las restricciones y no se ocupa el tiempo recomendado revisar este plan. Además en los Aspectos Generales de la Reunión de Planificación se disminuye la puntuación, debido a que ya no participan todos los U.P. que deberían hacerlo, no llegan a tiempo. Además las etapas de la reunión se revisan de manera desordenada, por lo tanto el indicador de planificación de la Fase II medido es:

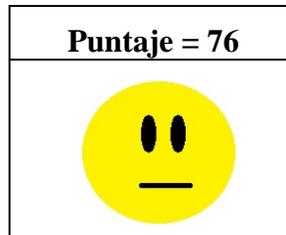


Tabla 4.6 Resultados Generales cada etapa de la reunión de planificación.

Fecha	Aspectos Generales de la Reunión de Planificación	Análisis de la semana anterior	Análisis del Mediano Plazo	Análisis del Corto Plazo	Promedio
11-sep	50	100	83	83	79
15-sep	75	79	67	50	68
22-sep	63	71	100	83	79
21-oct	38	93	83	50	66
Promedio	56	86	83	67	73
Ponderado	10%	20%	40%	30%	
Total Ponderado	76				

4.3.9. Encuesta de percepción de la fase

Tanto para los capataces de la casa como los profesionales expertos se obtuvo la misma tendencia de satisfacción descendente a medida que iban ocurriendo las etapas, pero para el caso de los profesionales expertos el porcentaje de satisfacción fue mayor en cada una de ellas.

Los resultados obtenidos según el tipo de actor se pueden ver en la Figura 4.14:

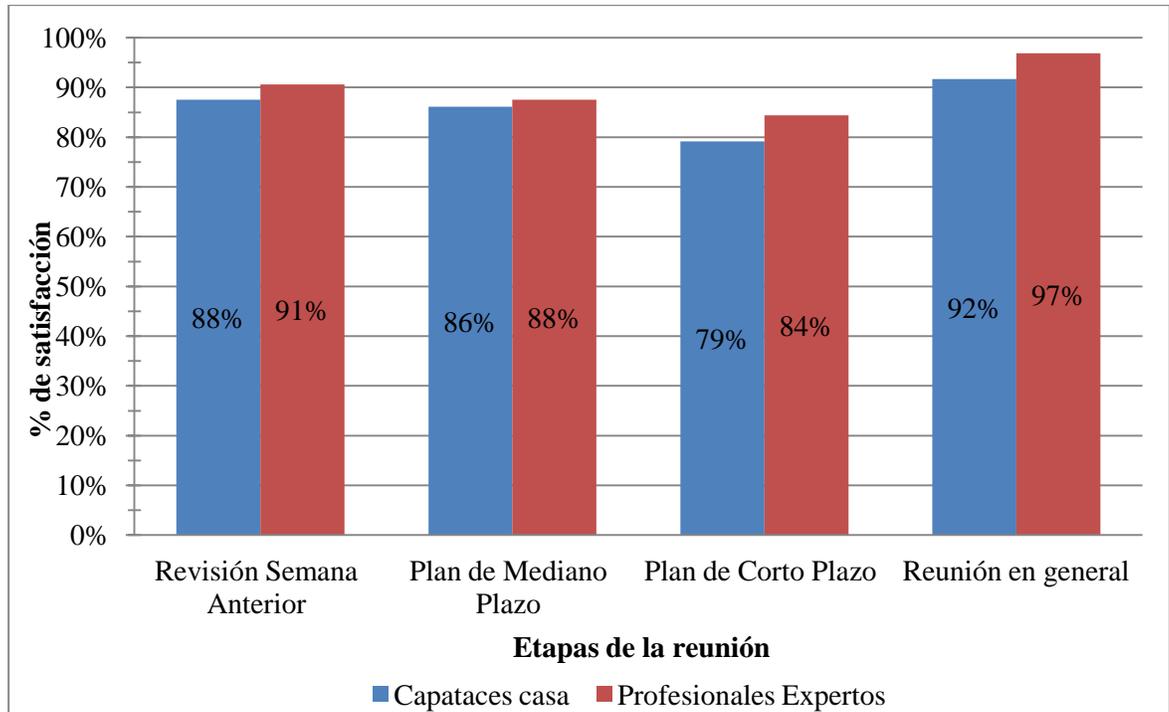


Figura 4.14 % de Satisfacción del modelo según tipo de actor de la Fase II.

4.4. Fase III - Proyecto III : Yoemar

Se participó en 3 reuniones de planificación donde se pudo mostrar videos 4D para el plan a ejecutar, además se midieron los mismos parámetros de las fases anteriores.

4.4.1. Modelo 3D + Carta Gantt

El modelo 3D en Revit fue realizado inicialmente por el Jefe de Oficina Técnica y un arquitecto externo a la obra.

Durante la Fase III: Uso de videos 4D durante la reunión de planificación, no se utilizó Revit para la visualización del modelo 4D, debido a que no tiene la opción de hacer videos, por ello se ocupó Navisworks, herramienta idónea para generar modelos 4D. Para crear este modelo fue necesario hacer una carta Gantt de las tareas que se realizarían, debido a que no se contaba con alguna a la cual se hiciera seguimiento, sino solamente los diagramas con post-it para las fechas de hormigonado de las coladas. Esta carta Gantt era preparada por la investigadora, con las tareas que se realizarían en la semana de enfierradura, moldaje y hormigonado para mostrar el plan semanal en las reuniones.

4.4.2. Criterio de uso de video 4D

El criterio de uso del modelo acordado con los profesionales de la obra e investigadora, fue mostrar un video semanal día a día destacando en colores tres tipos de actividades para la

ejecución de las losas y elevaciones: colocación de moldaje en color rojo, enfierradura en verde y hormigonado en azul o gris dependiendo si el elemento estaba en ejecución o terminado respectivamente. Este video se generó únicamente para el Plan de Corto Plazo, ya que eran las fechas que se podían estimar debido a los cambios constantes de la estrategia constructiva, por ello la constructora decidió que no era conveniente mostrar el PMP por tareas, sino mostrar una imagen semanal de las coladas que deberían estar hormigonadas a la fecha.

4.4.3. Reunión Previa

En las reuniones previas participaron: jefe de oficina técnica, jefe de terreno, ayudante de terreno e investigadora. Los actores anteriormente nombrados se reunían el día anterior de la reunión para alinear el plan a presentar en la reunión, tanto para el Plan de Corto como Mediando Plazo. Durante esta instancia se trató de recoger la mayor información del PCP por parte de la investigadora, la cual era entregada mediante diagramas de las plantas del edificio, pintando por día las elevaciones y coladas a ejecutar hasta completar la semana, para posteriormente preparar el video del plan semanal para la reunión de planificación.

4.4.4. Elaboración de video

Según los acuerdos tomados en la reunión previa y según el criterio de uso del video 4D definidos, se elaboraba en Navisworks el PCP semanalmente. La generación del video se veía dificultada debido a la ausencia de una Carta Gantt del proyecto, teniendo que agregar actividades inexistentes a la fecha y actualizarla de acuerdo a los avances obtenidos sin mucha rigurosidad.

4.4.5. Revisión de video

Antes de la reunión el facilitador de la reunión que era el Jefe de Oficina Técnica, revisaba el video, haciendo las modificaciones que encontrara pertinentes en cuanto a la correcta visualización del programa y también aspectos de forma para un mejor entendimiento del plan.

4.4.6. Preparación de la reunión

La preparación de la reunión estaba a cargo del facilitador y la investigadora. El facilitador se encargaba de mostrar indicadores como PPC, CNC, estado de avance de la obra y preparar la visualización del Plan de Mediano Plazo y la investigadora en preparar el video del modelo 4D.

4.4.7. Reunión de planificación

a) Aspectos generales de la reunión de planificación

Según los resultados de la Tabla 4.7, se puede ver que durante esta fase se obtuvieron resultados bajos, debido a un desinterés sobre todo por parte del Sistema Last Planner. Entre lo que más destaca es la disminución del tiempo de la reunión tan abrupta, además de la

inasistencia, desorden en dar a conocer las etapas. Por ello en general la reunión no se realiza de manera óptima.

Tabla 4.7 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.

Fecha	Cuantitativo			Cuantitativo subjetivo				
	Duración de la reunión	% de personas sin atraso	% Asistencia	Tiempo	Puntualidad	Asistencia	¿Se tiene las etapas bien marcadas durante la reunión?	Promedio
26-dic	1:19:00	64%	91%	100	50	100	0	63
02-ene	0:17:00	36%	36%	100	0	0	0	25
16-ene	0:30:00	45%	45%	100	0	0	0	25

b) Revisión de la situación pasada

Durante esta etapa no se muestra el modelo 4D, se pasa a la revisión de los compromisos de la semana anterior, donde cada último planificador va dando el reporte de las actividades no cumplidas, para detectar las CNC. Se muestra el PPC, gráfico de CNC acumuladas, estado de avance del proyecto y curva de avance según los m³ de hormigón tirados versus los m³ programados a fecha.

De acuerdo a la Tabla 4.8, se nota claramente un descenso en los resultados de cómo debe ser una buena revisión de la semana anterior, debido a que no se revisan varios de los puntos importantes de la etapa, y en algunas ocasiones se detectan las CNC para luego tomar acciones correctivas al respecto. Además en la Figura 4.15 se muestra la tendencia del PPC durante las mediciones de la Fase III, que es promedio regular en relación a los resultados esperados debido a la etapa de la edificación y la utilización de un video 4D.

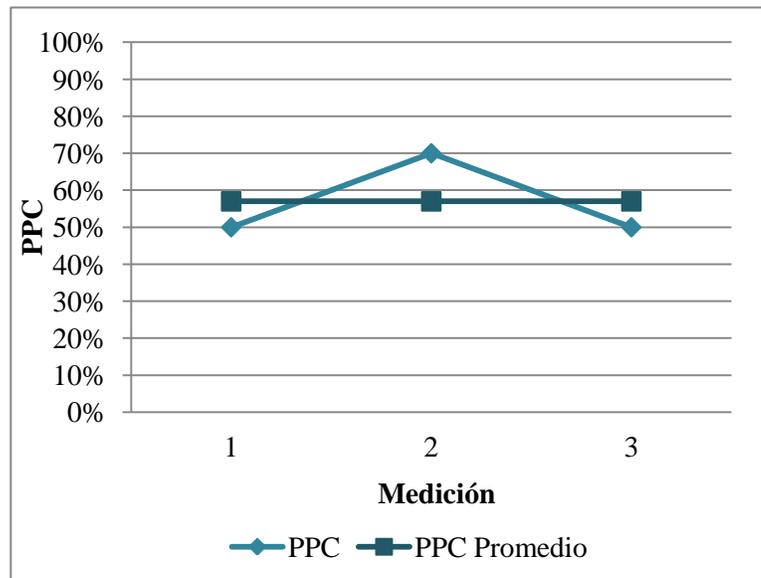


Figura 4.15 Tendencia del PPC durante la Fase III.

c) Revisión del Plan de Mediano Plazo

Para el Plan de Mediano Plazo se mostraba un horizonte de cuatro semanas hacia delante, mostrando 4 vistas del modelo en Revit: una vista semanal representada por un color diferente, donde se distingue el plan a ejecutar.

Los resultados de la etapa se encuentran en la Tabla 4.8. Se ve que esta etapa se realiza de una manera muy breve, donde se muestra el plan a ejecutar. Por ello se considera que es realizada de manera regular.

d) Revisión del Plan de Corto Plazo

El Plan de Corto Plazo se revisaba al final de la reunión y se utilizó el video 4D. De acuerdo a la siguiente convención (Ver Figura 4.16):

Elementos a ejecutar:

- Para elevaciones: Azul con transparencia de 70% para el hormigonado inicializado y azul para el hormigonado terminado.
- Para losas: Rojo para moldaje, verde para enfierradura y azul para hormigonado.
- Elementos ejecutados: Plomo.
- Fondo: blanco.

miércoles 04-01-2012 Día=3 Semana=1

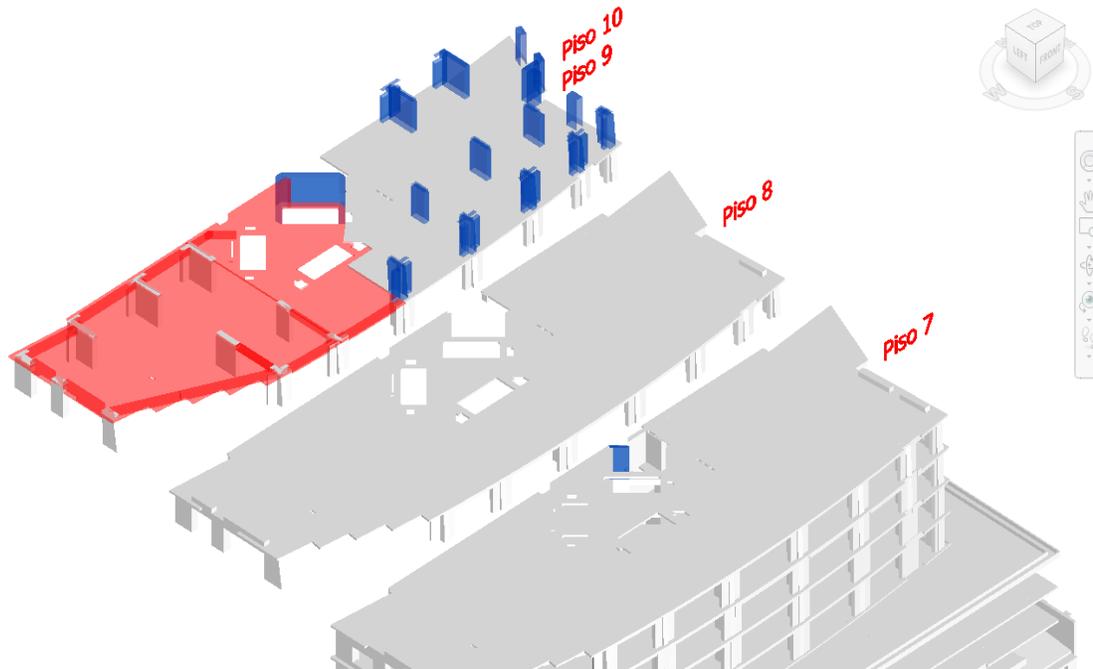


Figura 4.16 Visualización del video 4D del Plan de Corto Plazo.

De la Tabla 4.8 se puede destacar que durante esta fase el número de instancias de uso del video 4D es notablemente superior a las fases anteriores. Esto es debido a que el modelo en esta fase es mucho más detallado que las anteriores, mostrando mayor cantidad de actividades y por lo tanto los U.P. podían ver que estaba programado realizar día a día, sin embargo, la realización de esta etapa no es satisfactoria de acuerdo a las recomendaciones hechas por Sabbatino (2011).

Tabla 4.8 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.

Etapa	Cuantitativo							Cuantitativo subjetivo									
	Duración de la etapa	% de Tiempo de la Reunión	N° de actividades comprometidas	PPC	N° CNC	Tiempo en mostrar indicadores PPC, CNC, confiabilidad, avances	N° de veces que se acude al modelo 4D	Duración de la etapa	Revisión de compromisos	Detección de CNC	¿Se toman acciones correctivas?	Revisión de Estado de Avance	Análisis del PPC	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance	Revisión y validación del Plan a ejecutar	Revisión de restricciones	Promedio
Revisión Semana Anterior	0:07:00	9%	10	50%	5	0:00:00	0	100	0	50	100	0	0	0	-	-	36
	0:05:00	29%	9	70%	3	0:00:00	0	100	50	0	0	0	0	0	-	-	21
	0:10:00	33%	9	50%	4	0:00:00	0	100	50	50	0	0	0	0	-	-	29
Revisión PMP	0:02:00	3%	-	-	-	-	0	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50
	0:03:00	18%	-	-	-	-	4	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50
	0:10:00	33%	-	-	-	-	4	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50
Revisión PCP	1:10:00	89%	-	-	-	-	18	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50
	0:09:00	53%	-	-	-	-	10	50	-	-	-	-	-	100	100	83	
	0:10:00	33%	-	-	-	-	5	100	-	-	-	-	-	100	0	67	

4.4.8. Análisis de resultados

Finalmente como se puede apreciar en la Tabla 4.9, los resultados obtenidos de cómo se lleva a cabo la planificación es deficiente según el indicador de planificación medido para la Fase III, el cual es el resultado más bajo del proyecto:



El bajo resultado obtenido es debido a que se le resta importancia a elementos claves, que mejoran el sistema de planificación como los análisis de indicadores. En los Aspectos Generales de la Reunión de Planificación y el Análisis de la Semana Anterior se obtuvieron resultados bajos debido a que hay varios de los aspectos de la pauta de evaluación Last Planner que no se realizan de manera correcta o no se realizan, mejorando los resultados en las dos últimas etapas de

revisión del plan a ejecutar tanto del mediano como corto plazo, pero de todos modos con resultados bastante bajos en relación al óptimo esperado.

Tabla 4.9 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación.

Fecha	Aspectos Generales de la Reunión de Planificación	Análisis de la semana anterior	Análisis del Mediano Plazo	Análisis del Corto Plazo	Promedio
23-dic	63	36	50	33	45
05-ene	25	21	50	83	45
12-ene	25	29	50	67	43
Promedio	38	29	50	61	44
Ponderado	10%	20%	40%	30%	
Total Ponderado	48				

4.4.9. Encuesta de percepción de la fase

Según los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a los participantes de las reuniones de planificación se obtuvieron las siguientes observaciones:

De la Figura 4.17, lo primero que se puede notar que la Fase II: Manipulación directa del modelo 4D, para cada una de las etapas de la reunión es la que tiene mayor aceptación por parte de los participantes, luego le siguen el uso imágenes y finalmente el uso de videos.

Para cada una de las fases se puede decir:

Según los resultados arrojados por la encuesta de la Fase I, se puede ver que para cada una de las etapas de la reunión en general los integrantes tienen una aprobación sobre el 80%, lo que significa que están muy satisfechos o muy de acuerdo con la utilización de imágenes durante la reunión de planificación.

Para la Fase II, para cada una de las etapas de la reunión de planificación, se obtiene que los niveles de satisfacción de todas las etapas están sobre el 80% y en porcentajes mayores a los de la fase anterior. El mayor nivel de satisfacción se obtiene en la Revisión de la Semana Anterior y el menor en la Revisión del Plan de Corto Plazo.

Para la Fase III solamente se midió la satisfacción de la utilización de videos para el Plan de Corto Plazo, ya que en las otras etapas no se utilizó un video para su visualización como se

explicó en los puntos anteriores de esta fase. La acogida de esta última fase no fue tan satisfactoria como se esperaba, debido a esto solamente se pudo implementar durante la etapa del corto plazo. En esta etapa influyeron distintos factores que pudieron afectar el porcentaje de satisfacción tales como: dificultades en la implementación de Last Planner, las reuniones no se realizaban frecuentemente, ya para esta etapa además se utilizó otro tipo de visualización distinta a lo que estaban acostumbrados a ver, se agregaron más detalles como la separación de las actividades de enfierradura, moldaje y hormigonado.

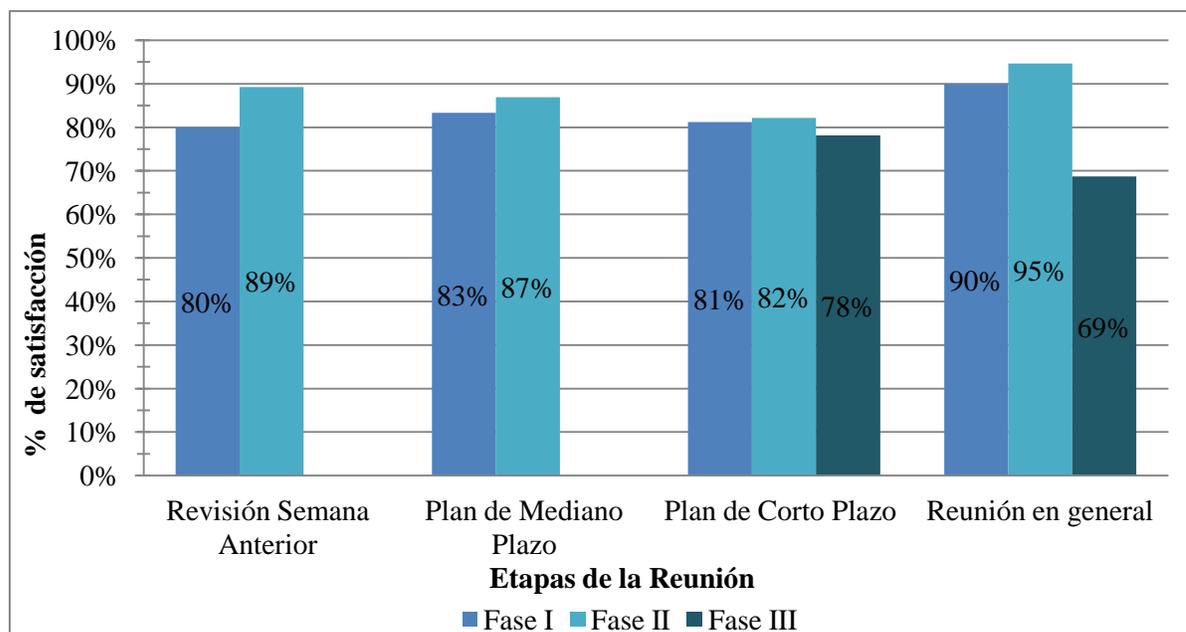


Figura 4.17 Comparación de % de satisfacción entre Fases I, II y III.

En la Figura 4.18 a continuación, la investigadora evaluó para las tres fases utilizadas a las cuatro personas participantes de las reuniones de planificación con una escala del 1 al 7. Para los subcontratos cada una de las fases le resultan iguales con una evaluación 6, lo cual es muy bueno. Para el caso de los capataces también las etapas resultan iguales con evaluación 7, sin embargo para los profesionales expertos existe una diferencia notoria entre cada una de las etapas, donde se nota claramente una preferencia por la Fase II con nota 6, donde las otras fases no son consideradas esenciales para mostrar el plan a ejecutar. En promedio, se logra distinguir una clara inclinación por la Fase II, en la cual se obtienen las mejores notas por parte de los participantes.

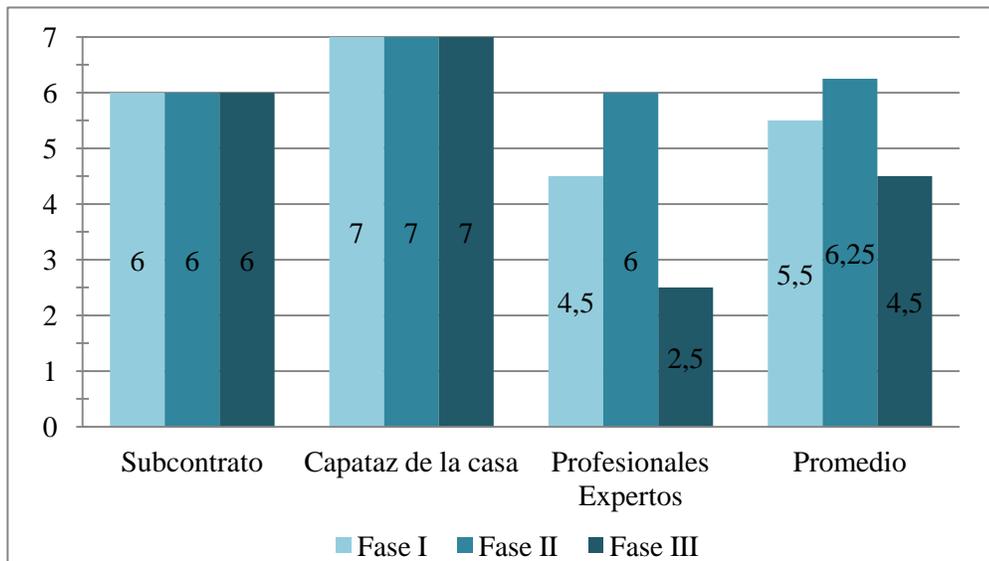


Figura 4.18 Notas de cada fase.

Finalmente la investigadora consultó sobre la mejor manera de mostrar el modelo durante las reuniones de planificación (ver Figura 4.19). Un 50% de los participantes cree que una combinación de las tres fases estudiadas es conveniente para ser utilizados en las reuniones de planificación.

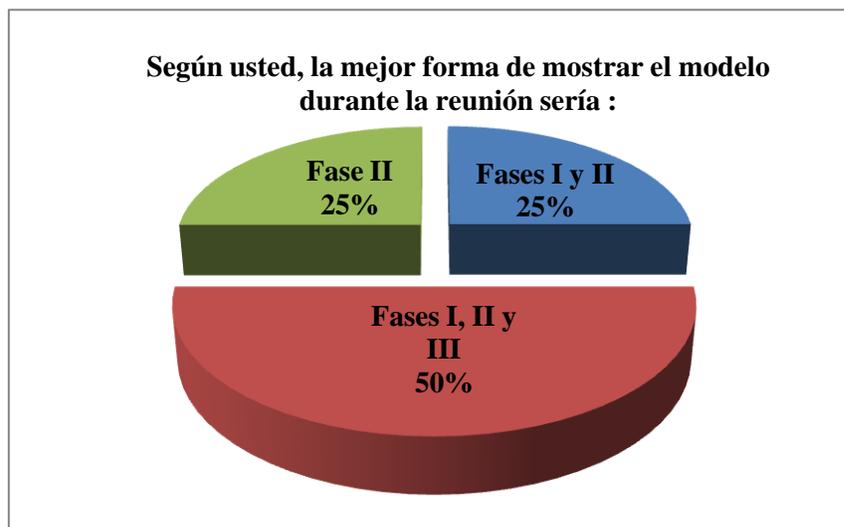


Figura 4.19 Mejor forma de mostrar el programa durante las reuniones según los participantes de la reunión.

4.5. Fase I - Proyecto IV: Las Lilas II

4.5.1. Modelo 3D + Carta Gantt

El modelo 3D de Revit fue realizado por un arquitecto, pero a diferencia del proyecto anterior este último modelo poseía un PBS (Product Breakdown Structure o Estructura de División del Producto), según la planificación inicial de la obra.

La Carta Gantt inicial fue preparada según la programación hecha por los profesionales que realizarían el proyecto, la cual posee un WBS (Work Breakdown Structure) por ciclos de construcción como muestra la Figura 4.20. Esta Carta Gantt fue de gran ayuda a la hora de preparar los modelos, si bien no se siguió a cabalidad, es una base partida para que más fácilmente se hagan los cambios de la programación.

El seguimiento de las actividades era hecha con IMPERA, software dedicado a analizar los avances y mostrar indicadores de avance de la obra y sus causas de no cumplimiento.

El tener el modelo 3D de acuerdo a la Carta Gantt inicial, ie, alinear el PBS con el WBS, resultó ser muy útil a la hora de armar el modelo 4D durante la investigación, ya que la facilitó el trabajo de vinculación de objetos 3D y actividades, evitando perder tiempo haciendo modificaciones mayores.

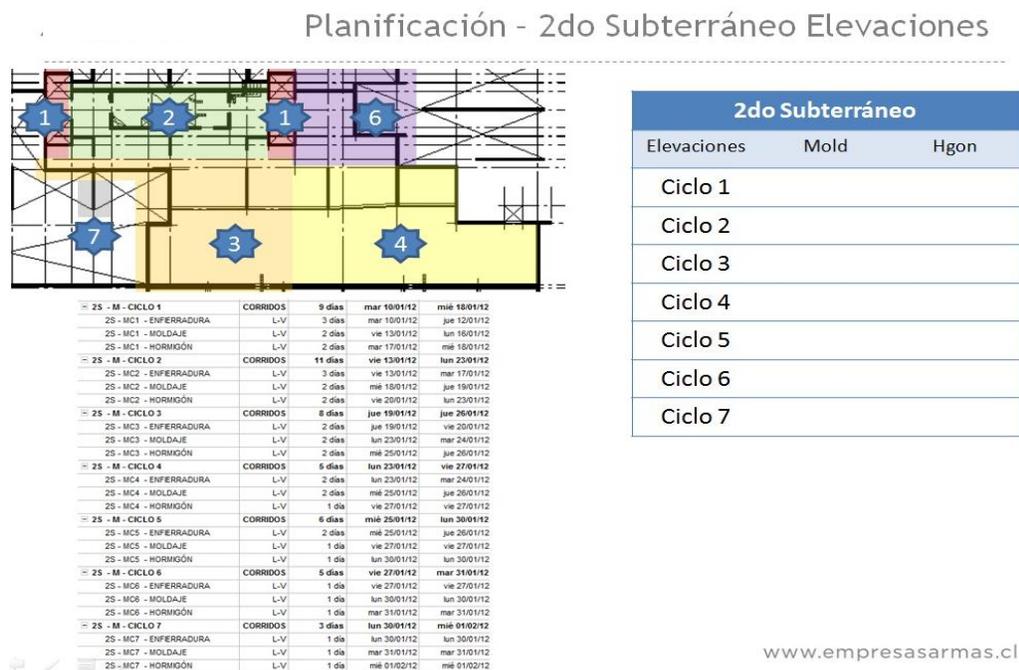


Figura 4.20 Planificación del proyecto en construcción representado por diagramas de ciclos de hormigonado.

4.5.2. Criterio de uso de imágenes 4D

El criterio de imágenes acordado con los profesionales de la obra y la investigadora, es de acuerdo a los ciclos de hormigonado que se van realizando, como la planificación mostrada anteriormente. Esta se trata de una convención de colores por actividades que se realizan día a día en el caso del Plan de Corto Plazo y semana a semana en el caso del Plan de Mediano Plazo. La convención de colores para las actividades a ejecutar consideradas fueron:

Para elevaciones y losas, ver Figura 4.21:

- Amarillo con transparencia de 70% para el hormigonado inicializado y gris para el hormigonado terminado.
- Rojo con transparencia de 70% para el moldaje inicializado y rojo para el hormigonado terminado.
- Verde con transparencia de 70% para la enfierradura inicializada y verde para el hormigonado terminado.
- Morado con transparencia de 70% para la excavación inicializada y Morado para la excavación terminada.
- Ejes color anaranjado.
- Fondo color blanco.

jue 22

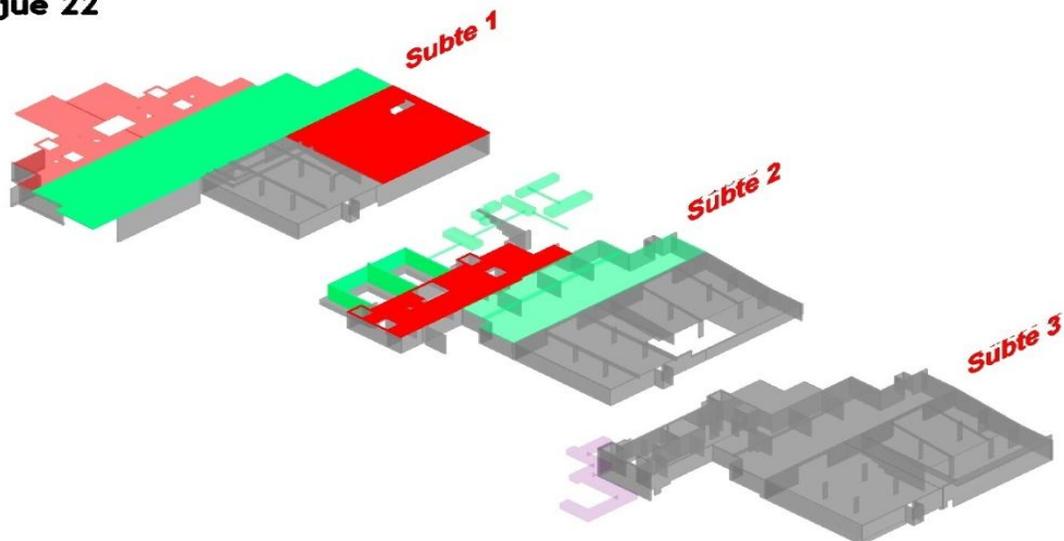


Figura 4.21 Criterio de elaboración de imágenes según coladas y colores por semana.

4.5.3. Reunión Previa

Este punto no se realiza como una reunión propiamente tal. La recopilación y análisis de datos se realiza de manera independiente tanto para el Jefe de Terreno y Jefe de Obra encargados de revisar el plan a ejecutar durante las siguientes semanas. Por otro lado la Jefa de Oficina Técnica se encarga de hacer el seguimiento de la obra con IMPERA.

La investigadora participa en la preparación de la reunión de planificación semanal reuniéndose un día antes de ésta con el Jefe de Terreno, para hacer la revisión de las actividades de la semana anterior, ver el cumplimiento de los compromisos, actualizar las actividades a ejecutar durante la semana y revisar de manera general el plan de mediano plazo. De acuerdo a esta revisión se prepara el modelo para ser mostrado durante las reuniones de planificación.

4.5.4. Elaboración de imágenes

La elaboración de las imágenes del modelo 4D se realiza en dos etapas: la primera es recorrer la obra con el fin de medir el cumplimiento de las actividades comprometidas a hacer en el plan de la semana anterior, de acuerdo a estos avances se actualiza el modelo. La segunda etapa consiste en actualizar el plan de la próxima semana según lo acordado en la reunión con el Jefe de Terreno.

4.5.5. Revisión de imágenes

Las imágenes generadas son revisadas por el facilitador de la reunión que era el Jefe de Terreno el mismo día de la reunión, quien las revisa de acuerdo al plan programado. Si las imágenes no cumplen lo que se deseaba mostrar en la reunión, se corrigen, hasta obtener las correctas.

4.5.6. Preparación de la reunión

La preparación de la reunión está a cargo de la Jefa de Oficina Técnica y del Jefe de Terreno como el facilitador de la reunión. La Jefa de Oficina Técnica preparaba una presentación donde se podían revisar la situación pasada, mostrando gráficos e indicadores del estado de avance de la obra: PPC, CNC y curvas de avance, revisión del plan de corto plazo con el uso de las imágenes de los ciclos mostrados en planta. La investigadora se encargaba de preparar las imágenes de las tres etapas de la reunión: Revisión de la semana anterior, Plan de Corto Plazo y Plan de Mediano Plazo.

4.5.7. Reunión de planificación

a) Aspectos generales de la reunión de planificación

A continuación se puede ver los resultados en la Tabla 4.10, donde se puede apreciar que de las tres mediciones hechas durante esta etapa, las duraciones de las reuniones de planificación son menores a una hora lo cual es favorable, sin embargo los asistentes no llegan a tiempo y las etapas dentro de la reunión no se realizan en un orden conveniente.

Tabla 4.10 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.

Fecha	Cuantitativo			Cuantitativo subjetivo				
	Duración de la reunión	% de personas sin atraso	% Asistencia	Tiempo	Puntualidad	Asistencia	¿Se tiene las etapas bien marcadas durante la reunión?	Promedio
26-dic	0:40:00	45%	100%	100	0	100	0	50
02-ene	0:58:00	55%	91%	100	50	100	50	75
16-ene	0:58:00	55%	82%	100	50	100	100	88

b) Revisión de la situación pasada

Durante esta etapa se muestra una imagen de los compromisos de la semana anterior versus las tareas cumplidas durante esa semana, como muestra la Figura 4.22, donde se puede notar que el cumplimiento de las tareas ejecutadas es menor al programado, ya que por ejemplo las elevaciones que debían estar hormigonadas del subterráneo 1 y 2 se encuentran enfierradas y parte de la losa del primer subterráneo que debía estar hormigonada según programa, se encuentra con moldaje.

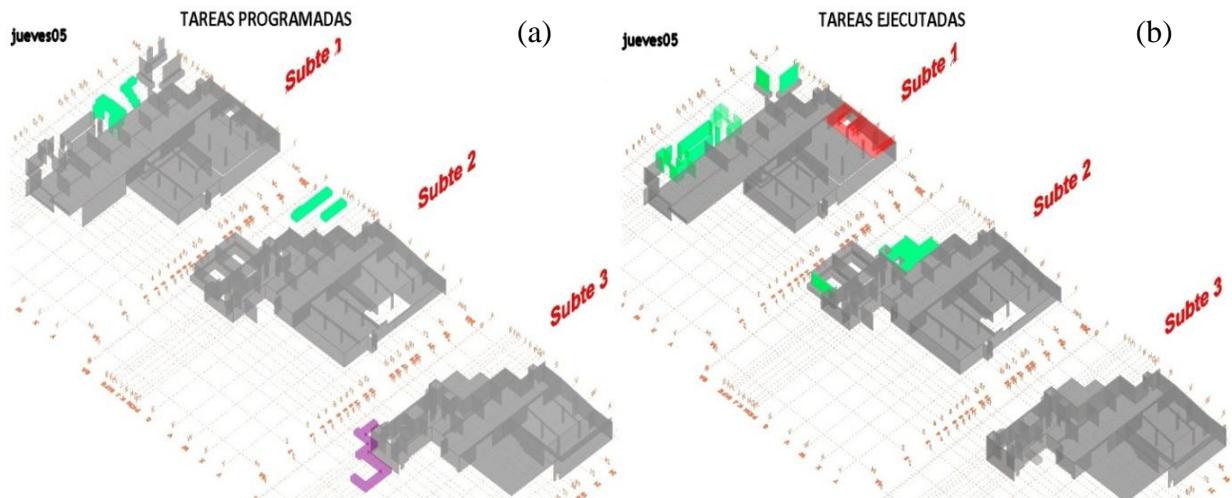


Figura 4.22 Representación de los compromisos de la semana anterior en imágenes.

Una vez detectadas las actividades no cumplidas se evaluaban las CNC que produjeron el no cumplimiento del plan programado, para este caso las CNC se revisan de manera general (Ver

Figura 4.23), ya que cada U.P. no da cuenta de su cumplimiento sino que se revisa el cumplimiento de la obra en total. Finalmente se pasa a la revisión de indicadores de la obra, donde se analizaba el PPC, estado de avance de la obra y CNC acumuladas.



Figura 4.23 Revisión de las Causas de No Cumplimiento durante la revisión de la semana anterior.

Los resultados de la etapa se muestran en la Tabla 4.11, donde se puede ver que a esta etapa no se le presta mucha importancia, ya que en general se trata de un informe a los U.P. de cuanto fue el cumplimiento, las CNC históricas que se presentan, pero no se especifica por cada actividad no cumplida la CNC para luego tomar las acciones correctivas correspondientes.

El PPC durante esta fase tiende a aumentar (Ver Figura 4.24), lo cual es muy bueno.

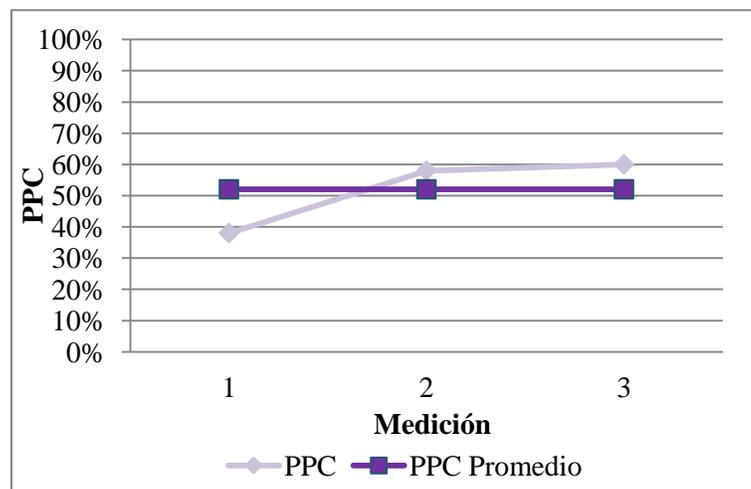


Figura 4.24: Tendencia del PPC durante la Fase I.

c) Revisión del Plan de Mediano Plazo

Para el Plan de Mediano Plazo se muestra un horizonte de cuatro semanas hacia delante, mostrando 4 imágenes: una imagen semanal, mostrando las actividades programadas a hacer semana a semana de un mes hacia delante, como lo muestra la Figura 4.25.

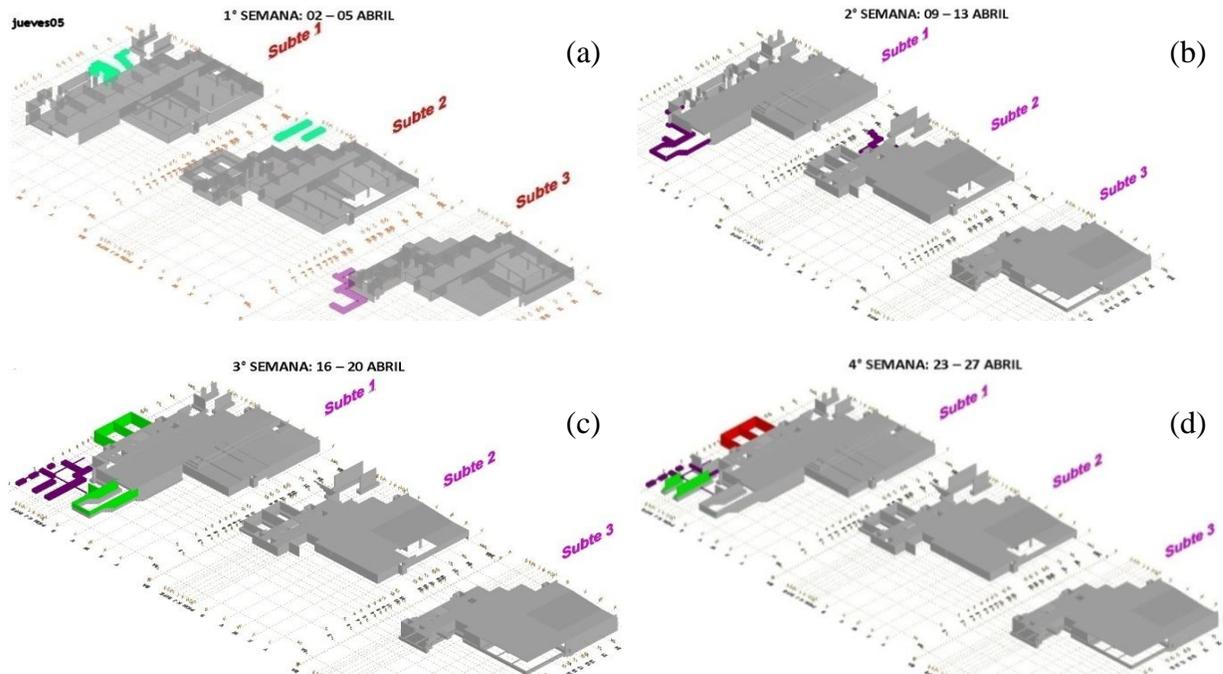


Figura 4.25 Ejemplo de Plan de Mediano Plazo programado.

Según los resultados obtenidos de la Tabla 4.11, generalmente no se revisa detalladamente, sino que se da un esbozo de cómo tiene que estar la obra en un mes más sin revisar las restricciones que dicho plan pueda tener. Además se puede ver que la cantidad de veces que se acude a las imágenes del modelo 4D es baja en relación al PCP, por ejemplo, lo que indica lo mencionado anteriormente de que durante esta etapa se revisan rápidamente el plan propuesto realizar del mediano plazo.

d) Revisión del Plan de Corto Plazo

En el plan de corto plazo se revisa al final de la reunión y corresponde a 5 imágenes: una imagen diaria del plan semanal programado, la proyección de ellas en la Figura 4.26 y el detalle del plan en la Figura 4.27. Durante esta etapa se revisan las tareas necesarias para cumplir el plan, y se establecen fechas de cumplimiento de los compromisos por cada U.P.



Figura 4.26 Revisión del Plan de Corto Plazo mediante una imagen diaria del modelo 4D del plan semanal durante la reunión.

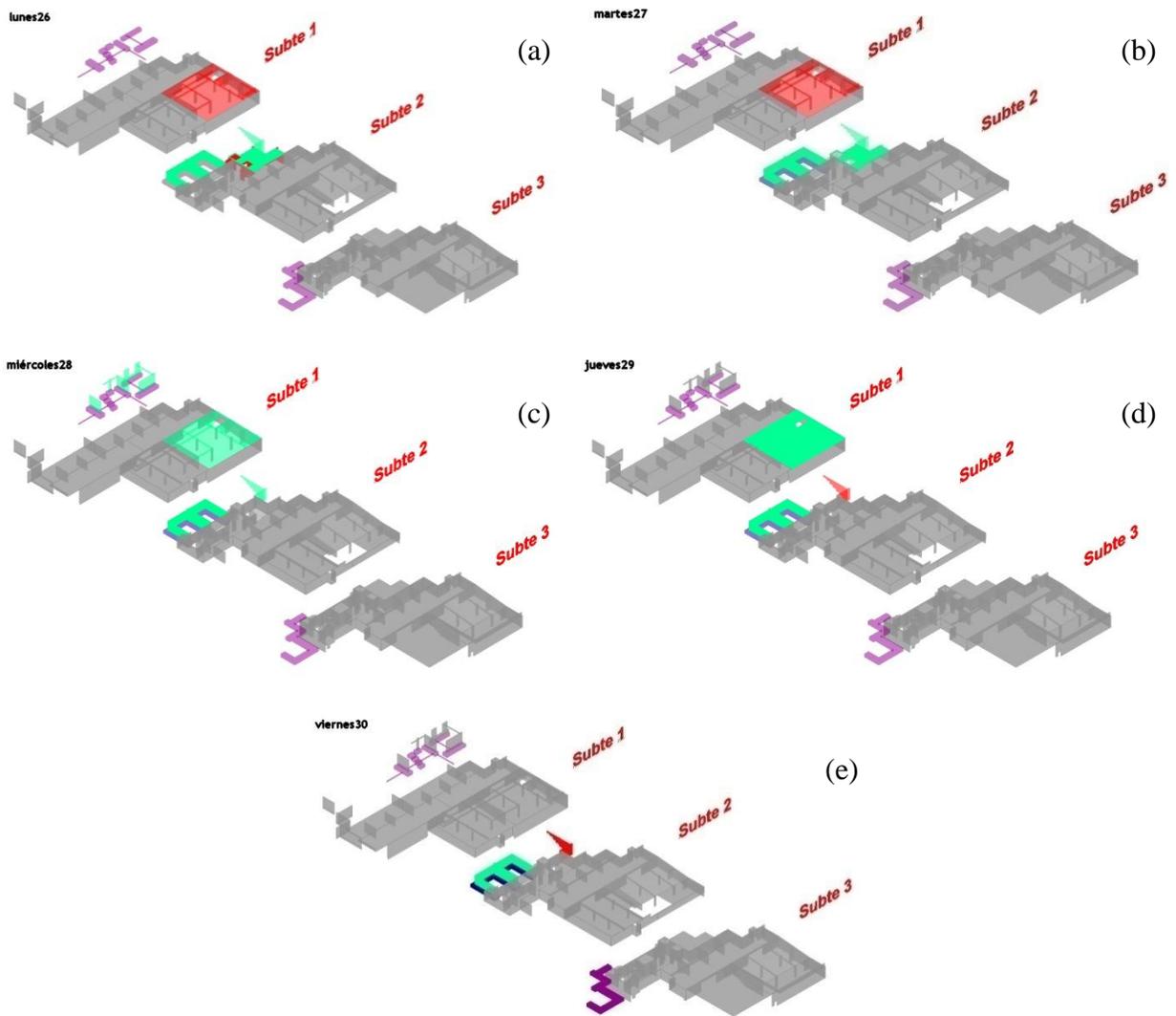


Figura 4.27 Imagen del plan de trabajo semanal mostrada durante la reunión.

Los resultados obtenidos de la etapa se pueden ver en la Tabla 4.11, donde se aprecia que la mayor cantidad del tiempo de la reunión se ocupa en esta etapa. Además se revisan las posibles restricciones, por lo que en promedio la etapa se realiza de manera óptima donde se revisan todos los puntos importantes, sin embargo, cada UP no se compromete con una actividad en particular durante la reunión, sino que se da a conocer el plan a realizar, se revisa y de acuerdo a ello, los que consideren que las actividades que se han planteado, de acuerdo a sus especialidad, poseen alguna restricción se analiza y cambia el programa.

En la Tabla 4.11 se nota un aumento considerable de las veces que se acude a las imágenes del modelo 4D, durante el PCP, lo cual se ve reflejado en una mejora de la planificación, aumentando el PPC.

Tabla 4.11 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.

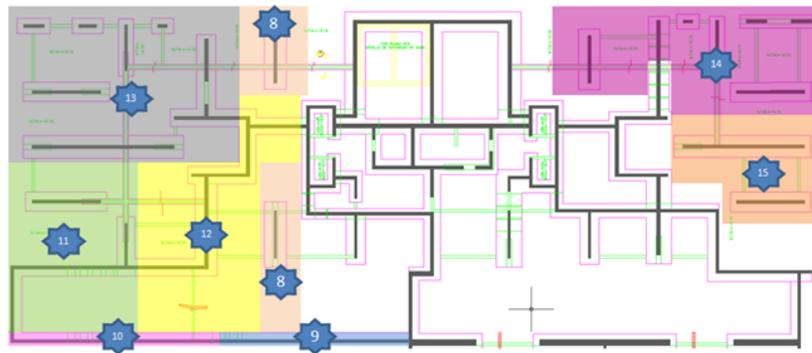
Etapa	Cuantitativo							Cuantitativo subjetivo									
	Duración de la etapa	% de Tiempo de la Reunión	N° de actividades comprometidas	PPC	N° CNC	Tiempo en mostrar indicadores PPC, CNC, confiabilidad, avances	N° de veces que se acude al modelo 4D	Duración de la etapa	Revisión de compromisos	Detección de CNC	¿Se toman acciones correctivas?	Revisión de Estado de Avance	Análisis del PPC	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance	Revisión y validación del Plan a ejecutar	Revisión de restricciones	Promedio
Revisión Semana Anterior	0:15:00	38%	20	38%	15	0:02:00	1	50	0	0	0	100	100	100	-	-	50
	0:18:00	31%	21	58%	8	0:02:00	1	100	50	0	0	100	100	100	-	-	64
	0:02:00	3%	18	60%	8	0:00:00	1	100	50	50	0	0	0	0	-	-	29
Revisión PMP	0:00:00	0%	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0
	0:05:00	9%	-	-	-	-	5	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50
	0:21:00	36%	-	-	-	-	8	100	-	-	-	-	-	-	100	0	67
Revisión PCP	0:25:00	63%	-	-	-	-	6	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:35:00	60%	-	-	-	-	25	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:35:00	60%	-	-	-	-	22	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83

4.5.8. Post Reunión

Los documentos entregados son una impresión del Plan de Corto Plazo a ejecutar (Ver Figura 4.28), con un diagrama en planta de los sectores según el ciclo de hormigonado que se vaya a trabajar.

No se tiene un panel donde se muestren los indicadores de avance de la obra.

Subterráneo Fundaciones



Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
	C6 Emplantillado Eje H 100% C14 Emplantillado Eje 21 100% C15 Emplantillado Eje O 100% C12 Emplantillado Eje I 100%	C13 Emplantillado Eje E 100% C6 Fierro Eje H 100% C14 Fierro Eje 21 100% C15 Fierro Eje O 100% C12 Fierro Eje I 100%	C15 Emplantillado Eje j 100% C13 Fierro Eje E 100% C6 Hn Eje H 100% C14 Hn Eje 21 100% C15 Hn Eje O 100% C12 Hn Eje I 100%	C12 Emplantillado Eje 2 100% C14 Emplantillado Eje 18 100% C14 Emplantillado Eje entre 21 22 100% C12 Emplantillado Eje 5 100% C13 Hn Eje E 100%

Figura 4.28 Diagrama de la planificación entregada a los U.P. del plan a ejecutar.

4.5.9. Análisis de resultados

En resumen de los resultados obtenidos de la Fase I de la Tabla 4.12, se puede ver que a las etapas de Revisión de la Semana Anterior y Análisis del Mediano Plazo no se les toma la importancia debida, sobre todo se descuida el mediano plazo, el cual es muy importante dentro de la planificación para prever problemas a futuro y solucionarlos a tiempo. También se hace notar una mayor dedicación exclusivamente en la revisión del corto plazo. Debido a esto los resultados de la planificación para este proyecto no son muy buenos, al descuidar puntos fundamentales que ayudan en la planificación a largo plazo, por lo tanto el indicador de planificación que se obtiene para la Fase I es:

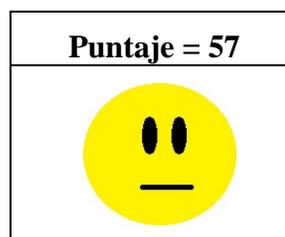


Tabla 4.12 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación

Fecha	Aspectos Generales de la Reunión de Planificación	Análisis de la Semana Anterior	Análisis del Mediano Plazo	Análisis del Corto Plazo	Promedio
26-dic	50	50	0	83	46
02-ene	75	64	50	83	68
16-ene	88	29	67	83	67
Promedio	71	48	39	83	60
Ponderado	10%	20%	40%	30%	
Total Ponderado	57				

4.5.10. Encuesta de percepción de la fase

Considerando los resultados de la encuesta de satisfacción según tipo de actor en la Figura 4.29, de cómo las imágenes del plan a ejecutar ayudaron a comprender mejor la planificación del proyecto.

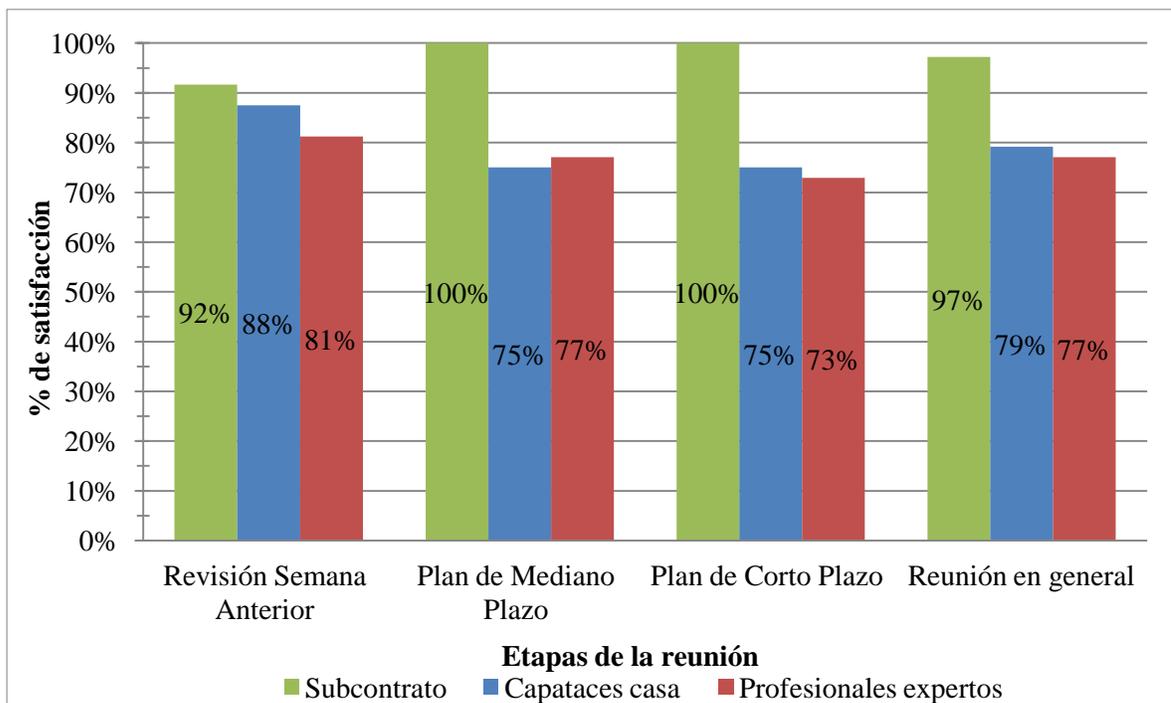


Figura 4.29 % de Satisfacción de imágenes 4D según tipo de actor.

Primero que todo se puede ver que para el subcontrato en cada una de las etapas el nivel de satisfacción es notoriamente superior al resto de los participantes.

Desglosando cada uno de los actores se puede decir:

Para el subcontrato en general todas las etapas fueron muy satisfactorias, en especial aquellas imágenes de la revisión del Plan de Mediano y Corto Plazo. Como hipótesis era esperable que ellos estuvieran más interesados en el Corto Plazo, lo cual resultó cierto, ya les interesa más lo que deben ejecutar en la semana, pero además mostraron el mismo interés para el Plan de Mediano Plazo, lo cual es muy favorable, ya que las imágenes ayudaron a que pudieran tener un interés importante por lo que deberían hacer a largo plazo, y de este modo prever problemas futuros.

Para los capataces de la casa dentro de las tres etapas de la reunión, la que produjo mayor satisfacción de las imágenes mostradas fue la Revisión de la Semana Anterior, perdiendo interés en las etapas siguientes, pero con porcentajes sobre el 70%, resultados satisfactorios del uso de imágenes durante la reunión de planificación.

Para el caso de los Profesionales expertos existe la misma tendencia que los capataces: descenso del porcentaje de satisfacción a medida que se realizan las etapas en la reunión de planificación, pero al igual que el caso anterior los porcentajes de satisfacción en cada una de las etapas son sobre el 70%.

4.6. Fase II - Proyecto IV: Las Lilas II

4.6.1. Modelo 3D + Carta Gantt

Durante la Fase II se sigue utilizando el mismo modelo 3D y Carta Gantt de la Fase anterior, y debido a que la vinculación de los objetos 3D y actividades está hecha, en esta etapa no hay mayores modificaciones del modelo y la Gantt, aparte de actualizar la programación directamente del modelo 4D para ser mostrado durante las reuniones de planificación.

4.6.2. Criterio de manipulación directa del modelo 4D

El criterio de manipulación directa del modelo 4D durante las reuniones de planificación acordada entre los profesionales de la obra y la investigadora, es de acuerdo a los ciclos de hormigonado que se van realizando, siguiendo la línea de la fase anterior con los mismos colores y sus respectivas actividades según la siguiente convención:

Para elevaciones y losas:

- Amarillo con transparencia de 70% para el hormigonado inicializado y gris para el hormigonado terminado.

- Rojo con transparencia de 70% para el moldaje inicializado y rojo para el hormigonado terminado.
- Verde con transparencia de 70% para la enfierradura inicializada y verde para el hormigonado terminado.
- Morado con transparencia de 70% para la excavación inicializada y Morado para la excavación terminada.
- Ejes color anaranjado.
- Fondo color blanco.

4.6.3. Reunión Previa

Durante la Fase II la investigadora asiste unas horas antes de la reunión de planificación para preparar el modelo de acuerdo a la retroalimentación del Jefe de Terreno y hacer la revisión de las actividades de la semana anterior, ver el cumplimiento de los compromisos, actualizar las actividades a ejecutar durante la semana y revisar de manera general el plan de mediano plazo. De acuerdo a esta revisión se prepara el modelo para ser mostrado durante las reuniones de planificación.

4.6.4. Elaboración de la visualización del modelo 4D

La elaboración de la visualización del modelo 4D se realiza de igual manera que la Fase anterior, donde primeramente se recorre la obra con el fin de medir el cumplimiento de las actividades comprometidas a ejecutar en el plan de la semana anterior, para actualizar el modelo. Luego se actualiza el plan de la semana siguiente según lo acordado en la reunión con el Jefe de Terreno.

4.6.5. Revisión del modelo

El modelo es revisado por el facilitador de la reunión, una vez actualizados los cambios, quien lo revisa de acuerdo al plan programado si no coinciden se reajustan los cambios en el modelo y se revisa hasta obtener el plan que se desea transmitir a los U.P.

4.6.6. Preparación de la reunión

Para la Fase II, la preparación del modelo es más simple que en el caso de las imágenes, ya que no hay que generarlas para mostrar el plan, sino que se muestra directamente de Navisworks, por lo tanto una vez revisado y aprobado el modelo está listo para ser presentado en la reunión.

4.6.7. Reunión de planificación

a) Aspectos generales de la reunión de planificación

Los resultados generales de la Fase II se muestran en la Tabla 4.13, se puede ver que en general los parámetros de puntualidad, asistencia y orden de las etapas durante la reunión de

planificación son bajos, exceptuando el tiempo utilizado en realizar las reuniones el cual es óptimo con respecto a las recomendaciones de Sabbatino (2011).

Tabla 4.13 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.

Fecha	Cuantitativo			Cuantitativo subjetivo				
	Duración de la reunión	% de personas sin atraso	% Asistencia	Tiempo	Puntualidad	Asistencia	¿Se tiene las etapas bien marcadas durante la reunión?	Promedio
02-abr	1:21:00	55%	64%	100	50	50	50	63
09-abr	0:35:00	64%	73%	100	50	50	50	63
16-abr	1:05:00	45%	55%	100	0	50	50	50

b) Revisión de la situación pasada

Durante esta etapa no se utiliza el modelo 4D sino que se sigue utilizando una imagen estática comparativa, como la Fase I, de lo que se programa versus lo que realmente se ejecuta, esto es debido a que durante esta etapa no se considera fundamental mostrar el día a día de las tareas que se realizaron y cuáles no, ya que se debe enfocar en ver el porqué no se cumplieron dichas actividades y tomar acciones correctivas al respecto y mostrar el modelo para que aquellas etapas donde se muestra lo que se propone hacer las siguientes semanas.

En la Tabla 4.14 se muestra los resultados obtenidos durante esta etapa, donde se aprecia que los resultados son regulares, se mejoran varios aspectos con respecto a la fase anterior, sin embargo, no se revisan los compromisos, ya que no está asociada una tarea a cada U.P., sino que se hace de forma general. Se nota una baja en el PPC (Ver Figura 4.30), sin embargo, esta no se debe a que no se entienda el plan a ejecutar, sino que no se cumple lo programado debido falta de mano de obra principalmente, lo que produce un atraso muy significativo y por ende una baja en el PPC. Además durante esta etapa la utilización de la imagen de la situación pasada es utilizada de manera panorámica para mostrar la diferencia entre lo programado y lo ejecutado, debido a esto es la baja cantidad de veces que se acude al modelo 4D.

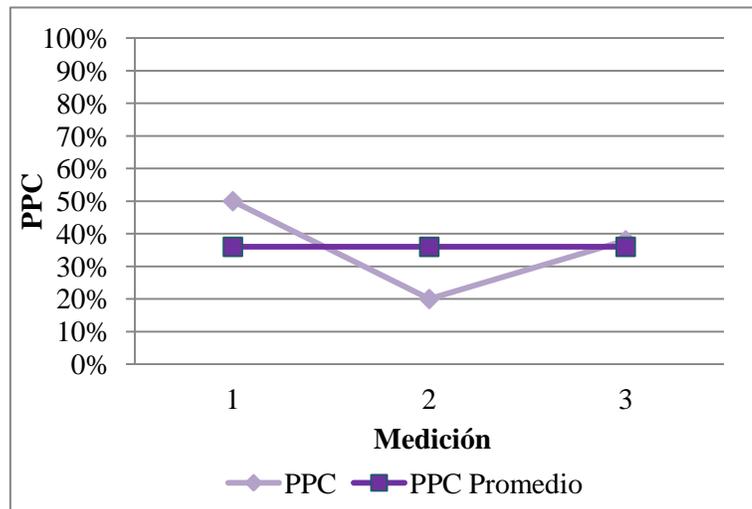


Figura 4.30 Tendencia del PPC durante la Fase II.

c) Revisión del Plan de Mediano Plazo

En la revisión del Plan de Mediano Plazo no se utiliza el modelo 4D, ya que no se posee una información más detallada de cómo es la programación, por lo tanto no es muy conveniente mostrar un modelo con una escala de tiempo semanal, ya que es similar al utilizar una imagen semanal de lo que se pretende hacer en cuatro semanas más.

De los resultados del Plan de Mediano Plazo en la Tabla 4.14, se puede observar que al comienzo de la fase se revisa el Plan de Mediano Plazo, sin embargo, en las siguientes mediciones no se revisa, dejando de evaluarlo durante la reunión debido a que como video no aporta mucha información adicional al plan entregado a los U.P.

d) Revisión del Plan de Corto Plazo

El modelo generado para la Fase II solamente se realiza para la etapa del Plan de Corto Plazo, mostrando día a día lo que se debe realizar. Durante esta etapa los últimos planificadores tienen la oportunidad de ver el programa además de revisar ciertos sectores de los cuales tengan duda, ya que el modelo no es estático como lo son las imágenes de la Fase anterior, se puede acercar a ciertos sectores, poner otra vista como por ejemplo en planta y navegar por el modelo, todo esto de acuerdo a las necesidades y dudas de los participantes de la reunión de planificación. A continuación se ve la Figura 4.31 la cual muestra como está dispuesto el modelo durante la reunión para que los participantes lo vean, analicen y aclaren sus dudas.



Figura 4.31 Revisión del Plan de Corto Plazo con el modelo 4D durante la reunión.

Los resultados de esta etapa se pueden ver en la Tabla 4.14, la cual se realiza de mejor forma que las anteriores, principalmente durante las reuniones de esta fase se enfocan en revisar el corto plazo, debido a ello la cantidad de tiempo utilizado en mostrar el plan, descuidando de este modo las etapas anteriores.

Tabla 4.14 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.

Etapa	Cuantitativo							Cuantitativo subjetivo									
	Duración de la etapa	% de Tiempo de la Reunión	N° de actividades comprometidas	PPC	N° CNC	Tiempo en mostrar indicadores PPC, CNC, confiabilidad, avances	N° de veces que se acude al modelo 4D	Duración de la etapa	Revisión de compromisos	Detección de CNC	¿Se toman acciones correctivas?	Revisión de Estado de Avance	Análisis del PPC	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance	Revisión y validación del Plan a ejecutar	Revisión de restricciones	Promedio
Revisión Semana Anterior	0:26:00	32%	29	50%	15	0:12:00	1	100	0	100	0	100	100	50	-	-	64
	0:13:00	37%	27	20%	22	0:10:00	1	50	0	50	100	100	100	0	-	-	57
	0:07:00	11%	28	38%	17	0:05:00	1	100	0	100	100	100	100	50	-	-	79
Revisión PMP	0:04:00	5%	-	-	-	-	4	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50
	0:00:00	0%	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0
	0:00:00	0%	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0

Etapa	Cuantitativo							Cuantitativo subjetivo									
	Duración de la etapa	% de Tiempo de la Reunión	N° de actividades comprometidas	PPC	N° CNC	Tiempo en mostrar indicadores PPC, CNC, confiabilidad, avances	N° de veces que se acude al modelo 4D	Duración de la etapa	Revisión de compromisos	Detección de CNC	¿Se toman acciones correctivas?	Revisión de Estado de Avance	Análisis del PPC	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance	Revisión y validación del Plan a ejecutar	Revisión de restricciones	Promedio
Revisión PCP	0:51:00	63%	-	-	-	-	18	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:22:00	63%	-	-	-	-	16	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:58:00	89%	-	-	-	-	16	50	-	-	-	-	-	-	100	0	50

4.6.8. Post Reunión

Para la Fase II, se entregan los mismos documentos de la Fase anterior: impresión del Plan de Corto Plazo a ejecutar, con un diagrama en planta de los sectores según el ciclo de hormigonado que se vaya a trabajar, además para esta Fase, al igual que la anterior, tampoco existe un panel donde se muestren los indicadores de avance de la obra.

4.6.9. Análisis de resultados

El resumen de resultados de la Fase II se muestra en la Tabla 4.15, donde se puede ver con claridad que no son muy satisfactorios, debido a que se deja de lado una parte importante de la reunión como lo es la revisión del Plan de Mediano Plazo, enfocándose solamente en el corto plazo, de este modo se descuida la liberación a tiempo de restricciones que podrían haberse evitado, a esto también puede deberse el descenso del PPC, al no tomar acciones correctivas a tiempo.

Los resultados de la reunión de planificación son considerados deficientes, por lo tanto el indicador de planificación es:



Tabla 4.15 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación.

Fecha	Aspectos Generales de la Reunión de Planificación	Análisis de la semana anterior	Análisis del Mediano Plazo	Análisis del Corto Plazo	Promedio
23-dic	63	64	50	83	65
05-ene	63	57	0	83	51
12-ene	50	79	0	33	40
Promedio	58	67	17	67	52
Ponderado	10%	20%	40%	30%	
Total Ponderado	46				

4.6.10. Encuesta de percepción de la fase

Como se mencionó, durante la Fase II solo se utiliza la manipulación del modelo 4D durante la revisión del PCP, cuando se revisan las etapas de Análisis de la Semana Anterior y Revisión del Plan de Mediano Plazo se siguen utilizando imágenes, debido a esto son los resultados de la encuesta aplicada de la Figura 4.32:

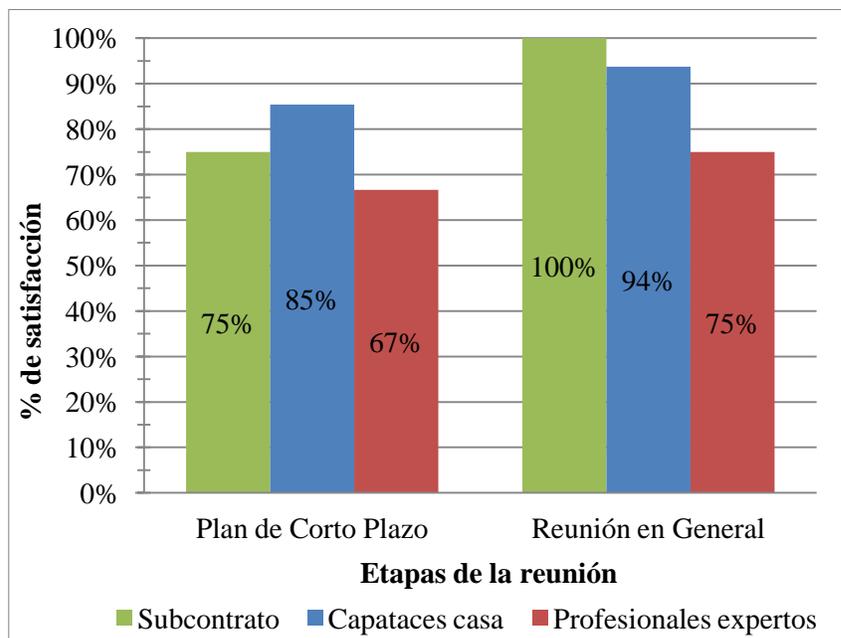


Figura 4.32 % de Satisfacción de modelo 4D según tipo de actor.

Se puede ver que durante la Revisión del PCP el menor nivel de satisfacción es de los profesionales expertos, sin embargo, todos los demás porcentajes están sobre el 70% de satisfacción, lo que es considerado bueno, tanto para los capataces de la casa como los subcontratos.

Por lo tanto el nivel de satisfacción de la Fase II con el uso del modelo 4D es bueno para todos los participantes de la reunión.

4.7. Fase III - Proyecto IV: Las Lilas II

Durante la Fase III se midió durante tres reuniones la planificación y como la utilización de un video 4D ayuda en la comprensión del plan a ejecutar.

4.7.1. Modelo 3D + Carta Gantt

Durante la Fase III, al igual que las Fases anteriores, se sigue utilizando el mismo modelo 3D y Carta Gantt de la Fase anterior, y debido a que la vinculación de los objetos 3D y actividades está hecha. En esta etapa hay mayores modificaciones del modelo y la Gantt, aparte de actualizar la programación directamente del modelo 4D para ser mostrado durante las reuniones de planificación.

4.7.2. Criterio de uso de video 4D

El criterio de uso del video 4D posee los mismos colores convenidos del punto 4.4.2 de la Fase I y II, los cuales son:

Para elevaciones y losas:

- Amarillo con transparencia de 70% para el hormigonado inicializado y gris para el hormigonado terminado.
- Rojo con transparencia de 70% para el moldaje inicializado y rojo para el hormigonado terminado.
- Verde con transparencia de 70% para la enfierradura inicializada y verde para el hormigonado terminado.
- Morado con transparencia de 70% para la excavación inicializada y Morado para la excavación terminada.
- Ejes color anaranjado.
- Fondo color blanco.

Además en la visualización del video se ocupan dos vistas para mostrar el modelo: una vista en planta donde los U.P. se ubican más, debido a que es la forma en que leen los planos, y una vista en perspectiva para que ver como es la forma del elemento que deben ejecutar. En la Figura 4.33 se muestra como se visualiza el video en la reunión, donde se puede ver que para el día martes 08 se estará excavando algunas fundaciones (color morado) mientras se enfierran elevaciones (color verde), además debido a los ejes que posee el modelo pueden saber exactamente donde se encuentran dichos elementos a ejecutar.

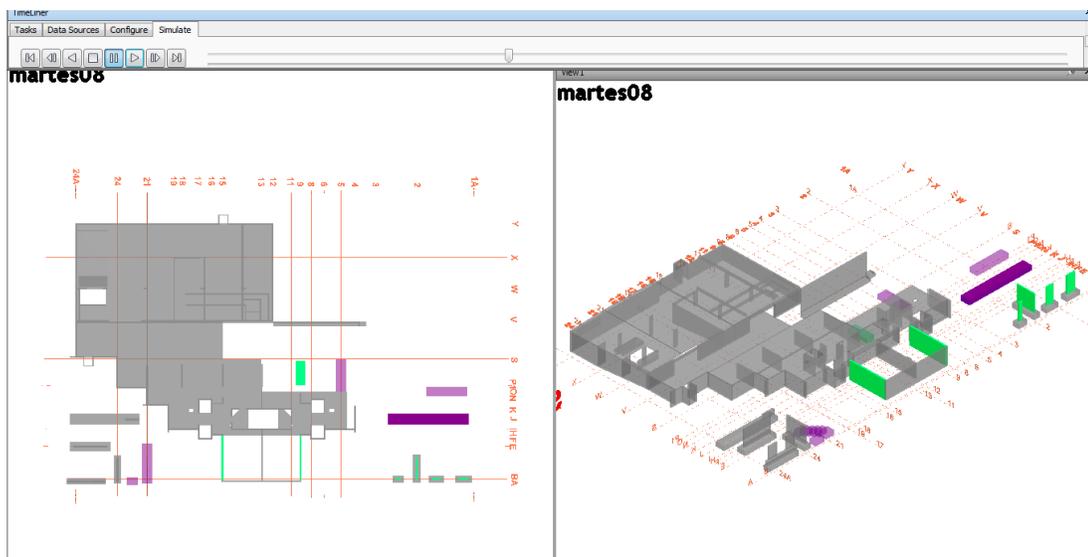


Figura 4.33 Visualización de video 4D durante las reuniones de planificación, con dos vistas: una en planta y la otra en perspectiva, mostradas simultáneamente.

4.7.3. Reunión Previa

Al igual que la Fase II, durante la última Fase la investigadora asiste unas horas antes de la realización de la reunión de planificación para preparar el modelo de acuerdo a la retroalimentación del Jefe de Terreno de las actividades a ejecutar. De acuerdo a esta revisión se prepara el video del modelo 4D para ser mostrado durante las reuniones de planificación.

4.7.4. Elaboración de video

Esta se realiza en Navisworks de tal manera que se tenga una escala temporal en la cual se entienda lo que se debe ejecutar a medida que el video avanza, de acuerdo a los sectores específicos de la planificación, con el fin de que sea entendido por cada U.P.

4.7.5. Revisión del video

La revisión del modelo la realiza el Jefe de Terreno, quien lo hace antes de comenzar la reunión, si el video no cumple con el programa que se debe mostrar se modifica de acuerdo al plan, sino está listo para ser presentado en la reunión.

4.7.6. Preparación de la reunión

Durante la Fase III, la preparación del video 4D se hace a partir del modelo 4D creado, agregando una vista adicional (en planta). Este video se muestra directamente de Navisworks, pero a diferencia de la Fase anterior, acá no hay posibilidad de hacer zoom o navegar por el modelo, solamente se puede pausar, retroceder o adelantar.

4.7.7. Reunión de planificación

a) Aspectos generales de la reunión de planificación

De los resultados de la Tabla 4.16, se puede ver que los aspectos de forma de la reunión son regulares, debido a que las personas no llegan a tiempo a la reunión perdiéndose de instrucciones e información entregada, además durante la Fase III no se revisan todas las etapas necesarias del Sistema Last Planner.

Tabla 4.16 Aspectos Generales de cada una de las etapas de la reunión de planificación.

Fecha	Cuantitativo			Cuantitativo subjetivo				
	Duración de la reunión	% de personas sin atraso	% Asistencia	Tiempo	Puntualidad	Asistencia	¿Se tiene las etapas bien marcadas durante la reunión?	Promedio
23-abr	0:41:00	36%	73%	100	0	50	50	50
07-may	0:50:00	64%	73%	100	50	50	50	63
14-may	0:40:00	100%	100%	100	100	100	50	88

b) Revisión de la situación pasada

La revisión de la semana anterior se muestra en la Tabla 4.17. Se puede ver que en general se realiza de manera óptima, utilizando el tiempo necesario en la etapa, dando a conocer los indicadores necesarios, sin embargo, cada U.P. no da cuenta del trabajo realizado, sino que se revisa de manera global. Cabe destacar que como se mencionó anteriormente durante esta etapa de la reunión se sigue mostrando una imagen comparativa del modelo 4D y se acude solo una vez a esta imagen durante la reunión de planificación.

Finalmente durante la etpa de Revisión de la situación pasada para la Fase III, la tendencia del PPC es a subir hasta llegar a un PPC del 100%, lo cual es muy bueno, ya que se verifica feacientemente una mejora en la planificación como se ve en la Figura 4.34.

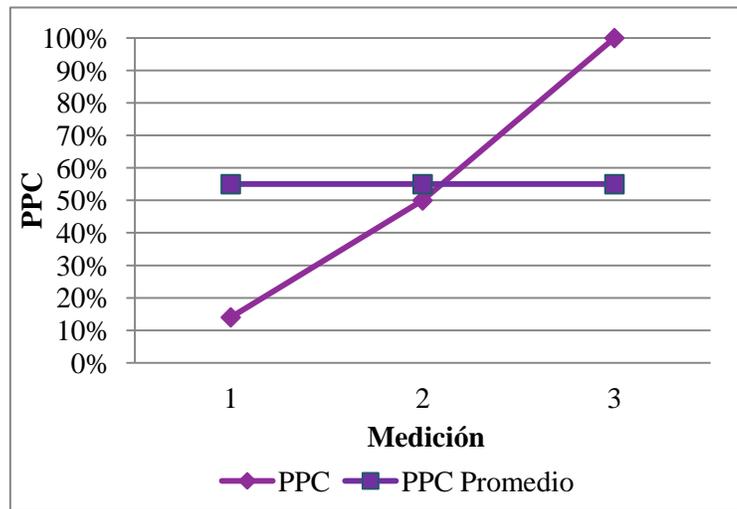


Figura 4.34 Tendencia del PPC durante la Fase III.

c) Revisión del Plan de Mediano Plazo

Durante esta fase no se revisa el Plan de Mediano Plazo durante la reunión, pero constantemente los profesionales expertos encargados de tomar las decisiones: Jefe de Terreno, Jefe de Obra y Administrador, estudian la factibilidad de como se ejecutará el PMP. Este no se muestra en la reunión, ya que no lo tienen totalmente claro como para discutirlo con los U.P.

d) Revisión del Plan de Corto Plazo

La revisión del plan a ejecutar de la semana siguiente se realiza mostrando día a día un video del proceso constructivo, que como se mencionó anteriormente se muestran dos vistas del modelo para que los U.P se ubiquen con una vista en planta que es la que usualmente utilizan para visualizar los planos del proyecto agregada a la vista en perspectiva.

Durante esta fase no se hace un acercamiento a sectores que se tengan dudas, como lo es el caso de la Fase II, sino que se trata de un video al cual se le pueden hacer pausas, adelantar o retroceder cuando sea conveniente. En la Figura 4.35 se muestra la forma en que es dado a conocer el plan semanal, utilizando el video del modelo 4D durante las reunión de planificación.

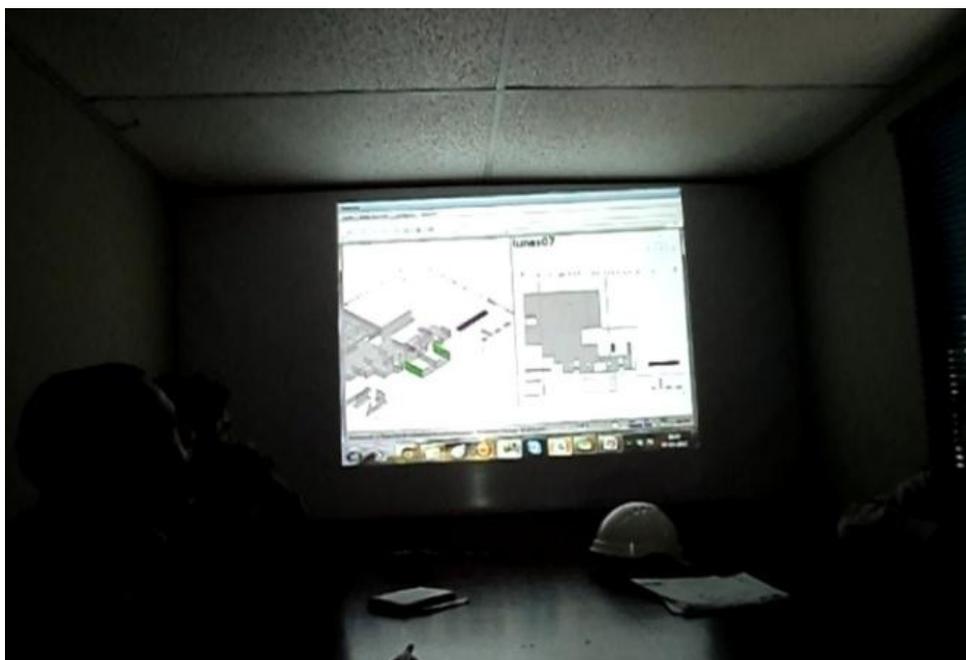


Figura 4.35 Revisión del modelo 4D del Plan de Corto Plazo.

En la Tabla 4.17 se ven los resultados de la etapa, donde se nota claramente que el mayor tiempo de la reunión está enfocado en la revisión del corto plazo. Esta etapa se realiza de buena manera a excepción del tiempo, el cual es notablemente superior a las recomendaciones de Sabbatino (2011). Considerando que no se revisa el PMP y las reuniones son más cortas de lo usual, hace que la mayor parte de la reunión esté enfocada en esta etapa.

Tabla 4.17 Resultados de la revisión de las etapas de la reunión de planificación.

Etapa	Cuantitativo							Cuantitativo subjetivo									
	Duración de la etapa	% de Tiempo de la Reunión	N° de actividades comprometidas	PPC	N° CNC	Tiempo en mostrar indicadores PPC, CNC, confiabilidad, avances	N° de veces que se acude al modelo 4D	Duración de la etapa	Revisión de compromisos	Detección de CNC	¿Se toman acciones correctivas?	Revisión de Estado de Avance	Análisis del PPC	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance	Revisión y validación del Plan a ejecutar	Revisión de restricciones	Promedio
Revisión Semana Anterior	0:09:00	22%	28	14%	24	0:08:00	1	100	0	100	100	100	100	0	-	-	71
	0:10:00	20%	25	50%	13	0:05:00	1	100	0	100	100	100	100	100	-	-	86
	0:10:00	25%	20	100%	0	0:05:00	1	100	0	100	100	100	100	100	-	-	86

Etapa	Cuantitativo							Cuantitativo subjetivo									
	Duración de la etapa	% de Tiempo de la Reunión	N° de actividades comprometidas	PPC	N° CNC	Tiempo en mostrar indicadores PPC, CNC, confiabilidad, avances	N° de veces que se acude al modelo 4D	Duración de la etapa	Revisión de compromisos	Detección de CNC	¿Se toman acciones correctivas?	Revisión de Estado de Avance	Análisis del PPC	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance	Revisión y validación del Plan a ejecutar	Revisión de restricciones	Promedio
Revisión PMP	0:00:00	0%	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0
	0:00:00	0%	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0
	0:00:00	0%	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Revisión PCP	0:32:00	78%	-	-	-	-	20	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:40:00	80%	-	-	-	-	15	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83
	0:30:00	75%	-	-	-	-	15	50	-	-	-	-	-	-	100	100	83

4.7.8. Post Reunión

En la Fase III, se entregan los mismos documentos de las Fases anteriores: impresión del Plan de Corto Plazo a ejecutar, con un diagrama en planta de los sectores según el ciclo de hormigonado que se vaya a trabajar. Finalmente durante todas las Fases de medición no existe un panel donde se muestren los indicadores de avance de la obra.

4.7.9. Análisis de resultados

En resumen la Tabla 4.18 muestra los resultados de la Fase III, donde se nota claramente que si bien la revisión de la situación pasada y el plan a ejecutar para la próxima semana (PCP) se realizan de buena forma, en los aspectos generales de la reunión esta puntuación disminuye, además el hecho de que no se revise el PMP hace que el promedio ponderado de la Fase sea muy inferior a lo esperado.

Finalmente el indicador de la planificación obtenido según el puntaje resultante es deficiente:

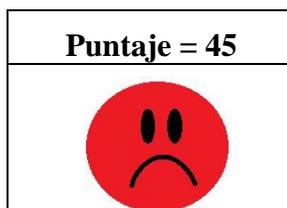


Tabla 4.18 Resultados Generales de cada etapa de la reunión de planificación

Fecha	Aspectos Generales de la Reunión de Planificación	Análisis de la semana anterior	Análisis del Mediano Plazo	Análisis del Corto Plazo	Promedio
23-dic	50	71	0	67	47
05-ene	63	86	0	67	54
12-ene	88	86	0	83	64
Promedio	67	81	0	72	55
Ponderado	10%	20%	40%	30%	
Total Ponderado	45				

4.7.10. Encuesta de percepción de la fase

Según los resultados de la Figura 4.36, de la Fase I: Satisfacción del uso de imágenes durante la reunión de planificación, se puede ver que dentro de las etapas el nivel de satisfacción va decreciendo, pero todos sobre el 75%, lo que muestra resultados satisfactorios y muy satisfactorios de las imágenes mostradas durante la reunión. Para las fases II y III solamente se mide en la revisión del corto plazo, donde dentro de esta etapa el mayor nivel de satisfacción alcanzado es con la Fase III. Para la reunión en general la Fase II es la que posee un mayor %.

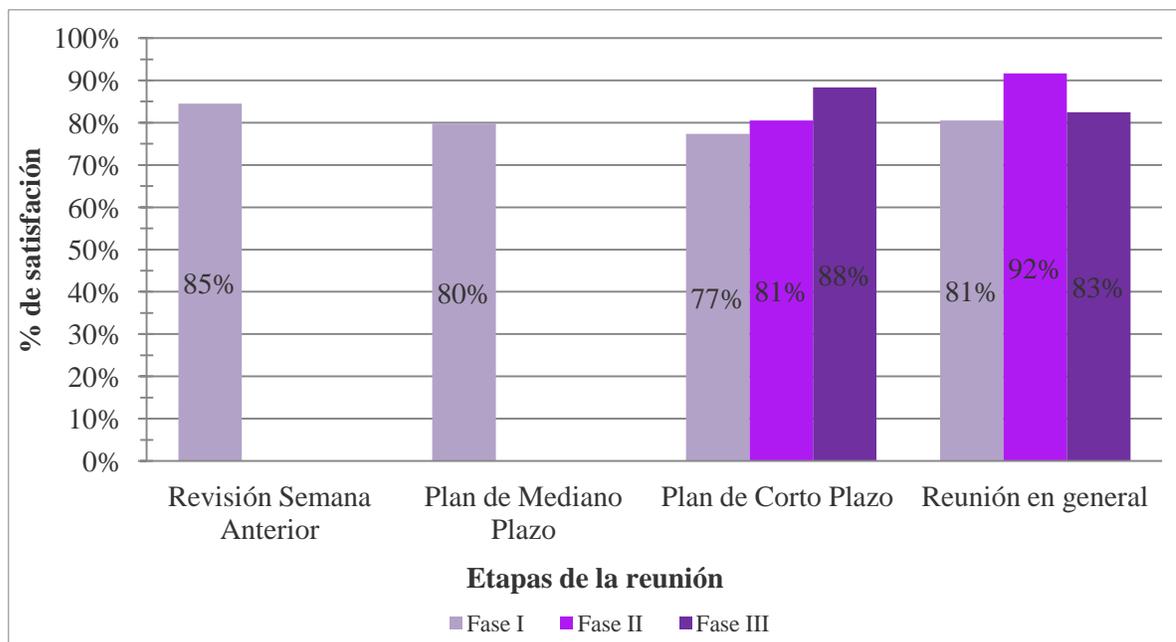


Figura 4.36 % de Satisfacción Fases I, II Y III.

Según tipo de actor se nota claramente en la Figura 4.37 que la mayor satisfacción la tienen los capataces de la casa en la utilización de un video 4D durante las reuniones, seguidos por los profesionales expertos como los más satisfechos.

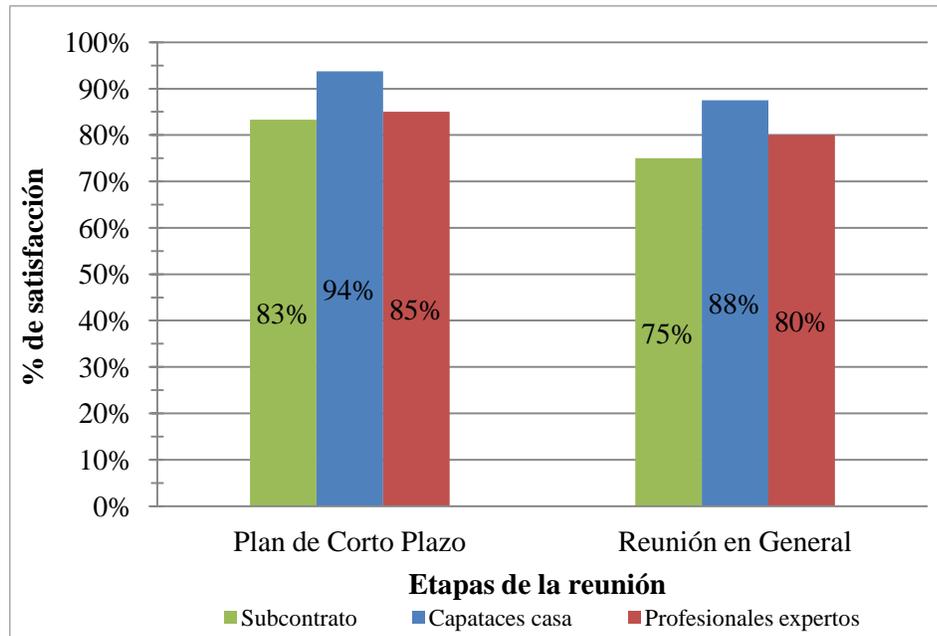


Figura 4.37 % de Satisfacción de videos 4D según tipo de actor.

Ahora analizando las notas que los participantes de las reuniones de planificación colocan a cada una de las Fases I, II y III utilizadas, en la Figura 4.38 se puede ver que en promedio la utilización de un video durante las reuniones es la que mejor calificación posee. Analizando por actor se puede notar que para los capataces de la casa la utilización de imágenes o video posee la misma nota, para el subcontrato todas las fases las evalúa iguales y finalmente para los profesionales expertos la mayor calificación es para el uso de un video 4D, luego utilización de imágenes y finalmente la manipulación del modelo 4D.

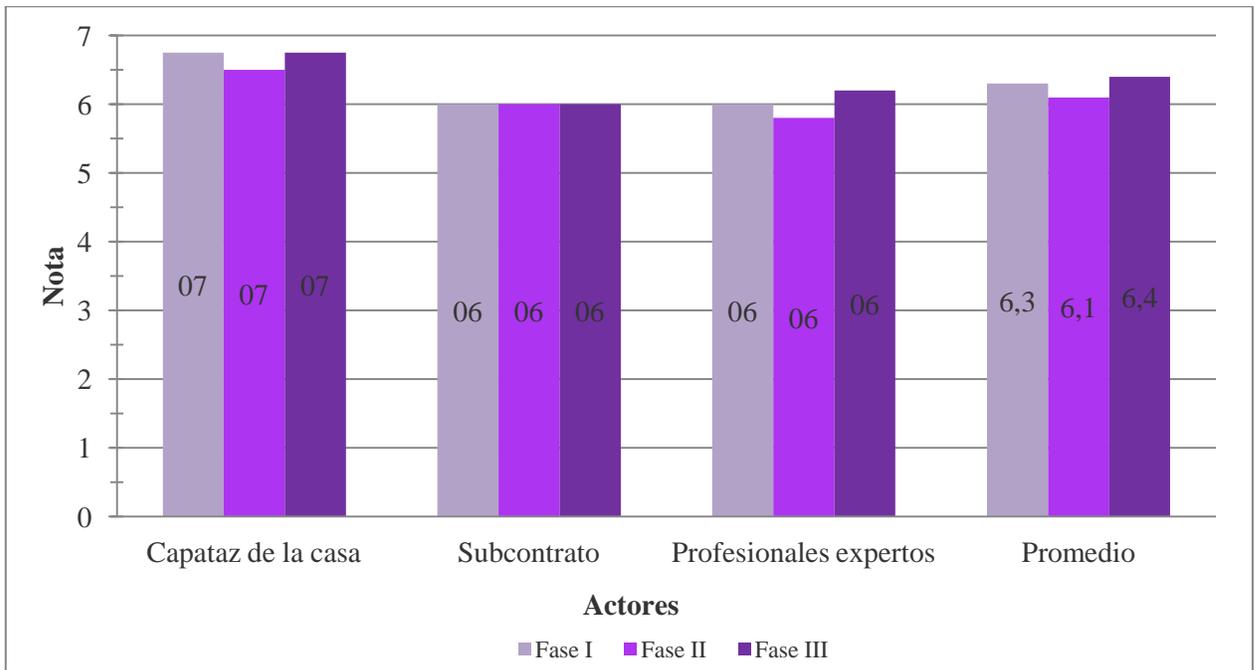


Figura 4.38 Notas de cada fase para proyecto IV.

Preguntado cuál sería la mejor forma de dar a conocer el modelo 4D durante la reunión a los participantes, sus respuestas se muestran en la Figura 4.39, respondiendo: 50% piensa que la mejor forma es mostrando el plan en las tres fases utilizadas en la investigación, un 30% piensa que solamente imágenes sería la mejor manera y finalmente un 20% considera que es utilizando las Fases I y II. Finalmente se puede notar que los participantes de las reuniones consideran que una combinación de las tres Fases mostradas durante la investigación, es una buena manera de dar conocer el modelo 4D de la planificación.

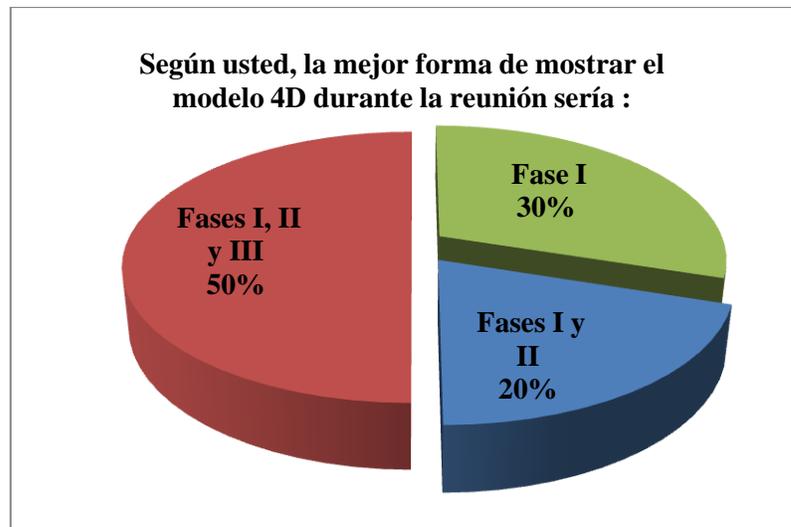


Figura 4.39 Mejor forma de mostrar el programa durante las reuniones según los participantes de la reunión.

4.8. Resumen del capítulo

En el presente capítulo se dieron a conocer las experiencias registradas para dos proyectos que utilizan Last Planner-4D en su planificación. Aplicando tres fases de manipulación de modelos 4D en las reuniones de planificación:

- Fase I : Uso de imágenes del modelo 4D durante las reuniones de planificación.
- Fase II : Manipulación directa del modelo 4D durante las reuniones de planificación.
- Fase III : Uso de videos del modelo 4D durante la reunión de planificación.

Se presenta la metodología utilizada, los datos recopilados y resultados obtenidos en cada una de las fases, tanto para la planificación, incertidumbre y satisfacción del uso de modelos 4D en las reuniones.

CAPÍTULO 5 : COMPARACIÓN DE PROYECTOS

5.1. Introducción al capítulo

En el presente capítulo se presentan los cuatro proyectos estudiados anteriormente, de acuerdo a cada uno de los objetivos planteados en el trabajo. Se analizarán para ver como se comportaron en tres aspectos fundamentales: planificación, incertidumbre y comunicación para luego hacer comparaciones entre los proyectos.

5.2. Análisis de la planificación

Primero que todo es importante considerar que la constructora a cargo de los proyectos I, II y III es la primera vez que utiliza el Sistema Last Planner en su planificación, al contrario de la constructora del proyecto IV que utiliza este sistema hace ya algunos años. Teniendo en consideración lo anterior, se puede tener una idea de cómo fue la planificación de los proyectos en estudio.

Para los proyectos I y II la implementación del sistema de planificación fue muy bueno, ya que evitan todos aquellos problemas mencionados por Ballard y Howell (1994) (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.), la planificación no descansa sobre una sola persona. Pueden lograr lo que en general se busca al implementar la herramienta Last Planner: potenciar el trabajo de equipo real, que todo el equipo coordine y planifique el proyecto en base a la misma experiencia

que van adquiriendo de las problemáticas propias del trabajo en terreno. De esta manera, sienten más cercanía con su trabajo y pueden revertir las típicas CNC y situaciones donde solo es necesaria la anticipación. De este modo, todo el equipo de trabajo coopera en la programación. Se programa tanto para el corto como el mediano plazo, tomando conocimiento de todas las posibles restricciones que afectan la construcción y cumplimiento de los compromisos. Se va midiendo el desempeño obtenido para saber cómo se está a llevando a cabo la programación en el caso de no cumplir los compromisos, medir las CNC para finalmente tomar acciones correctivas. Además, la medición del desempeño tiene como objetivo evaluar la gestión del equipo frente a sus propios compromisos y que finalmente el indicador es flexible en base a que tan comprometidos pueden estar con su propio trabajo. Esto es lo interesante de la metodología, que finalmente el equipo entiende que los proyectos son redes de compromisos y que hay que proteger la producción en base a tomar la importancia de estos.

El proyecto III inicialmente también posee una buena planificación, ya que se utilizan todos los parámetros necesarios para tener una planificación eficiente, sin embargo con el correr del tiempo se dejan de hacer las reuniones de planificación lo que influye en las planificaciones futuras las cuales fueron en descenso, con constantes cambios en la programación y resolución de problemas imprevistos. Durante el proceso se va dejando de implementar la herramienta Last Planner, volviendo a la planificación tradicional que no respeta la red de compromisos ni se anticipa. Esto finalmente da como resultados atrasos por falta de anticipación a sus problemas o más bien, por resolver problemas del presente y tener poca capacidad de visualización de posibles problemáticas a futuro.

Para el proyecto IV el sistema de planificación Last Planner no es completo, dejando de lado la revisión del mediano plazo, que al comienzo de la medición de datos se muestra este plan a los participantes, sin evaluar restricciones sino para mostrar el estado del proyecto a un mes hacia el futuro. Sin embargo, en las fases II y III no se mostró el plan de mediano plazo durante las reuniones.

Según la manera de medir la planificación en los cuatro proyectos, asignando puntajes basándose en el Sistema Last Planner y cada una de las etapas correspondientes al uso de este sistema de planificación, en resumen el promedio del análisis para cada fase de los cuatro proyectos durante las reuniones de planificación, se ve en la siguiente tabla:

Tabla 5.1 Análisis cuantitativo subjetivo promedio.

Proyecto	I	II	III	IV
Fase				
Fase única	82	61	-	-
Fase I	-	-	79	57
Fase II	-	-	79	52
Fase III	-	-	48	55
Promedio	82	61	69	55

Proyecto	I	II	III	IV
Fase				
Indicador de la planificación promedio				

Según los resultados obtenidos anteriormente, se puede ver que en general los proyectos Last Planner se comportaron mejor que los Last Planner-4D. Si bien en un principio el proyecto III también contaba con una buena planificación a lo largo de las fases esta se fue deteriorando, hasta dejar de lado varias etapas de análisis como la revisión de la semana anterior y análisis del Plan de Mediano Plazo, no se revisan las restricciones de esta última y por lo tanto no se toman acciones correctivas al respecto, lo que va provocando que se tomen acciones en el momento perdiéndose el sentido del Sistema Last Planner. Algo similar sucede con el proyecto IV, ya que si bien ellos llevan algunos años implementando el Sistema Last Planner, se descuida el mediano plazo, sin mostrarlo durante las reuniones.

De los proyectos observados en los proyectos I y II se nota un compromiso por parte de todo el equipo de trabajo por mejorar la programación, hacer retroalimentaciones al sistema y apoyar la programación, se logra el objetivo de trabajo en conjunto por parte del equipo. La programación de ambos proyectos es bastante detallada y se comparte mostrando la carta Gantt de cada una de las actividades a ejecutar del corto y mediano plazo, de manera que los últimos planificadores estén al tanto de todas las tareas que deben realizar, dependiendo de la especialidad a la que pertenezcan.

Del proyecto III se puede decir que la planificación se realiza de manera más general, abarcando grandes sectores donde analizan las tareas principales de cada actividad, si bien se trata de una etapa de obra gruesa, distinta a los proyectos anteriores que están en la etapa de terminaciones, el modelo 4D es el que se muestra durante la reunión en vez de una carta Gantt, el cual como se revisó en el capítulo anterior está dividido por coladas de hormigonado, lo cual es bastante general si se considera que no todos los elementos de esa colada se van desarrollando de manera simultánea, esto muchas veces es complicado de visualizar de la forma en que se muestra el modelo. Además no se posee una carta Gantt para ir viendo los avances, ni tampoco para hacer un seguimiento, esto influye mucho en el futuro, para ir viendo los avances e ir validando este sistema de planificación, el cual finalmente se deja de realizar volviendo a la planificación convencional donde una persona está a cargo de lo que se debe hacer durante la semana.

Para el proyecto IV la planificación se lleva a cabo más detalladamente que el proyecto III, ya que se tiene una planificación inicial hecha en una Carta Gantt, la cual se va actualizando semana a semana de acuerdo a los avances del proyecto.

El equipo de trabajo en conjunto: jefe de terreno, jefe de obra, oficina técnica y administrador, mejoran la programación, mostrando un modelo 4D más detallado según los ciclos

de hormigonado planteados al inicio de la planificación. Además se muestra un diagrama de los ciclos de hormigonado en planta para ubicar los ciclos que deben trabajar y en qué días, a fin de que se facilite la comprensión del plan, ya que la vista en planta es un símil de la forma en que leen los planos de trabajo a diario.

Como en este caso el sistema Last Planner está más maduro se realizan de manera constante las reuniones de planificación, lo cual es bastante provechoso, allí los U.P. se enteran de cuales han sido sus CNC, las analizan y van tomando acciones correctivas. Si bien se propone una planificación inicial, esta se va modificando semana a semana siguiendo la línea de cumplimiento de ciclos, dando avance a los ciclos programados el cual se va siguiendo mediante porcentajes de avance en la carta Gantt correspondiente.

Si ahora para los proyectos III y IV se considera el N° de veces que se acude al modelo 4D (ver Tabla 5.2), se puede ver que para las Fases del proyecto IV estos números son superiores que el caso del proyecto III, esto se debe a que durante las reuniones del proyecto IV, se revisa una mayor cantidad de actividades debido a que la planificación es más detallada.

La disminución del N° de veces que se acude al modelo 4D del proyecto IV en las Fases II y III, con respecto a la Fase I, es debido a que no se revisa el PMP en las reuniones, haciendo que esta cantidad disminuya.

Tabla 5.2 N° de veces que se acude al modelo 4D durante las reuniones.

Fase \ Proyecto	III	IV
Fase I	50	69
Fase II	48	57
Fase III	41	56
Promedio	46	60

En resumen en cuanto a la planificación con el uso del Sistema Last Planner se debe tener en consideración:

- Este sistema de planificación debe ser interiorizado desde los profesionales a cargo de la obra como administrador, jefe de terreno y jefe de Oficina Técnica hasta los últimos planificadores: capataces, supervisores, subcontratos.
- Se debe velar para que las reuniones se realicen de manera constante y con cada una de las etapas de Last Planner, ya que es la única manera de ver un resultado certero de cómo funciona este sistema de planificación, además que es la manera que pueden ir mejorando la planificación teniendo una constante retroalimentación por parte de todo el equipo de trabajo.

- Una buena forma de tener la responsabilidad de hacer las reuniones semanales es tener un seguimiento del proyecto, enviando indicadores tales como PPC, CNC y estado de avance del proyecto.
- Se deben evaluar concienzudamente el plan propuesto a ejecutar con el fin de analizar las restricciones y si existen los recursos suficientes para lograr lo estipulado en dicho plan, este constante ejercicio debe ir previendo los problemas a futuro para ir tomando acciones correctivas a tiempo.

En cuanto al uso de los modelos 4D en la planificación de los respectivos proyectos III y IV:

- Estos son útiles cuando se utilizan tanto antes como durante las reuniones. Si bien el uso de modelos 4D durante las reuniones para el caso de los proyectos III y IV son muy útiles y esclarecedores cuando los proyectos no son repetitivos, una vez llegado la repetitividad de la obra como sucede en el caso del proyecto III, se pierde interés en el modelo y ya no es tan útil como al principio, ya que los últimos planificadores conocen lo que deben hacer, como ejecutarlo, cuantos recursos y tiempo utilizar en ellos.

Finalmente comparando los proyectos I y II con los proyectos III y IV, se puede ver que no es trivial comparar un proyecto con otro, ya que la metodología, equipos de trabajo, recursos, ubicación y otros factores varían entre uno y otro. Considerando las diferencias de etapas en las que se encuentran los proyectos y otros parámetros no medidos en la investigación tales como: entendimiento del Sistema Last Planner, trabajo en equipo, constancia en realizar las reuniones de planificación y análisis crítico del plan propuesto en las reuniones de planificación, parámetros no medidos en la investigación. Finalmente se puede decir que aquellos proyectos que ocupan Last Planner 4D en su planificación, pueden llegar a tener mejores resultados que aquellos que solo utilizan Last Planner bajo las mismas condiciones de proyecto y equipo de trabajo.

5.3. Análisis de la incertidumbre

Para analizar la incertidumbre de los proyectos en estudio, se prestó atención a los indicadores PPC y CNC con el fin de medir si a medida que se lleva un tiempo aplicación del Sistema Last Planner y más aún los proyectos que utilizan 4D en la visualización del plan a ejecutar, van disminuyendo la incertidumbre en cuanto las tareas que deben realizar, por lo tanto el PPC aumenta y las CNC disminuyen.

Partiendo primero por el análisis del PPC para ver que tan confiables son los compromisos a la hora de planificar, como se aprecia en la Tabla 5.3:

Tabla 5.3 PPC promedio y análisis subjetivo de la planificación para cada fase de los proyectos.

Fase \ Proyecto	I	II	III	IV
	Fase única	66% - 82	54% - 61	-
Fase I	-	-	41% - 79	52% - 57
Fase II	-	-	69% - 79	36% - 52
Fase III	-	-	57% - 48	55% - 55
Promedio	66% - 82	54% - 61	56% - 68	48% - 55

Se puede observar que según el indicador de PPC promedio, para cada una de las fases de los proyectos en estudio, aquellos proyectos que tienen los mayores PPC son el I y III, lo cual coincide con la puntuación promedio obtenida para cada uno de los proyectos al momento de analizar la planificación mediante la implementación en las reuniones de los puntos importantes del Sistema Last Planner. Sin embargo cabe destacar que si bien el indicador del PPC promedio y análisis cuantitativo subjetivo de la planificación promedio coinciden, al ver el detalle de los resultados se puede ver que hay excepciones en algunas fases como por ejemplo en la Fase I del proyecto III, se ve que el PPC es bajo en relación a la puntuación de la planificación, esto se debe a que este proyecto durante esa Fase están recién implementando el Sistema Last Planner teniendo la mayoría de los elementos de este sistema. De modo contrario en la Fase III del mismo proyecto a pesar de que la puntuación de la implementación Last Planner es baja, el PPC es mucho mayor que el caso anterior de la Fase I, esto se debe al aprendizaje del proyecto, ya que en la Fase III se encuentra en la construcción de pisos iguales, disminuyendo levemente la dimensión de la planta, por lo tanto el proyecto es repetitivo, haciendo que el PPC aumente.

Para tener mayor detalle del PPC, en la Tabla 5.4 se puede analizar la cantidad de actividades comprometidas promedio en cada fase.

Tabla 5.4 N° de actividades comprometidas y CNC promedio de cada fase.

Fase \ Proyecto	I		II		III		IV	
	N° Act.	N° CNC						
Fase única	61	20	132	60	-	-	-	-
Fase I	-	-	-	-	21	12	20	10
Fase II	-	-	-	-	14	5	28	18
Fase III	-	-	-	-	9	4	24	12
Promedio	61	20	132	60	15	7	24	14

Como muestra la tabla anterior los proyectos I y II son los que poseen una mayor cantidad de actividades comprometidas, esto es debido a que ambos proyectos se encuentran en la etapa de terminaciones, notar que el proyecto II duplica la cantidad de actividades del proyecto I, por lo tanto se puede decir que por ello el PPC de este proyecto tiende a ser más bajo, entre las principales CNC están la falta de mano de obra para poder realizar las tareas, debido a la ubicación de la obra de difícil acceso.

De la cantidad de actividades comprometidas de los proyectos III y IV, son más comparables en envergadura y etapas en las cuales estos se encuentran, por lo tanto es directo comparar y ver que el WBS (Estructura de división del trabajo) del proyecto IV es más detallado que el proyecto III.

Debido a que la cantidad de actividades de los proyectos III y IV son considerablemente menores que los proyectos I y II, por la etapa en que se encuentran obra gruesa y terminaciones respectivamente, la variación del PPC es mayor, además todas las etapas de obra gruesa son críticas por lo tanto un atraso en una actividad inmediatamente influye en las otras, lo que no ocurre en la etapa de terminaciones, con la cuales se pueden desarrollar actividades simultáneas teniendo avance sin que unas afecten la ejecución de otras.

Finalmente la utilización de Last Planner-4D, puede ayudar a disminuir en mayor medida la incertidumbre que aquellos proyectos que solo utilizan Last Planner, ya que se puede visualizar el plan y esclarecer las tareas que se deben ejecutar, en comparación a aquellos que solo utilizan Last Planner. Aunque el proyecto I Last Planner estudiado, obtuvo los mejores resultados de incertidumbre, esto se debió a una buena implementación del Sistema Last Planner y un buen trabajo en equipo. Finalmente la utilización de Last Planner-4D ayuda a disminuir en gran medida la incertidumbre de los proyectos debido a que se puede visualizar el programa de trabajo que se debe ejecutar. Estos buenos resultados deben ir ligados a un buen trabajo en equipo y correcta utilización del Sistema Last Planner.

5.4. Análisis de la comunicación

El análisis de la comunicación durante la etapa de estudio de los proyectos, se lleva a cabo mediante encuestas de satisfacción que brinda el modelo durante las reuniones de planificación, con resultados en cada una de las fases de los proyectos.

A continuación se muestran los resultados de las encuestas aplicadas al finalizar cada fase, en las reuniones de planificación, las cuales fueron analizadas para cada una de las etapas de la reunión de planificación: Revisión de la Semana Anterior, Plan de Mediano Plazo, Plan de Corto Plazo y Reunión en general. Se construyeron gráficos para visualizar los resultados entre los que se encuentran la comparación entre el uso del Sistema Last Planner Figura 5.1 y las comparaciones de las Fases I, II y III de los proyectos Last Planner - 4D en la Figura 5.2.

En la Figura 5.1 muestra la comparación entre los proyectos I y II, donde se puede ver que el nivel de satisfacción obtenido por la Revisión de la Semana Anterior es mayor para el

proyecto I, sin embargo, en las siguientes etapas de la reunión de planificación: PCP y PMP, para proyecto II el nivel de satisfacción es mayor. Esto se debe básicamente a que los subcontratos no responden la encuesta de satisfacción para el caso del Proyecto II, lo que hace haya subido este porcentaje, ya que para los subcontratos no les es conveniente estar dentro de un sistema de planificación donde se deben asumir compromisos y cumplirlos a tiempo, para que se cumplan las metas programadas realizar, ya que muchas veces no se tiene un incentivo real de cumplirlos a tiempo, debido a que son empresas externas.

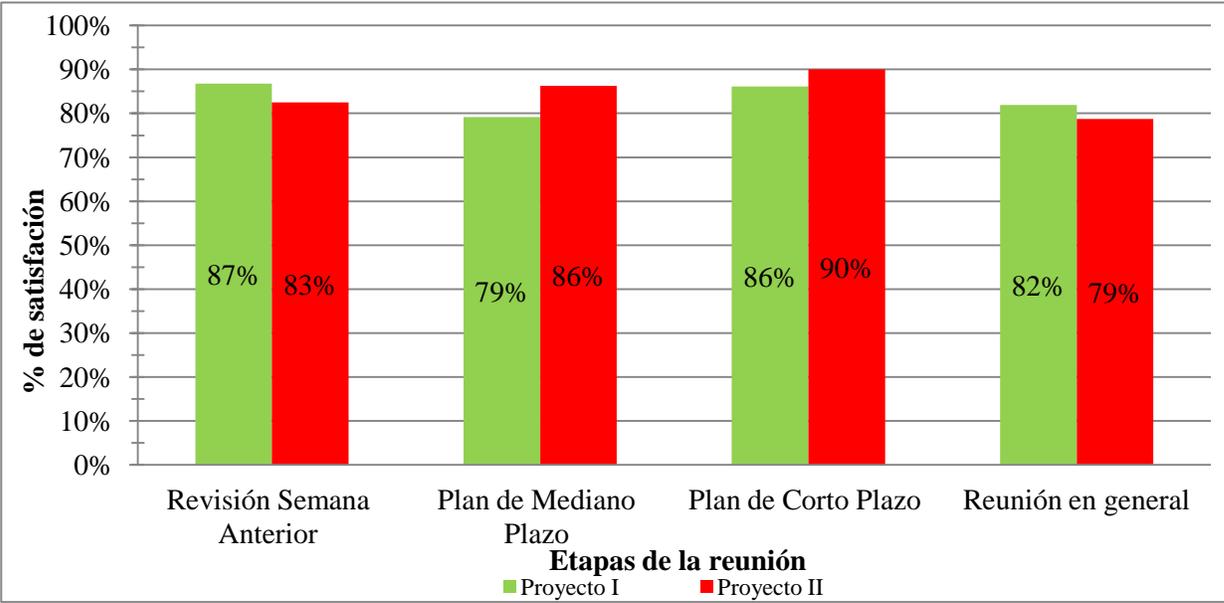


Figura 5.1 % de satisfacción de los proyectos I y II con el uso de Last Planner.

Comparando los proyectos III y IV, para la Fase I: Uso de imágenes, se puede ver que el porcentaje de satisfacción del Proyecto III para cada una de las etapas de la reunión es mayor, exceptuando la Revisión de la Semana Anterior donde el porcentaje de satisfacción del proyecto IV es superior. En general, para cada una de las etapas de la reunión los porcentajes de satisfacción del uso del modelo 4D es mayor en el Proyecto III. Esto último se puede deber a que en el proyecto IV antes de la utilización del modelo 4D se utiliza una metodología de imágenes en planta por ciclos de hormigonado, por ello el uso del modelo 4D en sus tres fases complementa dicha visualización, caso que no ocurre para el proyecto III, donde antes del modelo 4D no se utiliza ninguna forma visual del programa a ejecutar en la reunión.

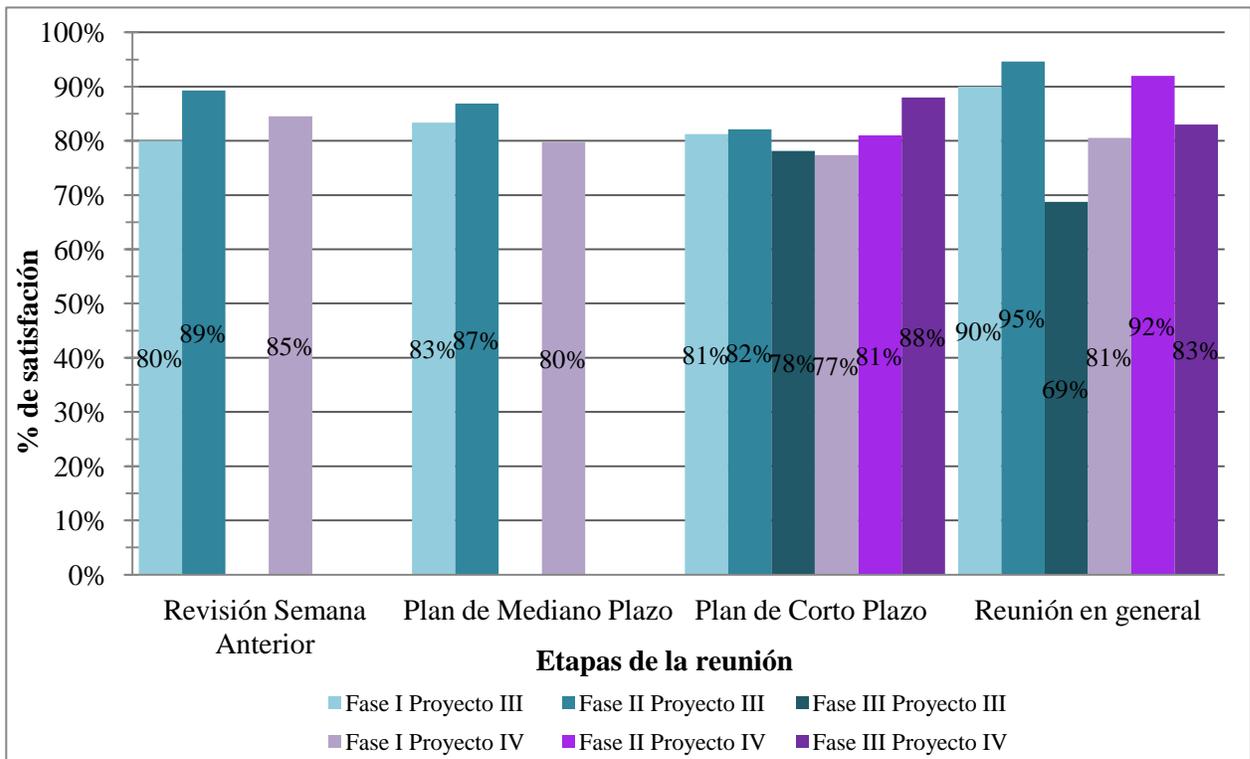


Figura 5.2 % de satisfacción de los proyectos III y IV.

Cabe destacar que las imágenes y manipulación del modelo utilizado en el proyecto III, es mediante el software Revit Architecture, debido a que es la herramienta que maneja el que actualiza el modelo en la obra (Jefe de Oficina Técnica), por ello los resultados de mayor satisfacción del uso de la Fase II en las reuniones, ya que encuentran que es la manera más simple de ir a la reunión sin estar preparando imágenes, sino mostrar directamente el modelo.

Por facilidad en la manipulación del modelo y buscando como fin la visualización del programa, es más conveniente el uso de Navisworks, ya que es un programa hecho para la visualización y detección de interferencias. Si bien durante el proyecto III se utiliza Revit para visualizar el programa en la Fase II, esto es realizado de esta forma ya que la visualización de la planificación es muy general mostrando coladas de hormigonado por semana que se ejecutan sin poder mostrar el elemento específico en el cual se trabajaría día a día del plan semanal, además como también se utiliza Revit en las cubicaciones del hormigón, moldaje y enfierradura, en las reuniones algunas veces se pudo estimar rápidamente las dimensiones de algún elemento, para estimar la cantidad de mano de obra y materiales necesarios para realizarlo. Sin embargo el modelo requiere una demanda de hardware muy alto de acuerdo a la complejidad del proyecto, por ello en caso de ocupar Revit se necesita un buen computador. Para el caso de Navisworks se trata de un programa con una demanda de hardware bajo, que en cualquier computador con características normales puede ser visualizado.

5.5. Recomendaciones de generación de modelo 4D

A continuación, se dan recomendaciones de generación del modelo 4D, de acuerdo a las experiencias obtenidas en los proyectos estudiados. Estas recomendaciones se hacen para Navisworks, que es el software considerado óptimo para generar este tipo de modelos.

- Es fundamental para la actualización del modelo 4D tener clara la estrategia constructiva del proyecto, para que ante cambios en la visualización no sea necesario hacer cambios continuamente al modelo 3D, lo que significará unir constantemente estos nuevos elementos del modelo 3D a la Carta Gantt, a menos que se trate de cambios que se pueda tratar como la construcción de un elemento como la unión de elementos que ya pertenecen al modelo.
- Debe existir un programa de construcción clara que pueda ser ligada al modelo 3D.
- El modelo 3D se debe hacer considerando la estrategia constructiva, esto es tener un PBS, según la programación (WBS) inicial de la obra, de este modo visualizar los problemas de construcción desde el comienzo.
- Se recomienda unir los elementos del modelo 3D a la Carta Gantt de todo el proyecto, para que las modificaciones al programa sean automáticas en el modelo 4D.
- Los colores utilizados en los proyectos estudiados y algunos otros que se han investigado, se han utilizado la convención de colores:
 - Morado con transparencia de 70% para la excavación inicializada y morado para la excavación terminada.
 - Rojo con transparencia de 70% para elemento en proceso de colocación de moldaje y rojo para elemento con moldaje terminado.
 - Verde con transparencia de 70% para elemento en proceso de colocación de enfierradura y verde para elemento enfierrado.
 - Amarillo con transparencia de 70% para inicializado el hormigonado para elemento hormigonado anteriormente y gris para elemento hormigonado.
 - Ejes color anaranjado.
 - Fondo del modelo color blanco.
- Se debe definir el ángulo del cual se mirará el proyecto.
- No utilizar muchos colores, ya que produce un exceso de información que no se logra retener durante la reunión.
- Mostrar calendario junto a la animación.
- Escalonar plantas, en el caso de edificaciones de varios pisos, para tener mayor visibilidad de las áreas en las que se trabaja.
- En caso de edificación con muchos pisos, enumerarlos al costado.

5.5.1. Generación de Imágenes 4D

- La utilización de imágenes en la revisión de la Semana Anterior resulta muy efectivo, ya que esta etapa debe realizarse de manera rápida sin perder mucho tiempo durante una etapa pasada, más que nada visualizar las CNC y tomar acciones correctivas de ellas.
- Para el PMP, es conveniente utilizar imágenes semanales, ya que hacer día a día es generar una gran cantidad de imágenes poco efectivas.
- En el PCP, es bueno utilizar una imagen diaria del plan que se tiene propuesto a utilizar, con el fin de que día a día se mire con más detalle que es lo que se debe realizar.

5.5.2. Manipulación del modelo 4D

- La revisión de la Semana Anterior con el modelo no es recomendable, ya que se puede ocupar mucho tiempo revisando el día a día de la semana anterior, perdiendo de vista el enfoque de validar el programa a ejecutar para las siguientes semanas.
- En la revisión del PMP, el modelo puede resultar efectivo al poder acercarse o navegar por el modelo en sectores que se tenga duda.
- Para el PCP, también resulta efectivo al mostrar el día a día y navegar por él.

5.5.3. Generación de video 4D

- El uso de videos durante la revisión de la semana anterior, puede resultar poco efectivo, en esta etapa puede resultar conveniente utilizar una imagen o en la escala de tiempo que se maneja en Navisworks, se puede partir desde el termino de los sectores comprometidos de la semana anterior, evitando perder tiempo en mostrar su construcción completa, ya que esta etapa dentro de la reunión no debe ser a la que se le de mayor importancia.
- Para el Plan de Mediano Plazo: sería ideal mostrar un video detallado del plan a ejecutar, para que cada U.P. tenga claro lo que se debe hacer e ir deteniendo al final de cada semana el video para visualizar si las actividades se pueden realizar en esas fechas, de este modo actualizar la Carta Gantt y generar las restricciones.
- Para el Plan de Corto Plazo una buena forma de visualizarlo es mostrar el video completo de la semana y luego repetirlo e ir deteniendo el video día por día, para entender bien el plan a ejecutar.

5.6. Propuesta de implementación de Last Planner-4D en la construcción

De acuerdo a los resultados analizados de los proyectos estudiados, se puede plantear una metodología de aplicación del Sistema Last Planner en conjunto con la modelación 4D. Cabe destacar que la propuesta que se hace en la Figura 5.3 es solamente tomando en cuenta la etapa de obra gruesa de edificaciones.

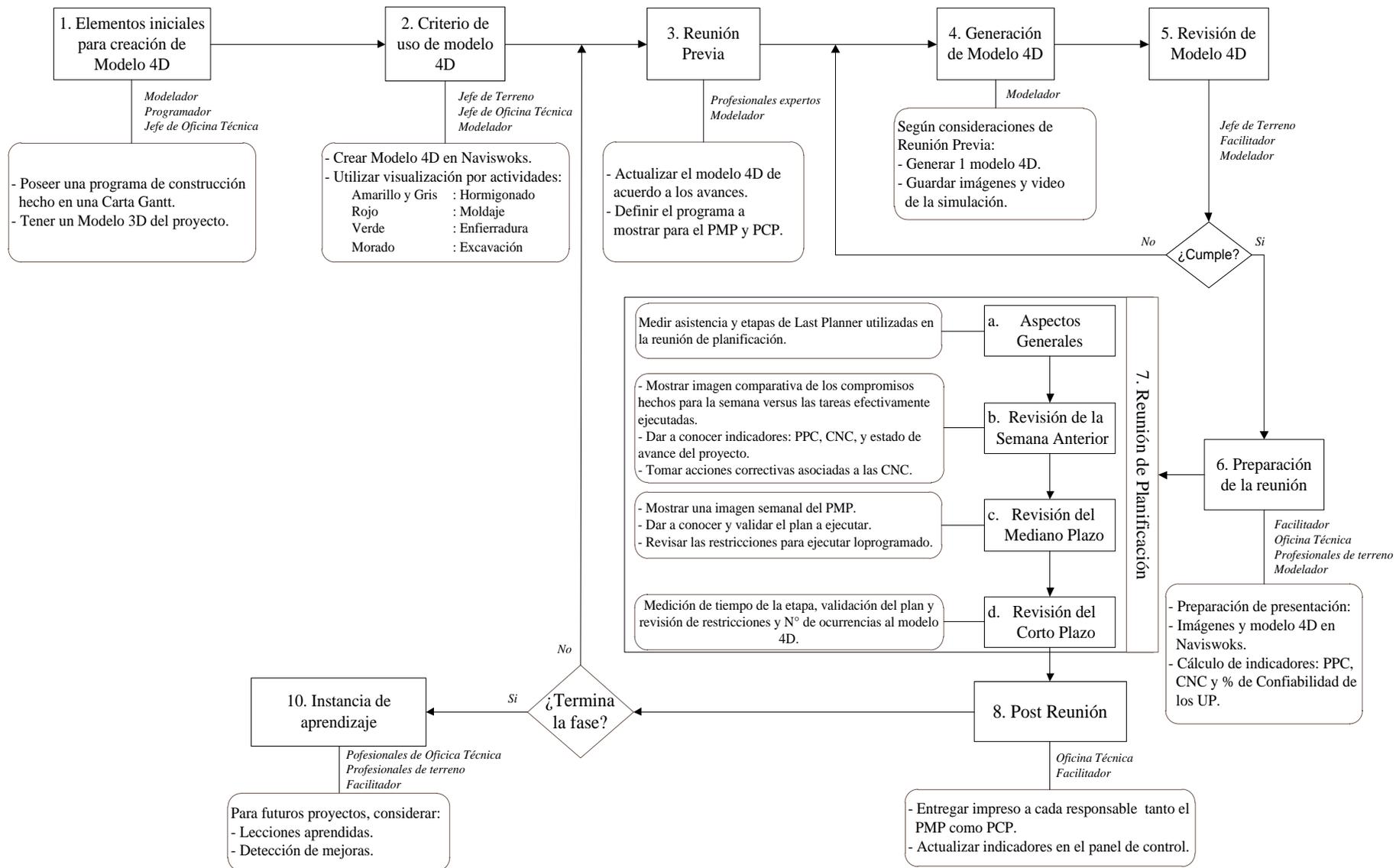


Figura 5.3 Propuesta de implementación del Sistema Last Planner-4D.

1. Elementos iniciales para creación de modelo 4D: Se debe contar con la programación de la obra hecha en una Carta Gantt y el modelo 3D del proyecto, con estos dos elementos es posible generar el modelo 4D.

Para el modelo 4D se recomienda el uso del software Naviswoks, el cual es un programa liviano y de fácil manipulación para ser utilizado en computadores con procesadores comunes. Primero que todo para elaborar el modelo 4D es necesario contar con dos pasos previos para lograr un buen modelo:

- 1) Tener clara la estrategia constructiva del proyecto al momento de realizar la Carta Gantt, para que ante cambios la visualización no sea necesario hacer cambios tan abruptos al modelo 3D, perdiendo tiempo en unir nuevos elementos entre el modelo 4D y la Carta Gantt.
- 2) El modelo 3D se debe hacer considerando la estrategia constructiva, esto es, teniendo los mismos cortes y conjuntos de elementos (PBS) delimitados de acuerdo a la planificación (WBS). Es conveniente pintar el modelo 3D de un color diferente para cada uno de los conjuntos, ciclos, coladas o la convención utilizada de planificación, con el fin de que al momento de unirlo a la Gantt, los elementos de un mismo color correspondan al mismo paquete o conjunto de actividades de la planificación (ver Figura 5.4). Este modelo 3D se puede exportar a Navisworks en formato DWF/ FWFx conservando los colores.

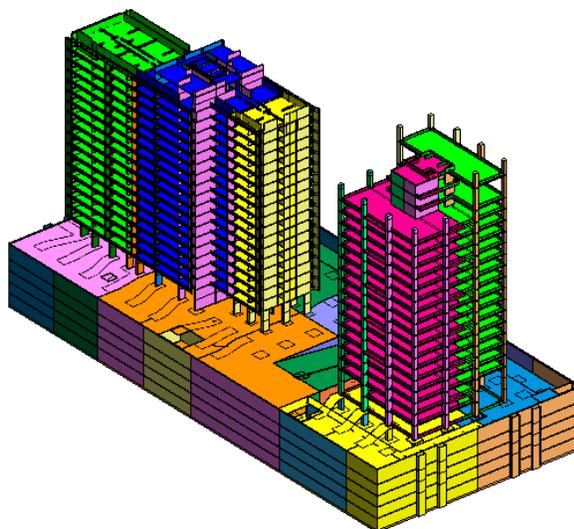


Figura 5.4 Ejemplo de uso de de colores al exportar modelo de Revit a Navisworks.

Al momento de unir la Carta Gantt con el modelo 3D es conveniente visualizar desde un comienzo la estrategia constructiva propuesta, con el fin de prever inmediatamente problemas de constructibilidad que se puedan generar, y que el modelo 4D logra mostrar.

Si los puntos 1) y 2) del proyecto se realizan de manera correcta unir las actividades de la Gantt con los elementos del modelo 3D no debe demorar más de un día de trabajo, para luego ir haciendo las actualizaciones semana a semana en las cuales no deben durar más allá de 1 hora.

El modelo 3D puede ser mandado a realizar a una oficina de arquitectura una vez que la planificación de la obra esté definida.

2. Criterio de uso del modelo 4D: Los profesionales tomadores de decisiones dentro de la obra como el Jefe de Terreno, Jefe de Oficina Técnica, el Modelador encargado de preparar y actualizar el modelo y facilitador deben reunirse para aunar criterio de cómo desean mostrar el plan a ejecutar.

La visualización recomendada según la experiencia adquirida en los proyectos en estudio es una visualización por actividades.

Visualización por actividades: a cada actividad a ejecutar se le asigna un color diferente. Las actividades consideradas colocar son: excavación de fundaciones si es que están modeladas, moldaje, enfierradura y hormigonado. Agregar una gran cantidad de actividades extras resulta mucha información que confunde a los U.P. y no aporta mayor información.

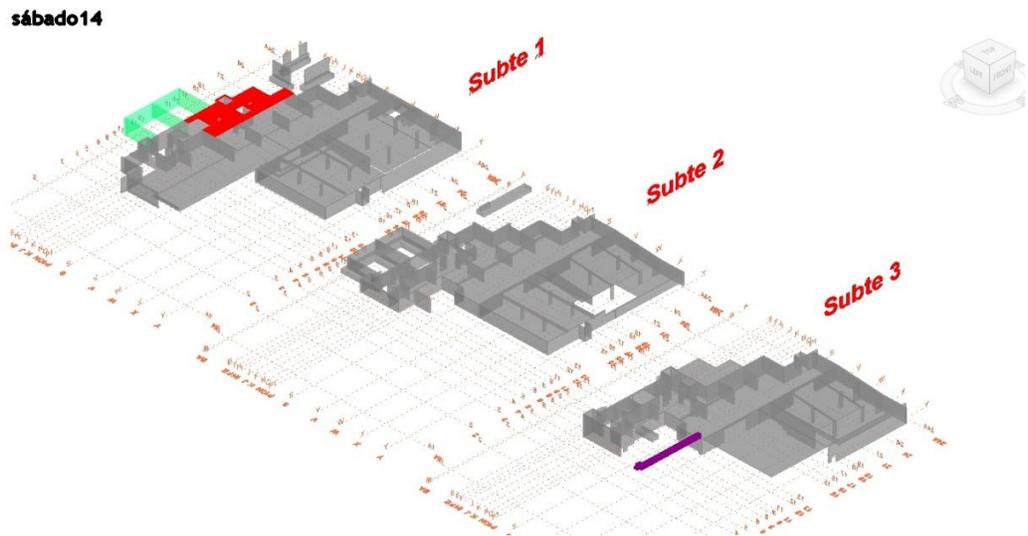


Figura 5.5 Ejemplo de visualización por actividades del programa a ejecutar en Naviswoks.

Una asignación de colores conveniente para cada una de las actividades mencionadas es:

	Amarillo con transparencia de 70% para inicializado el hormigonado y gris para el hormigonado terminado.
	Rojo con transparencia de 70% para el moldaje inicializado y rojo para el hormigonado terminado.
	Verde con transparencia de 70% para la enfierradura inicializada y verde para el hormigonado terminado.
	Morado con transparencia de 70% para la excavación inicializada y Morado para la excavación terminada.

Finalmente, además se recomienda para lograr una visualización más clara:

- Ejes color anaranjado.
- Fondo del modelo color blanco.
- Se debe definir el ángulo del cual se mirará el proyecto.
- Si se trata de un edificio de muchos pisos conviene escalonar los pisos y colocar etiquetas de los nombres a cada piso.

3. Reunión Previa: Las reuniones previas se deben realizar siempre: un día antes de la reunión de planificación o el mismo día unas horas antes. En esta reunión participan los profesionales expertos, que tienen que ver con la programación de la obra como Oficina Técnica, Jefe de Terreno, Administrador, Jefe de Instalaciones, facilitador y modelador.

Es ideal para esta reunión se haya hecho un catastro de los compromisos planteados en la reunión anterior, de este modo proponer el plan a ejecutar la semana siguiente y del mediano plazo, aquí se debe discutir sobre los problemas que se pueden presentar. Además es conveniente que los indicadores como PPC, CNC, estado de avance del proyecto y porcentaje de confiabilidad de los U.P. estén disponibles para ser discutidos en esta reunión. Si se trabaja en conjunto donde los profesionales de terreno nutren a oficina técnica del avance en terreno, ellos pueden procesar la información y actualizar el plan a ejecutar, el PPC, CNC, estado de avance del proyecto y confiabilidad de los U.P.

El facilitador encargado de guiar la reunión de planificación, debe analizar los datos entregados o calcularlos de acuerdo a lo que se haya dispuesto.

La reunión previa es conveniente que dure alrededor de 1 hora.

4. Actualización del modelo 4D: La actualización del modelo 4D debe realizarse durante la reunión previa con el fin de que se haga simultáneamente con el programa de construcción en la Carta Gantt, de esta forma mientras se analizan los indicadores el modelador tiene tiempo de actualizar el 4D de acuerdo a lo convenido durante la reunión para ser mostrado al final de esta. Si no se alcanza a tener listo al final de la reunión previa una vez terminado el modelo el Jefe de Terreno con el facilitador deben aprobarlo con el fin de que efectivamente se visualice el plan.

La actualización del modelo no debe tomar más de 1 hora.

5. Revisión del modelo: Como se mencionó en el punto anterior, la revisión del modelo debe ser hecha por el Jefe de Terreno y el facilitador para corroborar que el modelo sea compatible con lo acordado en la reunión previa.

6. Preparación de la reunión: La preparación de la reunión debe ser hecha por el facilitador, quien es el encargado de recopilar la información que las distintas áreas de trabajo le provean para ser mostrada. Debe ordenar la reunión de acuerdo a los siguientes puntos:

- 1) Análisis de la semana anterior: mostrar indicadores PPC, CNC, estado de avance del proyecto, % de confiabilidad de los U.P. y el modelo 4D (en el punto 7 se especifica su visualización).
- 2) Revisión del Plan de Mediano Plazo: mostrar el plan a ejecutar con el modelo 4D (en el punto 7 se especifica su visualización).
- 3) Revisión del Plan de Corto Plazo: mostrar el plan a ejecutar con el modelo 4D (en el punto 7 se especifica su visualización).

7. Reunión de planificación

Para la reunión de planificación es necesario contar con los siguientes puntos (a-d). Teniendo en consideración la revisión de la obra gruesa, esta reunión debe durar entre 1:00 a 1:30 horas, en la cual se deben tratar estrictamente temas de planificación dejando de lado temas técnicos que necesiten una revisión más detallada, que pueden ser resueltos una vez finalizada la reunión.

a. Aspectos Generales de la reunión de planificación: Como parte de concientizar sobre la importancia de la reunión se debe exigir la asistencia de las personas indicadas a continuación: capataces, supervisores, subcontratos, jefe de oficina técnica, jefe de instalaciones, jefe de terreno, jefe de obra, jefe de bodega y administrador. En la reunión es importante llevar la asistencia de los participantes.

b. Revisión de la Semana Anterior: Al comienzo de la etapa es conveniente mostrar una imagen de lo ocurrido la semana anterior, según los colores de las actividades de excavación, enfierradura, moldaje y hormigonado, que muestre la comparación del plan programado y el plan ejecutado.

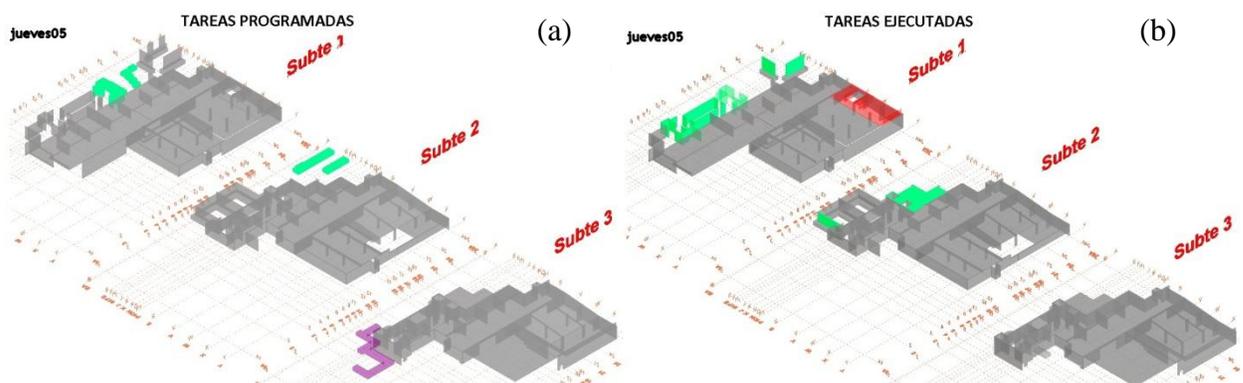


Figura 5.6 Ejemplo de visualización de la revisión de la semana anterior mediante una imagen comparativa de las tareas programadas y las ejecutadas. (a) Imagen de las tareas programadas y comprometidas a realizar. (b) Imagen de las tareas ejecutadas la semana anterior.

Luego cada uno de los U.P., debe rendir ante los demás participantes el cumplimiento de sus actividades, donde solamente se deben mencionar aquellas que no se han cumplido y la CNC correspondiente para buscar la acción correctiva con el fin de no ir repitiendo la misma CNC a lo largo del proyecto.

Una vez terminada la revisión de las tareas de cada U.P. se muestran los indicadores: PPC, CNC, estado de avance del proyecto y % de confiabilidad de los U.P.

Esta etapa debe durar alrededor de 20 a 25% del tiempo de la reunión.

c. Revisión del Mediano Plazo: Para la revisión del PMP, es conveniente que se muestre el modelo 4D principalmente como imágenes semana a semana, ya que de esta forma se puede detener a mirar cuales son las tareas a realizar de acuerdo a la elección de visualización acordada en el criterio de uso del modelo 4D (ítem 2). Durante esta etapa los U.P. deben validar el plan que se propone identificando las restricciones que se puedan tener para ejecutarlo. Las restricciones deben ser anotadas y consideradas en la generación del plan para las siguientes semanas.

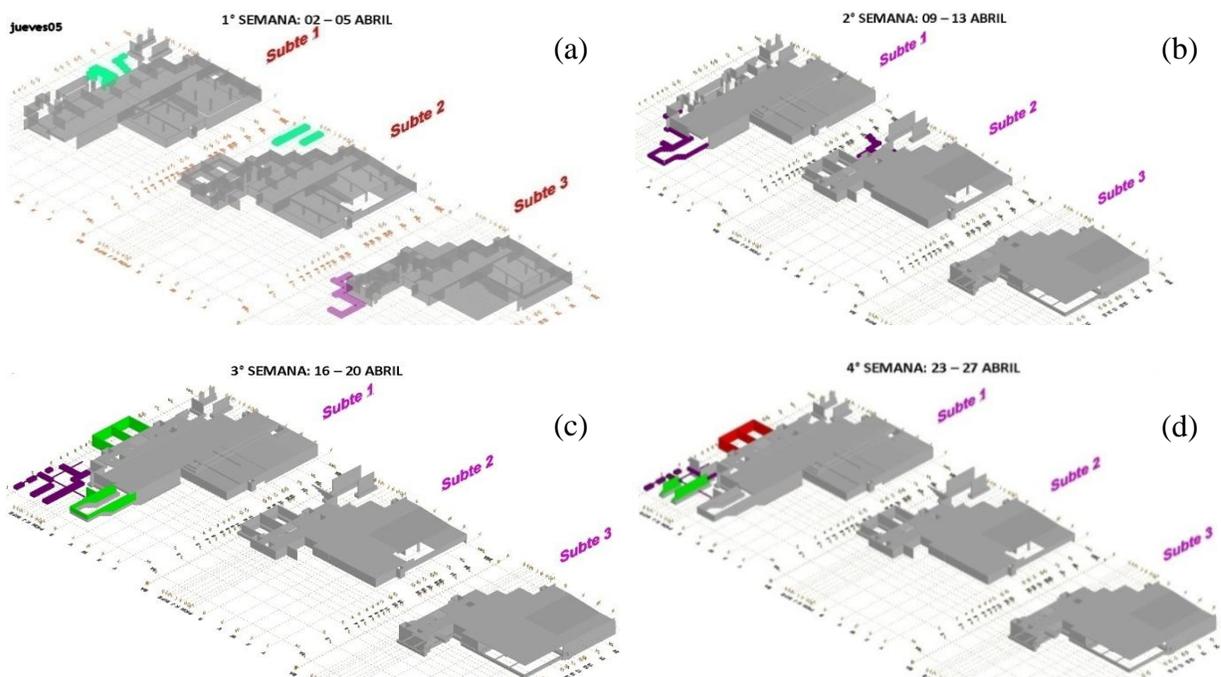


Figura 5.7 Ejemplo de representación del PMP, con una imagen semanal del programa de construcción. (a) Programa de construcción para la primera semana del plan programado. (b)-(c) Programa de construcción programado para la segunda y tercera semana del PMP. (d) Representación del la cuarta semana del PMP.

d. Revisión del Corto Plazo: Durante la revisión del PCP, primero se debe mostrar el plan a ejecutar, el cual debe coincidir con la primera semana del PMP mostrado anteriormente. La visualización del modelo 4D recomendada para esta etapa es la utilización un video del

modelo 4D, hacer pausas de cada día y acercarse a los sectores que sean conflictivos, esto es presentar el video 4D, pero en el Time Liner de Navisworks, con el fin de manipularlo, navegar por el modelo, también se puede colocar otra vistas simultáneamente, para revisar tanto en planta como en perspectiva.

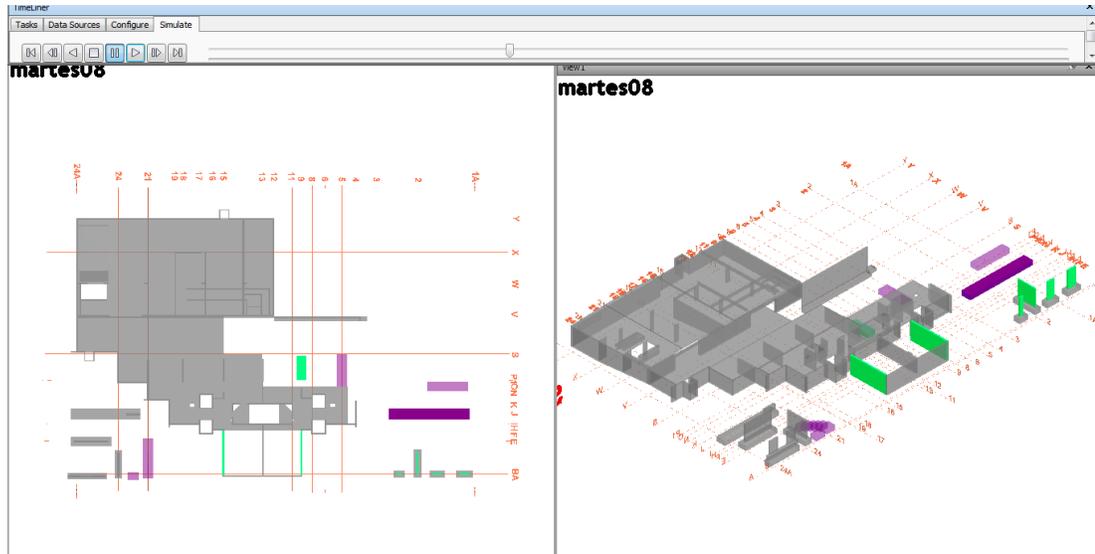


Figura 5.8 Representación del PCP en la reunión de planificación, mediante un video en el Time Liner de Navisworks, incluyendo dos vistas simultáneas en el video: una vista en planta y otra en perspectiva.

Dentro de esta etapa se debe validar el plan mostrado. Cada U.P. debe comprometerse con una fecha de entrega de las actividades del plan de acuerdo a su especialidad y los compromisos deben ser anotados.

8. Post Reunión:

Una vez finalizada la reunión de planificación es necesario entregar a todos los participantes los acuerdos tomados durante esta. Se debe entregar el PCP donde se describa la actividad a realizar con el responsable de ejecutarla, el formato de este documento puede ser un listado de actividades con una imagen que represente las actividades comprometidas a cumplir. Las imágenes que se entregan del PCP, las cuales se generan del modelo en Navisworks al ir pausándolo al final de cada día de programa. También es conveniente entregar el PMP en una hoja con las cuatro imágenes y junto a cada imagen dejar un espacio para que los participantes de la reunión puedan identificar las restricciones al plan, que no se lograron identificar durante la reunión de planificación (Ver Figura 5.9).

Es recomendable poseer un mural visible para todos los trabajadores de la obra, donde se indique el PPC, CNC, estado de avance de la obra y % de confiabilidad de los U.P. con el fin de que todos estén al tanto del estado del proyecto como se ve en la Figura 5.11.

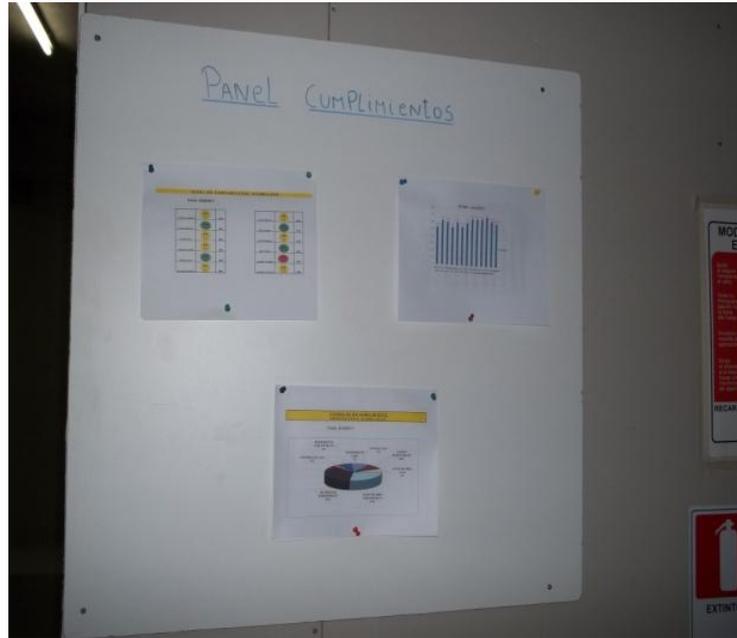


Figura 5.11: Diario mural con los cumplimientos obtenidos en la planificación de la obra, indicando el PPC obtenido semanalmente, CNC acumuladas obtenidas regularmente y porcentaje de confiabilidad de los participantes de la reunión de planificación.

5.7. Resumen del capítulo

En el presente capítulo se comparó los cuatro proyectos en estudio en tres áreas: planificación, incertidumbre y comunicación. Además se propuso una metodología de aplicación del Sistema Last Planner en conjunto con la modelación 4D, donde finalmente se dan recomendaciones del uso de imágenes, manipulación del modelo y realización de videos 4D.

CAPÍTULO 6 : CONCLUSIONES

6.1. Resultados Obtenidos

Según los resultados de la planificación obtenidos del trabajo de investigación, según el análisis cuantitativo subjetivo de los cuatro proyectos en estudio, los proyectos Last Planner poseen mejores resultados que los Last Planner-4D. Sin embargo, los resultados anteriores no reflejan del todo el tener o no una buena planificación, más bien dicen que dichos proyectos cumplen con una buena, regular o mala implementación del Sistema Last Planner. Para los

proyectos que utilizan Last Planner, una buena planificación y resultados exitosos dependerán además de otros elementos a considerar, tales como:

- Este sistema de planificación debe ser interiorizado desde los profesionales a cargo de la obra como administrador, jefe de terreno y jefe de Oficina Técnica hasta los últimos planificadores: capataces, supervisores, subcontratos.
- Se debe velar para que las reuniones se realicen de manera constante y con cada una de las etapas de Last Planner, ya que es la única manera de ver un resultado certero de cómo funciona este sistema de planificación, además que es la manera que pueden ir mejorando la planificación teniendo una constante retroalimentación por parte de todo el equipo de trabajo.
- Una buena forma de tener la responsabilidad de hacer las reuniones semanales es tener un seguimiento del proyecto, enviando indicadores tales como PPC, CNC y estado de avance del proyecto.
- Se debe evaluar el plan propuesto a ejecutar con el fin de analizar las restricciones y si existen los recursos suficientes para lograr lo estipulado en dicho plan, este constante ejercicio debe ir previendo los problemas a futuro para ir tomando acciones correctivas a tiempo.

Para aquellos proyectos que a su planificación Last Planner agregan el uso de modelos 4D en su visualización, según los resultados obtenidos de los proyectos III y IV, se puede decir que estos son útiles cuando se utilizan tanto antes como durante las reuniones. Si bien el uso de modelos 4D durante las reuniones de planificación en los proyectos III y IV fueron muy útiles y esclarecedores cuando los proyectos no son repetitivos, una vez llegado la repetitividad de la obra como sucede en el caso del proyecto III, se pierde interés en el modelo y ya no es tan útil como al principio, ya que los últimos planificadores conocen lo que deben hacer, como ejecutarlo, cuantos recursos y tiempo utilizar en ellos.

No es trivial comparar la planificación de un proyecto a otro, ya que la metodología, equipos de trabajo, recursos, ubicación y otros factores varían y esto hace que los patrones de medición fluctúen entre uno y otro.

La variación de la incertidumbre de las tareas a realizar en terreno de los dos grupos de proyectos, se obtuvo del análisis del PPC promedio para los proyectos del I-IV, de valores 66%, 54%, 56% y 48% respectivamente, donde los mejores resultados de cumplimiento de compromisos corresponden a los proyectos I y III. Se puede ver que no necesariamente los dos proyectos Last Planner-4D son los que obtuvieron mayor PPC, sino que este indicador está dado por otros factores que son parte de una buena planificación de la obra. Por lo tanto, el uso del modelo 4D ayuda a esclarecer el plan a ejecutar y no es directo su uso con los resultados que se obtengan del PPC.

La comunicación del programa a los actores de los proyectos que utilizan Last Planner versus los que utilizan Last Planner-4D, medida mediante encuestas de satisfacción del uso de las

distintas visualizaciones del plan, tuvo como resultado porcentajes de satisfacción muy buenos para ambos casos, obteniendo porcentajes mayores al 75% para todos los proyectos.

Con respecto a los proyectos III y IV que utilizaron 4D en la visualización de su plan de trabajo, se obtuvo que los porcentajes de satisfacción del uso del modelo 4D para cada una de las etapas de la reunión es mayor en el proyecto III. Esto último se puede deber a que en el proyecto IV, antes de la utilización del modelo 4D se utiliza una metodología de imágenes en planta por ciclos de hormigonado, por ello el uso del modelo 4D en sus tres fases complementa dicha visualización, caso que no ocurre para el proyecto III, donde antes del modelo 4D no se utiliza ninguna forma visual del programa a ejecutar en la reunión.

Finalmente a partir de los resultados obtenidos durante las mediciones hechas en los proyectos se pudo proponer una metodología de aplicación de elementos del Sistema Last Planner en conjunto con la modelación 4D en edificaciones. Esta puede ser de gran ayuda si se poseen los elementos que se describen en las recomendaciones de este trabajo, con el fin de llegar a una programación donde todos participan, las dudas de la ejecución de las tareas disminuye y en caso de no cumplimiento de las tareas comprometidas analizar las CNC para que estas no sean repetidas en el futuro, disminuyendo la incertidumbre, además del uso de los modelos 4D en caso de que los proyectos puede ser de gran ayuda.

En específico la propuesta Last Planner 4D ayuda:

En la planificación, Last Planner en conjunto con la modelación 4D ayuda a prever posibles problemas a futuro, al poder ver el programa e identificar interferencias de tareas, ver el estado de avance del proyecto en el tiempo y de este modo analizar si la futura estrategia constructiva es la correcta de acuerdo a los avances obtenidos y tomar acciones correctivas a tiempo.

En la comunicación el modelo 4D ayuda a visualizar el plan de trabajo propuesto a ejecutar, disminuyendo la incertidumbre y falta de entendimiento de las tareas que se deben ejecutar.

6.2. Comentarios sobre las Hipótesis

Considerando las hipótesis planteadas al inicio de la investigación se puede decir que:

Utilizar Last Planner-4D no necesariamente mejora la planificación, en comparación a los proyectos que utilizan solo Last Planner. Esto es debido a que para lograr una buena planificación, no tan solo hay que tener claro el plan que se debe realizar mediante el modelo 4D, sino que es necesario primero haya un compromiso por parte de todo el equipo de trabajo en utilizar Last Planner, con el fin de prever a tiempo una serie de elementos como recursos de mano de obra, materiales, cancha y otros que impiden que se realice el plan programado.

La incertidumbre evaluada mediante el PPC, está directamente relacionada con la forma como es llevada a cabo la planificación. El PPC promedio medido durante la(s) fase(s) de medición de cada uno de los proyectos estudiados: Proyecto I (66%), Proyecto II (54%), Proyecto III (56%) y Proyecto IV (48%). Estos resultados expresan el cumplimiento de las tareas ejecutadas con respecto a las programadas a realizar, lo cual es el resultado de un trabajo colaborativo entre las distintas especialidades. Si bien el modelo 4D ayuda bastante a esclarecer el plan, y ver las posibles dificultades para realizarlo ayudando a disminuir las CNC, si no existe una planificación colaborativa entre los participantes de los proyectos, y no se trabaja en equipo para lograr el plan programado semanalmente, el modelo 4D solo terminará siendo una herramienta de visualización de la programación, sin lograr notar interferencias y problemas constructivos o dimensionamiento de las actividades.

La comunicación se facilitó utilizando Last Planner en conjunto al modelo 4D. Los actores del proyecto quedaron más claros sobre cuáles son las tareas que debían realizar y las dificultades para ejecutarlas, si bien en las encuestas de satisfacción hechas para los cuatro proyectos, en todos los casos fueron muy satisfactorias, hay que notar que la claridad de las tareas a ejecutar de los proyectos I y II, se debe a la etapa de terminaciones en la cual se encontraban estos proyectos durante la investigación, lo que no ocurre con los proyectos III y IV los cuales se encontraban en la construcción de la obra gruesa, la cual es más compleja debido a la arquitectura y forma de la edificación, por ello los porcentajes de satisfacción de estos últimos proyectos son considerados más relevantes, aunque para los cuatro proyectos se hayan obtenido % de satisfacción promedio muy similares para cada una de las etapas: sobre el 75%.

Finalmente el utilizar Last Planner en conjunto a un modelo 4D, puede ayudar a tener mejores resultados que aquellos proyectos que no utiliza dicho modelo, cuando se trabaja en forma colaborativa para mejorar la planificación, se establecen compromisos alcanzables y existe un compromiso por parte de los participantes por cumplir las actividades a tiempo. Por lo tanto hay que tener en consideración una serie de elementos para que la modelación 4D sea provechosa, además de semana a semana detenerse a mirar el modelo y una vez hechos los compromisos ingresarlos al modelo, evaluarlos, analizarlos y de este modo ir mejorando el avance de acuerdo a lo que se puede y debe realizar, considerando rendimientos de la mano de obra, recursos y compromisos de los participantes de las reuniones de planificación y tomadores de decisiones.

Hay que tener en consideración que Last Planner junto a un modelo 4D, servirá para esclarecer dudas del plan a ejecutar cuando los proyectos son de arquitectura compleja, ya que según las experiencias con los proyectos estudiados: edificios con plantas tipo, para las fundaciones, subterráneos y pisos que no eran repetitivos, el modelo 4D fue muy provechoso, pero llegado a los pisos tipo, el uso del modelo fue disminuyendo, perdiéndose interés, ya que saben cuáles son las tareas que deben ejecutar, dimensiones, cantidad de materiales y tiempo que utilizarán.

6.3. Contribuciones al Conocimiento

La principal contribución al conocimiento de la investigación, es la formalización de un método de aplicación del Sistema Last Planner junto a la modelación 4D, para ser utilizado principalmente por constructoras para facilitar la visualización del proyecto con el fin de mejorar la planificación y facilitar la construcción de edificaciones.

Mostrar ejemplos de aplicación de proyectos que implementaron en Last Planner-4D, con sus respectivos resultados de la implementación, y verificar el comportamiento de esta herramienta durante la construcción.

El modelo 4D es de gran utilidad para mostrar los avances del proyecto y la estrategia constructiva a desarrollar en adelante, con el fin de que no hayan dudas sobre la etapa de construcción del proyecto en determinado tiempo, lo cual puede ser muy útil para el mandante del proyecto y gerencia de la constructora, con el fin de entender cuales sectores se hayan construidos sin tener que ir a terreno para cuantificar y dimensionar los avances.

6.4. Relevancia Práctica

La utilización de un modelo 4D para visualizar la programa de construcción, ayuda a la persona encargada de la planificación de la obra, ya que puede ver interferencias de actividades y cuadrillas de trabajo, con el fin de adelantarse a futuros hechos que se pueden simular en el modelo, como el Plan de Mediano Plazo o nueva estrategia constructiva debido a una reprogramación del proyecto, con el fin de evitarlos y encontrar las soluciones a tiempo, mejorando la planificación de la obra, planificación semanal y a mediano plazo, disminuyendo la incertidumbre de construcción del proyecto.

6.5. Futuras investigaciones

A partir de la investigación realizada, la cual puede servir como base de futuras investigaciones o como complemento de otros elementos que no se estudiaron en esta, nace la inquietud de si el uso de modelos 4D aporta una información provechosa en la etapa de terminaciones de edificaciones, y como sería su correcto uso con el fin de que se entiendan todas las especialidades que trabajan simultáneamente. Además hacer un estudio de la cuantificación de ahorro de tiempo, materiales y variación de otros indicadores en la coordinación de proyectos, durante la etapa previa a la construcción utilizando el modelo 4D, y como esto causa modificaciones en la planificación de la obra.

6.6. Resumen del Capítulo

En el presente capítulo se dieron a conocer los resultados de la investigación y como estos se comportan con respecto a las hipótesis planteadas. Donde se pudo obtener como conclusión final que los buenos resultados de la planificación, comunicación e incertidumbre se deben a un trabajo colaborativo de todo el equipo de trabajo y buena implementación del Sistema Last Planner. Si bien en los proyectos estudiados que utilizaron Last Planner-4D, los resultados tanto

en la planificación como en la incertidumbre fueron menores que aquellos proyectos que solo utilizaron Last Planner, es factible pensar que el modelo 4D ayuda a mejorar los parámetros medidos, mediante un trabajo colaborativo. La comunicación se mejora en mayor medida utilizando el modelo 4D, ya que se visualizan las actividades que se deben ejecutar sin dejar dudas sobre lo que se debe hacer.

Si bien cada proyecto en estudio obtuvo resultados diferentes, todos son mucho mejores que aquellos en los cuales se aplica la planificación tradicional, donde la planificación descansa plenamente en la experiencia del profesional a cargo de la programación. Tanto para los proyectos Last Planner como los Last Planner-4D, todos los participantes de la reunión de planificación tienen claro la planificación del proyecto, la incertidumbre del trabajo a realizar disminuye debido a que se tiene claro las tareas que se deben ejecutar, tomando acciones correctivas en caso de ser necesario. Existe una planificación tanto a mediano como corto plazo. Se mejora la comunicación, en especial aquellos que utilizaron el modelo 4D en su planificación, ya que no es necesario imaginar las tareas que se pueden realizar.

CAPÍTULO 7 : REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANON. (2007) BIM guide Overview. BIM series 01. General Services Administration (GSA), Washington, USA, pp 15-27.
2. ARRIAGADA, C. H. (2007). Análisis de las no conformidades en obras de montaje industrial de una empresa constructora. Memoria (Título de ingeniero civil) Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago, Chile.
3. KHANZODE, A. (2010), An Integrated, Virtual Design and Construction and Lean (IVL) Method for Coordination of MEP. CIFE Technical Report #TR187, Stanford University, California, USA.
4. BALLARD, G. (1994). The Last Planner. Northern California Construction Institute Spring Conference, Monterey, California.
5. BALLARD, G. y HOWELL, G. (1994). Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow. Segunda Conferencia Anual de Lean Construction, Chile.
6. BALLARD, G. y HOWELL, G. (1998). "Shielding Production: An Essential Step in Production Control" ASCE, J. Construction Engineering. and Management., pp. 18-24.
7. BOTERO, L. F., ÁLVAREZ, E. (2005). Last Planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción. Estudio del caso de la ciudad de Medellín, Revista de la División de Ingenierías de la Universidad del Norte. Ingeniería y Desarrollo N° 17, Medellín, Colombia.

8. CAMPERO, M., ALARCÓN L.F. (2008). Administración de Proyectos Civiles. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
9. CHAPPLE, P. (2009). Aplicación de 4D Herramienta modelo. Revista BIT N°68, Corporación de Desarrollo Tecnológico, Chile.
10. CHIAPPA, G. F. (2010). 4D más que 3D. Revista BIT N°75, Corporación de Desarrollo Tecnológico, Chile.
11. DÍAZ, D. A. (2007). Aplicación del Sistema de Planificación 'LAST PLANNER' a la Construcción de un Edificio Habitacional de Mediana Altura. Memoria (Título de ingeniero civil), Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago, Chile.
12. EASTMAN C., TEICHOLZ P., SACKS R. y LISTON K., (2008). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Constructors. Eds, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken New Jersey, USA.
13. FISCHER, M., CALVIN, K. (2002). PM4D Final Report. CIFE Technical Report #TR143, Stanford University, California, USA.
14. FISCHER, M., KUNZ, J., (2004). The scope and role of Information Technology in Construction. CIFE Technical Report #156, Stanford University, California, USA.
15. FISCHER, M. (2006). Formalizing Construction Knowledge for Concurrent Performance-Based Design, EG-ICE 2006, LNAI 4200, Stanford University, California, USA, pp. 186-205.
16. GAO, J., Fischer, M. (2008). Framework & Case Studies Comparing Implementations & Impacts of 3D/4D Modeling Across Projects. CIFE Technical Report #TR172, Stanford University, California, USA.
17. HOWELL, G., BALLARD, G. (1994). "Lean Production Theory: Moving Beyond 'CanDo'." Proc. 2nd. Annual Conference of the Int'l. Group for Lean Construction, Santiago, Chile, pp. 17-24. Available in Alarcon (1997).
18. KOSKELA, L. (1992). Application of the new Production Philosophy to Construction. CIFE Technical Report #TR72, Stanford University, California, USA.
19. MALDONADO, Daniela (2009). Planificación y coordinación de obras con tecnologías de la información. Revista BIT N°64, Corporación de Desarrollo Tecnológico, Chile.
20. MORA, M., FUSTER, S., ALARCÓN, L. F. (2009). De la oficina al terreno: Last Planner System con programación 4D. V Congreso Internacional y XVII Congreso Nacional De Estudiantes De Ingeniería Civil, Lima, Perú.

21. SABBATINO, D. (2011). Directrices y recomendaciones para una Buena implementación del sistema Last Planner en proyectos de edificación en Chile. Memoria (Título de ingeniero civil), Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago, Chile.
22. SALDÍAS, R. (2010). Estimación de los Beneficios de Realizar una Coordinación Digital de Proyectos con Tecnología 4D. Memoria (Título de ingeniero civil), Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago, Chile.
23. TVERSKY, B., BAUER, J., BETRANCOURT, M. (2002). Animation: can it facilitate? International Journal of Human Computer Studies, Volume 57, pp 247-262.

ANEXOS

ANEXO A: Entrevistas a personas que han utilizado Last Planner-4D

Datos entrevistado

Nombre	: Alejandro Escandar
Cargo	: Ingeniero Civil, Jefe Coordinación de Especialidades Constructora L y D

Datos proyecto

Nombre	: Clínica Dávila
Tamaño (m ²)	: 4.905
Duración	: Abril 2007 – 2010
Etapas actual	: Terminado
Costo	: 169.842 UF

1. Preguntas introductorias

1.1 ¿De dónde nace la idea de utilizar Last Planner en conjunto con modelación 4D?

La idea nace en el 2008, en la Clínica Dávila con un memorista que en esa fecha estaba en ese momento y planteó la idea de poder desarrollarlo. Ya que para esa obra se tenía el modelo 3D.

1.2 ¿Desde cuándo han implementado este sistema en la empresa?

La primera vez y única que se utilizó fue en esa fecha, ya que una que vez que se dejó

Las preguntas a continuación, están clasificadas según los objetivos del trabajo que se pretende medir:

2. Planificación

En cuanto al Sistema Last Planner en conjunto con la Modelación 4D:

2.1 ¿Qué problemas existían antes de utilizar esta tecnología?

Falta de comunicación, una comunicación más gráfica, ya que en el método tradicional es complejo sobre todo cuando son planificaciones complicadas y con muchas partidas. No se detectaban a tiempo problemas constructivos.

2.2 ¿Cómo han variado/variaron los problemas mediante esta implementación, en la planificación de esta obra ?

Se pudieron comunicar los compromisos de una manera más gráfica y se detectaron problemas constructivos y logísticos a tiempo, de este modo se liberaron las restricciones a tiempo.

2.3 De acuerdo a los resultados que se han obtenido, ¿efectivamente esta implementación ha sido/fue una ayuda en la planificación? ¿Por qué?

Si, durante el tiempo que se implementó fue un aporte, pero no se obtuvieron los resultados que se hubieran querido, ya que tienes que apoyar esta implementación además con una serie de elementos: sala adecuada, proyector adecuado. En la ocasión que se implementó solo se contaba con una pantalla, por ello era tedioso que todos los participantes estuvieran alrededor de la pantalla para ver el modelo. Tiene que haber un equipamiento adecuado: un computador bueno y las cosas anteriormente nombradas.

Mediante esta implementación se aclaraba a los contratistas lo que se quería se había planificado. También ayudó mucho en el aspecto de detección de interferencias. Ayudó en el entendimiento del proyecto.

En cuanto al Sistema Last Planner:

2.4 ¿Cómo lo han implementado/implementaron en la obra y cómo lo utilizan/utilizaron en las reuniones de planificación?

Se utilizó con tres niveles de planificación: maestra, corto y mediano plazo, tal como está planteada en la teoría. Se tenían reuniones de planificación semanalmente, planificación maestra se desarrolla una vez y va sufriendo modificaciones según las variaciones del proceso constructivo. La planificación intermedia se realizaba en reuniones aparte cada 15 a 30 días. Primero se analizan al comienzo de la reunión las Causas de No Cumplimiento de las actividades, se comunicaba el programa a todos los participantes, luego se analizan las restricciones que vienen para la semana a planificar a cargo de responsables de poder liberarlas.

2.5 ¿Cuánto tiempo se dedica/dedicó a planificar semanal y a mediano plazo durante las reuniones?

La planificación semanal tomó normalmente 1,5 a 2 horas de tiempo.

La planificación intermedia tomó casi lo mismo que la planificación semanal.

2.6 ¿Quién es el responsable de que este sistema de planificación se lleve a cabo?

La oficina técnica es la que coordina las reuniones y genera sus formatos, pero el jefe de terreno es el que debe elaborar la propuesta de planificación semanal.

La mecánica es: el jefe de terreno genera la propuesta de planificación, luego se la envía a la oficina técnica, esta incorpora cosas adicionales si es necesario. Se llama a la reunión, se coordina, se revisa la planificación para generar una planificación definitiva. Las tareas se comparten entre la jefatura de terreno y oficina técnica.

2.7 ¿Quiénes y de qué manera deben ayudar para que funcione correctamente?

Es muy importante que el compromiso del administrador de la obra, que vele que las reuniones de planificación se realice según la frecuencia establecida y los horarios establecidos para que no pierda la rigurosidad.

3. Comunicación

En cuanto al modelo 4D:

3.1 ¿Quién es/era el responsable de llevar a cabo el modelo y hacer las modificaciones correspondientes?

El modelo 3D estaba a cargo de un dibujante que lo particionaba según el método constructivo. Había un memorista linkeaba el modelo 3D con el Programa que también estaba particionaba de acuerdo a como se quería trabajar (método constructivo), esto se hacía mediante Navisworks. Considerando una implementación en alguna obra la persona a cargo de llevar el modelo debería ser el encargado de planificación, el programador de obra.

3.2 ¿Es necesario que esta persona esté dedicada exclusivamente a desarrollar, mostrar el modelo y tener los datos listos para las reuniones ?

En un principio si ya que toma hartoo tiempo, pero una vez hecho es menor el tiempo que se necesita para dejarlo listo.

3.3 Cuanto tiempo demora el preparar un modelo y actualizarlo para ser presentado durante las reuniones de planificación.

Esto dependerá del modelo, y cuan complejo sea la obra. En esa ocasión demoró uno a dos días. Una vez hecho se demoraba una mañana completa en modificarlo para la programación planificada de esa semana.

3.4 ¿Cómo y durante cuánto tiempo muestran/mostraban el modelo en las reuniones?

Era variable, ya que a medida que se iba revisando la planificación en el papel, se apoyaba con el modelo 4D en la pantalla durante toda la reunión.

3.5 ¿Cómo ha ayudado/ayudó el modelo 4D a comunicar el proyecto a los principales responsables de la ejecución en terreno?

El hecho de visualizar la planificación fue de gran ayuda. Además los jefe de terreno podían ver el modelo antes de la reunión detectaban problemas en su planificación y modificaban su propuesta, de este modo planificaban lo que realmente se puede hacer.

3.6 Qué nivel de detalle debe tener el modelo 4D, para que sea de fácil entendimiento a las personas que se comunicará.

El nivel de detalle debe ser el mínimo, debe ser lo más simple posible. Con el objetivo que sea fácil y rápido de visualizarlo.

4. Incertidumbre

4.1 Como han variado/variaron los compromisos propuestos a ejecutar en terreno por parte de sus responsables, mediante el modelo 4D.

No podría decir, ya que se realizó durante un período corto donde no se pudieron ver si realmente hubo una mejora o no de los compromisos.

4.2 Como se ha visto afectada/afectó la incertidumbre de las personas involucradas a ejecutar el proyecto durante la implementación Last Planner – 4D.

Hubo un impacto positivo que se notaba en la misma reunión, ya que los participantes tenían un mayor entendimiento de lo que se quería y salían más claros de lo que tenían que hacer.

5. Implementación general

En cuanto a la implementación Last Planner – 4D:

5.1 Cuáles serían los principales factores a considerar para una óptima utilización de esta tecnología.

El equipamiento: la sala de reunión, equipos de proyección, computador adecuado para que la reunión funcione de forma fluida. Lo otro que hay que tener en cuenta es que la planificación converse con el modelo, definir bien como se quiere planificar y tener bien claro y una vez hecho esto ponerse recién a modificar el modelo.

5.2 Cuáles han sido los principales problemas que se han presentado/presentaron en la implementación.

En esa ocasión el tema de no tener un buen equipamiento fue un problema al contar solamente con una pantalla de computador para mostrar el modelo, lo que era tedioso mostrar durante las reuniones. En esa ocasión no se logró una afiatar entre el encargado de hacer el modelo y el jefe de terreno, por ello una vez que el memorista terminó su trabajo no se siguió con la implementación.

5.3 En cuanto tiempo se pueden ver los primeros resultados.

No podría decirlo, debido al corto tiempo de la implementación

5.4 ¿Cuáles serían las lecciones aprendidas?

- Lo primero es comunicar a todo el equipo lo que se desea hacer.
- Instar a las personas a cumplir sus compromisos.
- Constantemente ir mejorando el sistema y no rigidizarlo, hacer una mejora continua.

5.5 Según su experiencia, ¿A qué tipos de proyectos es conveniente la aplicación este tipo de tecnología?

A todo tipo de proyectos, pienso que a proyectos con programación rítmica es más fácil poder implementarlo. Para proyectos más simples el costo de la aplicación de tecnología también lo es.

Datos entrevistado

Nombre	:	Sebastián Fuster
Cargo	:	Ingeniero Civil, Gerente de Control de Gestión

Datos proyecto

Nombre	:	Museo de la Memoria
Tamaño	:	
Duración	:	
Etapa actual	:	Terminado
Costo	:	

1. Preguntas introductorias

1.1 ¿De dónde nace la idea de utilizar Last Planner en conjunto con modelación 4D?

La empresa tenía el desafío de hacer esta obra compleja arquitectónicamente, además tenía un hito de termino ya que la Presidenta Bachelet tenía que cumplir con esta obra antes del término de su período, por ello necesitaban estar seguros de que el plan iba a funcionar y justo en ese momento se estaba viendo GEPUC el tema del modelo 3D con ellos y se propuso compatibilizar el modelo 4D al Last Planner que ellos manejaban, de este modo entregar la información de una manera más clara. Esta propuesta fue aceptada, ya que vieron que sería una ayuda para poder comunicar mejor el proyecto y a la vez utilizar harta tecnología.

1.2 ¿Desde cuándo han implementado este sistema en la empresa?

Fue esa vez y única que se utilizó en la empresa, y no se siguió ocupando ya que el modelo 4D se hacía externamente, ninguna persona dentro de la misma obra.

Las preguntas a continuación, están clasificadas según los objetivos del trabajo que se pretende medir:

2. Planificación

En cuanto al Sistema Last Planner en conjunto con la Modelación 4D:

2.1 ¿Qué problemas existían antes de utilizar esta tecnología?

Porque Last Planner solo una de las debilidades que tiene es que se muestran tareas al trabajador y se llega al acuerdo de hacer ciertas cosas mediante una carta Gantt que muchas veces no se entiende mucho, ya que en esta no hay dimensiones de volúmenes.

El dimensionamiento de las metas de la semana que no eran para nada claros con la carta Gantt.

2.2 ¿Cómo han variado/variaron los problemas mediante esta implementación, en la planificación de esta obra?

El dimensionamiento de las metas de la semana que no eran para nada claros en la carta Gantt se hicieron mucho más claros, tanto en las metas como en el proyecto.

Donde fue más relevante este cambio fue en el lookahead, ya que al momento de pedir la información hacia delante no era suficiente tener un modelo tan general y al discretizarlo se iban dando cuenta tanto el administrador, jefe de terreno y oficina técnica que habían ciertos problemas operacionales con la planificación que estaba hecha, por lo tanto se mejoró el plan dada la visualización. De este modo se pudieron adelantar a un mes en algunas decisiones, que si se hubiesen dado cuenta después no hubieran tenido tiempo para planificarse.

2.3 De acuerdo a los resultados que se han obtenido, ¿efectivamente esta implementación ha sido/fue una ayuda en la planificación? ¿Por qué?

Se clarificó el proyecto. Se redujo el tiempo de las reuniones de planificación, la gente podía ir a trabajar antes y opinaban cosas que antes no lo hacía debido a que tenía el proyecto mucho más claro.

En cuanto al Sistema Last Planner:

2.4 ¿Cómo lo han implementado/implementaron en la obra y cómo lo utilizan/utilizaron en las reuniones de planificación?

Reuniones semanales los lunes, las reuniones de Lookahead no se realizaban siempre y se hacían aparte los días miércoles, pero no se hicieron muchas unas tres durante los 4 meses que se estuvo, las cuales fueron bastante provechosas.

2.5 ¿Cuánto tiempo se dedica/dedicó a planificar semanal y a mediano plazo durante las reuniones?

Las reuniones semanales llegaron a durar 1 hora, antes de la implementación Last Planner 4D estas reuniones duraban 2 horas.

La planificación intermedia era de 2 horas aproximadamente.

2.6 ¿Quién es el responsable de que este sistema de planificación se lleve a cabo?

El programador de la obra en conjunto con el jefe de terreno.

2.7 ¿Quiénes y de qué manera deben ayudar para que funcione correctamente?

La presencia del administrador es muy importante, si él le da el impulso es totalmente diferente, las reuniones de planificación son más, ya que hay más respeto cuando él lidera.

La ejecución del plan debe ser hecho por el jefe de terreno. La oficina técnica debe ayudar esclarecer las metas al jefe de terreno mediante indicadores y plazos.

3. Comunicación

En cuanto al modelo 4D:

3.1 ¿Quién es/era el responsable de llevar a cabo el modelo y hacer las modificaciones correspondientes?

Era un externo de la constructora. Sin embargo si se quiere implementar en una constructora, alguien de oficina técnica puede ser el encargado de llevarlo a cabo. Cabe destacar que la persona que manipuló el modelo no era un experto. Mi recomendación sería pedir a un dibujante que haga el modelo 3D y después manipularlo para hacer el modelo 4D.

3.2 ¿Es necesario que esta persona esté dedicada exclusivamente a desarrollar, mostrar el modelo y tener los datos listos para las reuniones?

Al comienzo se tuvo un trabajo intensivo para poder armar el modelo, pero una vez hecho se ocupaba una vez a la semana.

3.3 Cuanto tiempo demora el preparar un modelo y actualizarlo para ser presentado durante las reuniones de planificación.

En la mañana o el día anterior se mandaba le plan y unas horas antes se preparaba el modelo para ser mostrado durante las reuniones de planificación. Para preparar la imagen del avance actual, luego presentar el plan de la semana propuesto que era el que mandaban. Además

se mostraba la imagen del plan original a la fecha de la propuesta. Además en la misma reunión se cambiaba el modelo para mostrar los compromisos hechos.

3.4 ¿Cómo y durante cuánto tiempo muestran/mostraban el modelo en las reuniones?

Se utilizaba un proyector, para mostrar imágenes que se sacaban de Navisworks, ya que se necesitaba el modelo en distintas etapas, lo que hubiera sido más complejo mostrar del mismo modelo para las distintas visualizaciones de las distintas etapas mediante distintos ángulos, ya que era más práctico y fácil. Una vez hecho el modelo definitivo para la semana se dejaban imágenes en paneles donde todos pudieran verlos. Además al otro día se entregaba a cada responsable una imagen del modelo, las listas de restricciones a liberar y actividades a realizar.

3.5 ¿Cómo ha ayudado/ayudó el modelo 4D a comunicar el proyecto a los principales responsables de la ejecución en terreno?

Se pudo sentir mejor cual era el plan sobre a todo a lo que debían ejecutar los obreros. También fue una ayuda para el jefe de terreno, ya que se daba cuenta si su método constructivo estaba correcto o no.

3.6 Qué nivel de detalle debe tener el modelo 4D, para que sea de fácil entendimiento a las personas que se comunicará.

Era solamente obra gruesa: fierro, moldaje y hormigón.

4. Incertidumbre

4.1 Como han variado/variaron los compromisos propuestos a ejecutar en terreno por parte de sus responsables, mediante el modelo 4D.

Las personas se daban cuenta de más cosas mediante el modelo.

4.2 Como se ha visto afectada/afectó la incertidumbre de las personas involucradas a ejecutar el proyecto durante la implementación Last Planner – 4D.

No lo podría responder, ya que no estuve en la obra.

5. Implementación general

En cuanto a la implementación Last Planner – 4D:

5.1 Cuáles serían los principales factores a considerar para una óptima utilización de esta tecnología.

Lo ideal es que el modelador 4D sea parte de la obra, ya que tiene la información más clara, saber que significa cada cosa, y ver el día a día del avance del modelo, no necesariamente que trabaje 100% en el modelo y que sea parte de la oficina técnica.

5.2 Cuáles han sido los principales problemas que se han presentado/presentaron en la implementación.

En este caso el tema era el precio que costaba manejar el modelo para la constructora. También no estaban muy involucrados en el tema, y no valoraban mucho la implementación.

5.3 En cuanto tiempo se pueden ver los primeros resultados.

Al mes ya estaba armado todo, se realizaron las reuniones y había aportes de los participantes.

5.4 ¿Cuáles serían las lecciones aprendidas?

Si agregaran más datos al modelo y se integrara el software de Last Planner se pudiera integrar al modelo 4D, sería de gran ayuda.

5.5 Según su experiencia, ¿A qué tipos de proyectos es conveniente la aplicación este tipo de tecnología?

Pienso que podría ser a todos, pero si hay un costo se podría decir que se ocupe cuando vale más la pena, y cuando vale más la pena es cuando son proyectos complejos arquitectónicamente o de métodos muy extraños que no son típicos.

ANEXO B: Pauta de evaluación Last Planner

Según la Pauta de evaluación Last Planner, basadas en las recomendaciones de Sabbatino (2011), la cual se muestra en la Tabla 8.1, existen tres divisiones:

- 1) Preparación de la reunión de planificación
- 2) Reunión de planificación
- 3) Elementos post reunión

Las divisiones 1) y 3) son un chequeo descriptivo de cómo se realizan estas etapas, de este modo al finalizar cada fase de medición, se pueda saber cómo funcionan la preparación de la reunión como los elementos post-reunión que son entregados.

Para el punto 2) este a su vez se desglosa en cuatro partes:

- 2.1) Aspectos Generales de la reunión
- 2.2) Análisis de la semana anterior
- 2.3) Análisis del mediano plazo

2.4) Análisis del corto plazo

Donde en cada una de ellas se le asigna un puntaje a aquellos ítems que aparecen destacados, este puntaje se asigna de una escala del 1 al 3 siendo 1 un mal cumplimiento del ítem y 3 el óptimo cumplimiento de ese ítem. A continuación se detallará uno a uno cada uno de los ítems utilizados para hacer el mapeo.

Del punto 2.1: Aspectos Generales de la reunión

2.1.1 Tiempo: Duración total de la reunión calculado como el intervalo de tiempo que comienza hasta el final de la última etapa de ésta. El tiempo se considera con los siguientes puntajes de acuerdo a la duración de la reunión:

Duración \geq 2 horas	: 0
$1.30 \leq$ Duración $<$ 2 horas	: 50
Duración $<$ 1.30 horas	: 100

2.1.2 Puntualidad: Mediada de acuerdo al porcentaje de participantes de la reunión que llegan a la hora a la reunión. Este porcentaje se calcula con respecto al total de personas que debe asistir.

Sin atraso $<$ 50 %	: 0
$50\% \leq$ Sin atraso $<$ 80%	: 50
Sin atraso \geq 80%	: 100

2.1.3 Asistencia: El porcentaje de asistencia se calcula de acuerdo al porcentaje de asistentes a la reunión que debe participar en ella.

Asistencia $<$ 50%	: 0
$50\% \leq$ Asistencia $<$ 80%	: 50
Asistencia \geq 80%	: 100

2.1.4 Etapas bien marcadas durante la reunión de planificación: Se asigna un puntaje dependiendo de cuales etapas se realizan durante la reunión de planificación, además para cada etapa debe estar bien definida dentro de la reunión de planificación. Primero se debe comenzar con la Revisión de la semana anterior, esta etapa debe culminar con el análisis de indicadores, medición de CNC para finalmente tomar acciones correctivas al respecto, luego se debe seguir con la revisión del Plan de Mediano plazo la cual debe finalizar con la revisión de restricciones al plan, para finalmente terminar la reunión con la revisión del Plan de Corto Plazo en el cual deben tomar los compromisos de las tareas a ejecutar.

Se tienen bien definidas 1/3 de las etapas	: 0
--	-----

Se tienen bien definidas 2/3 de las etapas : 50

Se tienen bien definidas 3/3 de las etapas : 100

Del punto 2.2: Análisis de la semana anterior

2.2.1 Tiempo: Duración de la etapa, calculado como un porcentaje de la duración total de la reunión, el puntaje se asigna de acuerdo a las buenas prácticas de Lean Construction, donde la duración de cada etapa según los expertos debe ser de acuerdo a la importancia de la etapa, por ello los % de duración de cada etapa deben ser: Revisión de la semana anterior 25% del tiempo de la reunión, el plan de mediano plazo 50% de la reunión para finalmente la revisión de la Plan de Corto Plazo un 25%.

75% < Duración ≤ 100% : 0

35% < Duración ≤ 75% : 50

Duración ≤ 35% : 100

2.2.2. Revisión de compromisos: La puntuación para este punto se mide de acuerdo a si se realiza o no la revisión de los compromisos de la semana anterior.

No se revisan compromisos : 0

Se revisan a medias los compromisos : 50

Se revisan compromisos : 100

2.2.3 Detección de CNC: Consiste en medir si durante esta etapa de la reunión se detectan las CNC que producen el incumplimiento de los compromisos de la semana anterior, con el fin de ir aprendiendo y evitar estos errores.

No se revisan las CNC : 0

Se revisan a medias las CNC : 50

Se revisan CNC : 100

2.2.4 Acciones correctivas: Medición de las acciones correctivas que se toman de acuerdo a las CNC encontradas.

No se toman acciones correctivas : 0

Se toman acciones correctivas : 100

2.2.5 Revisión de estado de avance: Medición de si se realiza una revisión del estado de avance de la obra, ya sea en m³ de hormigón tirados versus los programados, curvas de avance u otro tipo de medición de avance que se controle.

No se revisa estado de avance	: 0
Se revisa estado de avance	: 100

2.2.6 Análisis del PPC:

No se analiza el PPC	: 0
Se analiza el PPC	: 100

2.2.7 Tiempo en mostrar indicadores: % asociado al tiempo ocupado en mostrar los indicadores: PPC CNC, y estado de avance del proyecto de acuerdo al tiempo total ocupado en la etapa de la Revisión de la Semana Anterior.

75% < Duración ≤ 100%	: 0
35% < Duración ≤ 75%	: 50
Duración ≤ 35%	: 100

Durante esta etapa se mide el PPC y la cantidad de CNC, además para los proyectos que utilizan el modelo 4D se miden el N° de veces que se acude a dicho modelo durante esta etapa.

N° de veces que se acude al modelo 4D, se refiere a cuando algún participante de la reunión recurre al modelo para mostrar o preguntar algo sobre el plan que se está dando a conocer.

Del punto 2.3: Análisis del mediano plazo

2.3.1 Tiempo: Duración de la etapa, calculado como un porcentaje de la duración total de la reunión.

Duración ≤ 35%	: 50
35% < Duración ≤ 75%	: 100

2.3.2 Revisión y validación del plan a ejecutar: Medición si durante esta etapa de la reunión se revisa y valida el Plan de Mediano Plazo.

No se revisa el PMP	: 0
Se revisan el PMP a ejecutar	: 100

2.3.3 Revisión de restricciones: Medición si durante esta etapa se revisan las restricciones del Plan de Mediano Plazo.

No se revisan restricciones PMP	: 0
Se revisan restricciones del PMP	: 100

Se mide también el N° de veces que se acude al modelo 4D durante la etapa.

Del punto 2.4: Análisis del corto plazo

2.4.1 Tiempo: Duración de la etapa, calculado como un porcentaje de la duración total de la reunión.

35% < Duración ≤ 100% : 50

Duración ≤ 35% : 100

2.4.2 Revisión y validación del plan a ejecutar: Medición si durante esta etapa de la reunión se revisa y valida el Plan de Corto Plazo.

No se revisa el PMP : 0

Se revisan el PMP a ejecutar : 100

2.4.3 Revisión de restricciones: Medición si durante esta etapa se revisan las restricciones del Plan de Mediano Plazo.

No se revisan restricciones PCP : 0

Se revisan restricciones del PCP : 100

Se mide también el N° de veces que se acude al modelo 4D durante la etapa.

Para cada una de las etapas de la reunión de planificación se promediaron los puntajes y finalmente cada etapa se pondera de acuerdo a su importancia como se muestra en la Tabla 8.1. A partir de estos resultados se puede estimar de mejor forma como se comportan cada una de la etapas, y en total la reunión con respecto a las buenas prácticas de Lean Construction.

Tabla 0.1 Ponderación de cada una de las etapas de la Reunión de Planificación

Aspectos Generales Reunión de Planificación	10%
Análisis de la Semana Anterior	20%
Análisis del Mediano Plazo	40%
Análisis del Corto Plazo	30%
Total	100%

Finalmente para juzgar un buen desempeño de la planificación se medirá de acuerdo a la siguiente convención de rango de medición como muestra la Tabla 8.2:

Tabla 0.2 Indicadores de como es llevada la Planificación

Puntaje ≥ 80	$50 \leq$ Puntaje < 80	$0 \leq$ Puntaje < 50
		

Donde se considera que una buena planificación es la que obtiene con un puntaje mayor o igual a 80 puntos representada por una carita feliz en verde, una planificación promedio es la que posee un puntaje entre los 50 y 79 puntos representada por una carita amarilla y finalmente para una planificación que está bajo los 50 puntos considerada como deficiente representada por una carita triste en rojo.

MAPEO DE LA PLANIFICACIÓN EN OBRAS

Obra :	
Empresa :	
Contacto :	
Cargo :	

1. PREPARACIÓN DE REUNIÓN DE PLANIFICACIÓN	
1.1	Se realiza reunión previa de planificación
1.2	Tiempo en preparar la reunión
1.3	Alineación con plan maestro (reunión previa)
	Revisión y actualización del plan maestro
	Revisión de mediano plazo

Quiénes participan en la preparación de la reunión de planificación	

Observaciones	

2. REUNIÓN DE PLANIFICACIÓN	
2.1.	Aspectos generales de la reunión
	Fecha
	Hora inicio
	Hora término
	Duración
2.1.1	Tiempo
2.1.2	Puntualidad
	Sin atraso (N° de un total de asistentes a la reunión)
	% Sin atraso
2.1.3	Asistencia
	Asistencia (N° de un total de 11)
	Porcentaje de Asistencia
2.1.4	Se tienen las etapas (pasado-futuro-presente) bien marcadas durante la reunión
	Total (12 puntos máx)

Observaciones	

2.2.	Análisis de la semana anterior
	Hora inicio
	Hora término
	Duración
2.2.1	Tiempo
	% tiempo c/r a reunión de planificación
2.2.2	Revisión de compromisos
	N° de actividades comprometidas
2.2.3	Detección de CNC
2.2.4	¿ Se toman acciones correctivas?
2.2.5	Revisión de Estado de Avance
2.2.6	Análisis del PPC
2.2.7	Tiempo en mostrar PPC, CNC y estado de avance del proyecto
	Duración
	% tiempo c/r a análisis del pasado
	Total (21 puntos máx)

Utilización Modelo 4D	
N° ocurrencias	

Porcentaje de Plan Completado (PPC) y Causas de No Cumplimiento (CNC)	
PPC	
N° CNC	

Observaciones de la etapa	

2.3. Análisis del mediano plazo o lookahead (4 semanas)	
Hora inicio	
Hora término	
Duración	
2.3.1 Tiempo	
% tiempo c/r a reunión de planificación	
2.3.2 Revisión y validación de plan a ejecutar	
2.3.3 Revisión de restricciones	
Total (9 puntos máx)	

Utilización de modelo 4D	
N° ocurrencias	

Observaciones de la etapa	

2.4. Análisis del corto plazo (semanal)	
Hora inicio	
Hora término	
Duración	
2.4.1 Tiempo	
% tiempo c/r a reunión de planificación	
2.4.2 Revisión y validación del plan a ejecutar	
2.4.3 Revisión de listado de restricciones	
Total (9 puntos máx)	

Utilización de modelo 4D	
N° de ocurrencias	

Observaciones de la etapa	

3. ELEMENTOS POST REUNIÓN	
3.1 Entrega de documentos	
Planificación Mediano Plazo	
Planificación Corto Plazo	
3.2 Conocimiento de estado de la obra visible para todos	
Resultados obtenidos de la semana anterior (PPC,CNC, avances)	

Observaciones	

ANEXO C: Encuestas aplicadas

Encuesta aplicada a Proyecto I y II: Marcoleta

Entrevista a expertos LPS y últimos planificadores

Nombre del entrevistado :

Cargo :

OBJETIVO ENCUESTA

El objetivo de esta encuesta es recoger opiniones de como el Sistema Last Planner ayudó en la comprensión del proyecto y medir su utilidad en las reuniones de planificación.

Las respuestas vertidas y comentarios serán de suma importancia para lograr obtener un estudio más certero y que ayude a mejorar el actual modo de operar.

INSTRUCCIONES

Lea atentamente cada una de las preguntas y conteste lo más sinceramente posible. Rellene el círculo de la respuesta que considere adecuada.

1° ETAPA REVISIÓN DE SITUACIÓN PASADA (Semana anterior)

1. Con respecto a la semana anterior, la revisión de los compromisos dichos en voz alta por cada integrante de la reunión, ayudó a tener claro la situación pasada e identificar las CNC (Causas de No Cumplimiento).

O Muy de acuerdo

O De acuerdo

O Indiferente

O En desacuerdo

O Muy en desacuerdo

2. Los indicadores mostrados: PPC y CNC ayudan a comprender el estado del proyecto.

O Muy de acuerdo

O De acuerdo

O Indiferente

O En desacuerdo

O Muy en desacuerdo

3. Considera que se deberían incorporar o mejorar elementos para tener una mayor comprensión de lo sucedido la semana anterior. ¿Cuáles?

2º ETAPA PLAN DE MEDIANO PLAZO

4. Considera que el revisar las actividades que serán realizadas 4 semanas hacia delante ayudó a tener una mayor comprensión del proyecto.

O Muy de acuerdo

O De acuerdo

O Indiferente

O En desacuerdo

O Muy en desacuerdo

5. Con respecto al Plan de Mediano Plazo, considera que el proyectar la carta Gantt de las actividades a realizar es la mejor forma de darlo a conocer.

O Muy de acuerdo

O De acuerdo

O Indiferente

O En desacuerdo

O Muy en desacuerdo

6. Si no se está de acuerdo con la pregunta anterior. A su parecer ¿cuál sería la mejor forma de dar a conocer el Plan de Mediano Plazo?

7. Considera que se podrían agregar otros elementos para una mejorar el entendimiento del Plan de Mediano Plazo. ¿Cuáles?

3º ETAPA PLAN DE CORTO PLAZO (semana próxima)

8. Cree que el mostrar la carta Gantt de las actividades ayudó a comprender mejor del plan a corto plazo (semana próxima).

O Muy de acuerdo

O De acuerdo

O Indiferente

O En desacuerdo

O Muy en desacuerdo

9. Considera que se podrían agregar otros elementos para una mejorar el entendimiento del Plan de Mediano Plazo.
¿Cuáles?

4 ° REUNIÓN EN GENERAL

10. La forma en que se da a conocer las tareas a realizar es suficiente para comprender el programa a ejecutar.
- Muy de acuerdo
 - De acuerdo
 - Indiferente
 - En desacuerdo
 - Muy en desacuerdo
11. Para futuros proyectos de esta índole (edificios) sería conveniente el uso de algún modelo 3D donde se puedan detectar
- Muy de acuerdo
 - De acuerdo
 - Indiferente
 - En desacuerdo
 - Muy en desacuerdo
12. Comentarios que encuentre útiles a considerar en el futuro, en cuanto a la forma de dar a conocer el programa durante las reuniones.

MUCHAS GRACIAS POR SU TIEMPO Y BUENA DISPOSICIÓN

