

**Universidad de Costa Rica**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA *TAKT-TIME* EN  
UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN**

**Trabajo Final de Graduación**

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

**Alfonso Salomón Segura Salazar**

Director del proyecto:

**Ing. Luis Gustavo Ruiz Cano, M.B.A**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio



---

**Director del Proyecto:** Ing. Luis Gustavo Ruiz Cano



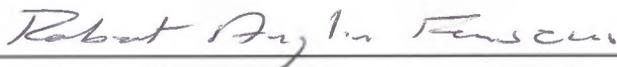
---

**Estudiante:** Alfonso Salomón Segura Salazar



---

**Asesor:** Ing. Erick Mata Abdelnour



---

**Asesor:** Ing. Robert Anglin Fonseca.

## **Derechos de Autor**

**Fecha:** 2019, Febrero, 26

El suscrito, **Alfonso Salomón Segura Salazar**, cédula 1-1627-0838, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B36603**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **Estudio de la implementación de la herramienta *Takt-Time* en un proyecto de construcción**, bajo la dirección del **Ing. Luis Gustavo Ruiz Cano, M.B.A** quién en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

**Nota:** De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice la información contenida en esta obra.

## **Dedicatoria**

*En memoria de mi abuelo Don Jorge, que se dedicó a ser constructor e impulsó siempre mis sueños de dedicarme a la ingeniería civil y quien siempre ayudó a desarrollarme como persona y profesional con su sabiduría.*

## **Agradecimientos**

A mi profesor director Gustavo Ruiz por ayudarme a conseguir un proyecto para este trabajo final de graduación, así como su guía en para este. A mis asesores Robert Anglin y Erick Mata por ayudarme con sus valiosos aportes para completar este trabajo.

A mis padres por siempre brindarme el apoyo necesario para lograr alcanzar esta meta, por su paciencia y sus consejos.

A mi hermana por ser siempre mi compañera en los momentos buenos y malos de la vida, por alentarme a buscar ser mejor cada día y ser la persona que siempre ha confiado más en mí.

A Ximena por su apoyo incondicional en este proceso, por siempre estar dispuesta a ayudarme en lo que sea y buscar siempre mi desarrollo como persona.

A Roy y Mauricio por ser mis amigos y compañeros incansables de trabajo durante toda la universidad, sin personas tan extraordinarias no hubiese sido tan entretenido este camino y hubiese sido más duro.

A todos mis amigos que conocí en estos años de universidad, por hacer la experiencia de la universidad una de las mejores épocas de mi vida.

## Tabla de contenido

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Justificación.....	1
1.1.1. El problema específico .....	1
1.1.2. Importancia .....	3
1.1.3. Antecedentes .....	4
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos .....	6
1.3. Hipótesis .....	6
1.4. Delimitación del problema.....	6
1.4.1. Alcance.....	6
1.4.2. Limitaciones.....	7
1.5. Metodología.....	8
1.5.1. Fase de investigación teórica y planificación.....	10
1.5.2. Fase experimental .....	10
1.5.3. Fase de análisis.....	11
1.5.4. Fase final.....	12
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA <i>LEAN CONSTRUCTION</i>.....</b>	<b>13</b>
2.1. Origen y filosofía de la metodología <i>LEAN</i> .....	13
2.1.1. Origen en la industria de manufactura.....	13
2.1.2. Procesos que no generan valor en la metodología <i>LEAN</i> . .....	17
2.1.3. Principios en los que se fundamenta la filosofía <i>LEAN</i> .....	21
2.1.4. Cultura de integración de proyectos <i>LEAN</i> .....	24
2.1.5. Diferencias entre enfoque de producción tradicional y <i>LEAN</i> .....	28

2.2.	Construcción Flexible ( <i>LEAN Construction</i> ) .....	32
2.2.1.	Adaptación de <i>LEAN Production</i> a <i>LEAN Construction</i> .....	32
2.2.2.	Principios de la construcción flexible.....	35
2.3.	Herramientas de la construcción flexible .....	40
2.3.1.	Líneas de Balance.....	40
2.3.2.	Sistema del Último Planificador .....	42
2.3.3.	<i>Takt-Time</i> .....	47
<b>CAPÍTULO III. TAKT- TIME Y EL ANÁLISIS DE SU APLICACIÓN EN UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN .....</b>		<b>53</b>
3.1.	Características del objeto de estudio de la investigación .....	54
3.1.1.	Descripción del proyecto .....	54
3.1.2.	Metodología de planificación empleada por la empresa de estudio .....	55
3.1.3.	Metodología utilizada para la evaluación del Takt-Time en el proyecto. ....	69
3.2.	Aplicación de la herramienta <i>Takt-Time</i> .....	79
3.2.1.	Planificación realizada mediante el Sistema del Último Planificador .....	79
3.2.2.	Propuesta mediante la aplicación de <i>Takt-Time</i> .....	94
3.2.3.	Otros resultados a tomar en cuenta .....	107
3.3.	Análisis de resultados.....	111
3.3.1.	Resumen comparativo de resultados .....	111
3.3.2.	Análisis de la comparación entre <i>Takt-Time</i> y Sistema del Último Planificador	
	123	
<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>127</b>
4.1.	Conclusiones .....	127
4.2.	Recomendaciones .....	129
<b>5.</b>	<b>Fuentes de Consulta .....</b>	<b>131</b>
<b>6.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>135</b>

6.1.	Programación Estratégica. ....	135
6.2.	Planificación semanal .....	136
6.2.1.	Planificación planteada por semana.....	136
6.2.2.	Planificación realizada en campo por semana.....	146
6.3.	Planificación Intermedia.....	155

## Tabla de figuras

Figura 1. Área de construcción tramitada ante el CFIA.....	2
Figura 2. Metodología para el proyecto “Estudio de la implementación de la herramienta Takt-Time un edificio de construcción”.....	9
Figura 3. Horas necesarias para la producción de vehículos según localización.....	14
Figura 4. Diferencias de producción entre empresas japonesas y estadounidense a finales de los años 80s.....	15
Figura 5. Ciclo de mejora generado en la metodología <i>LEAN</i> .....	16
Figura 6. Modelo 4P del <i>LEAN Production</i> .....	21
Figura 7. Triángulo de la implementación de la metodología <i>LEAN</i> .....	24
Figura 8. Ciclo del <i>Lean Integrated Project Delivery</i> .....	26
Figura 9. Curva de MacLeamy , relación entre tiempo de decisión e impacto en el costo. 28	
Figura 10. Esquema de planificación tradicional.....	30
Figura 11. Conceptualización del Sistema del Último Planificador.....	31
Figura 12. Ejemplo de aplicación de líneas de balance en un edificio en construcción.....	40
Figura 13. Líneas de balance mediante <i>Takt-Time</i> .....	41
Figura 14. Esquema del proceso de planificación mediante el Sistema del último Planificador. .....	43
Figura 15. Resumen del Sistema del Último Planificador.....	46
Figura 16. Cargas de trabajo con la aplicación de <i>Takt-Time</i> .....	50
Figura 17. Render del proyecto de estudio.....	54
Figura 18. Organigrama para el proyecto de estudio.....	56
Figura 19. Ubicación de instalaciones provisionales en el proyecto de estudio.....	58
Figura 20. División por zonas del proyecto de estudio.....	59
Figura 21. Interfaz de la herramienta <i>TouchPlan®</i> .....	61
Figura 22. Elaboración de actividades mediante herramienta <i>TouchPlan®</i> .....	62
Figura 23. Restricciones mediante la herramienta <i>TouchPlan®</i> .....	64
Figura 24. Planificación semanal mediante <i>TouchPlan®</i> .....	65
Figura 25. Causas de no cumplimiento acumuladas.....	68
Figura 26. Causas de no cumplimiento acumuladas en el proyecto de estudio.....	107

## Tabla de Cuadros

Cuadro 1 . Programación Estratégica del Proyecto de Estudio .....	60
Cuadro 2. Formato para programación intermedia de la constructora de estudio .....	63
Cuadro 3. Ejemplo de diagrama de Gantt de la programación semanal .....	65
Cuadro 4. Formato de líneas de balance de la empresa de estudio .....	66
Cuadro 5. Causas de no cumplimiento acumuladas .....	67
Cuadro 6. Evaluación de cuadrillas semanal.....	68
Cuadro 7. Evaluación de Cuadrillas Acumulada .....	69
Cuadro 8. Representación de actividades mediante líneas de balance .....	70
<i>Cuadro 9. Resumen explicativo para las líneas de balance .....</i>	<i>71</i>
Cuadro 10. Líneas de balance mediante Takt-Time .....	72
Cuadro 11. Resumen de actividades de líneas de balance mediante Takt-Time.....	73
Cuadro 12. Comparación de resultados con S.U.P y Takt-Time.....	74
Cuadro 13. Comparativa de horas hombre entre métodos.....	75
Cuadro 14. Comparación de tiempo muertos para caso de ejemplo .....	76
Cuadro 15. Comparación de tiempo muertos en horas hombre para caso de ejemplo.....	77
Cuadro 16. Líneas de balance para actividades en Zona 2 y Zona 3 .....	80
Cuadro 17. Resumen de actividades Zona 2 y Zona 3 mediante S.U.P.....	81
Cuadro 18. Tiempos muertos para Zona 2 y Zona 3 con Último Planificador. ....	81
Cuadro 19. Líneas de Balance para actividades en Zona 3 y Zona 4 de sótano.....	82
Cuadro 20. Resumen de actividades Zona 3 y Zona 4 de sótano mediante S.U.P .....	83
Cuadro 21. Tiempos muertos para Zona 3 y 4 con Sistema Último Planificador. ....	84
Cuadro 22. Líneas de Balance para actividades de Zona 4 y 5 de Sótano .....	85
Cuadro 23. Resumen de Actividades de Zona 4 y Zona 5 de Sótano mediante S.U.P .....	86
Cuadro 24. Tiempos muertos para Zona 4 y 5 con Sistema Último Planificador. ....	87
Cuadro 25. Líneas de balance para actividades de Zona 5 y Zona 6 de Sótano .....	87
Cuadro 26. Resumen de actividades para Zona 5 y Zona 6 de Sótano.....	88
Cuadro 27. Tiempos muertos para Zona 5 y 6 con Sistema Último Planificador. ....	89
Cuadro 28. Líneas de balance para actividades de Entrepiso +3.0 m Edificio B .....	91
Cuadro 29. Resumen de actividades para Entrepiso +3.0 m Edificio B.....	92
Cuadro 30. Tiempos muertos para Entrepiso +3.0 m con Sistema Último Planificador. ....	93
Cuadro 31. Planificación mediante Takt-Time de las zonas 2 y 3 de Sótano.....	94

Cuadro 32. Resumen planificación mediante Takt-Time para Zona 2 y Zona 3 .....	95
Cuadro 33. Tiempos muertos para Zona 2 y Zona 3 mediante Takt-Time. ....	96
Cuadro 34. Planificación mediante Takt-Time de las zonas 3 y 4 de sótano .....	97
Cuadro 35. Resumen de actividades mediante Takt-Time para zonas 3 y 4 de Sótano.....	98
Cuadro 36. Tiempos muertos para Zona 3 y Zona 4 mediante Takt-Time. ....	98
Cuadro 37. Planificación mediante Takt-Time para las Zonas 4 y 5 de Sótano.....	99
Cuadro 38. Resumen de actividades mediante Takt-Time de Zona 4 y 5 de sótano .....	100
Cuadro 39. Tiempos muertos para Zona 4 y Zona 5 mediante Takt-Time. ....	101
Cuadro 40. Planificación mediante Takt-Time de Zona 5 y Zona 6 de Sótano.....	101
Cuadro 41. Resumen de actividades mediante Takt-Time de Zona 5 y 6 de sótano .....	103
Cuadro 42. Tiempos muertos para Zona 5 y Zona 6 mediante Takt-Time. ....	103
Cuadro 43. Planificación mediante Takt-Time de Entrepiso +3.0m Edificio B.....	104
Cuadro 44. Resumen de actividades mediante Takt-Time de Entrepiso +3.0 m Edificio B .....	105
Cuadro 45. Tiempos muertos para Entrepiso +3.0 m con Sistema Último Planificador. ..	106
Cuadro 46. Evaluación de cuadrillas acumuladas del proyecto. ....	109
Cuadro 47. Comparativa de trabajadores entre planificaciones para las zonas 2 y 3 de Sótano. ....	111
Cuadro 48. Comparativa de tiempos muertos para las zonas 2 y 3 de Sótano.....	112
Cuadro 49. Comparativa de tiempos muertos H.H para las zonas 2 y 3 de Sótano. ....	112
Cuadro 50. Comparativa de trabajadores entre planificaciones para las zonas 3 y 4 de Sótano .....	113
Cuadro 51. Comparativa de tiempos muertos para las zonas 3 y 4 de Sótano.....	114
Cuadro 52. Comparativa de tiempos muertos H.H para las zonas 3 y 4 de Sótano. ....	114
Cuadro 53. Comparativa de trabajadores entre planificaciones para las zonas 4 y 5 de Sótano .....	115
Cuadro 54. Comparativa de tiempos muertos para las zonas 4 y 5 de Sótano.....	116
Cuadro 55. Comparativa de tiempos muertos H.H para las zonas 4 y 5 de Sótano. ....	117
Cuadro 56. Comparativa de trabajadores entre planificaciones para las zonas 5 y 6 de Sótano. ....	118
Cuadro 57. Comparativa de tiempos muertos para las zonas 5 y 6 de Sótano.....	119
Cuadro 58. Comparativa de tiempos muertos H.H para las zonas 5 y 6 de Sótano. ....	119

Cuadro 59. Comparativa de trabajadores entre planificaciones para Entrepiso + 3.0 m Edificio B.....	120
Cuadro 60. Comparativa de tiempos muertos para Entrepiso +3.0 m Edificio B.....	121
Cuadro 61. Comparativa de tiempos muertos en H.H para Entrepiso +3.0 m Edificio B..	122
Cuadro 62. Resumen de comparación de mejora en tiempos muertos al utilizar Takt-Time .....	123
Cuadro 63. Resumen de comparación de mejora en tiempos muertos al utilizar Takt-Time .....	124
Cuadro 64. Actividades con mayor porcentaje de disminución de tamaño de cuadrilals , aplicando Takt-Time.....	125
Cuadro 65 Actividades con mayor porcentaje de aumento de tamaño de cuadrillas, aplicando Takt-Time.....	125
Cuadro 66. Programación Estratégica del proyecto de estudio.....	135
Cuadro 67. Planificación Semanal, semana 03/09/2018 .....	136
Cuadro 68. Planificación Semanal, Semana 10-09-2018 .....	137
Cuadro 69. Planificación Semanal, Semana 17/09/2018 .....	138
Cuadro 70. Planificación Semanal, Semana 24/09/2018 .....	140
Cuadro 71. Planificación Semanal, Semana 01/10/2018 .....	141
Cuadro 72. Planificación Semanal, Semana 08-10-2018 .....	142
Cuadro 73. Planificación Semanal, Semana 15/10/2018 .....	143
Cuadro 74. Planificación Semanal, Semana 22/10/2018 .....	144
Cuadro 75. Planificación Semanal, Semana 29/09/2018 .....	145
Cuadro 76. Planificación realizada en campo, Semana 03/09/2018 .....	146
Cuadro 77. Planificación realizada en campo, Semana 10/09/2018 .....	147
Cuadro 78. Planificación realizada en campo, Semana 17/09/2018 .....	148
Cuadro 79. Planificación realizada en campo, Semana 24/09/2018 .....	149
Cuadro 80. Planificación realizada en campo, Semana 01/10/2018 .....	150
Cuadro 81. Planificación realizada en campo, Semana 08/10/2018 .....	151
Cuadro 82. Planificación realizada en campo, Semana 15/10/2018 .....	152
Cuadro 83. Planificación realizada en campo, Semana 22/10/2018 .....	153
Cuadro 84. Planificación realizada en campo, Semana 29/10/2018 .....	154
Cuadro 85. Planificación Intermedia 03/09/2018 .....	155

Cuadro 86. Planificación Intermedia 10/09/2018 .....	156
Cuadro 87. Planificación Intermedia 17/09/2018 .....	157

Segura Salazar, Alfonso Salomón

Estudio de la implementación de la herramienta *Takt-Time* en un edificio de construcción

Proyecto Final de Graduación-Ingeniería Civil- San José, Costa Rica

A.S. Segura S., 2019

xiv, 134, (23); ils, col. -46 refs.

## Resumen

En este trabajo final de graduación se investigaron y compararon dos métodos para el uso de recursos de mano de obra en construcción. El primero de estos fue el Sistema del Último Planificador, que es aquel más utilizado bajo el enfoque tradicional de planificación *LEAN* y el *Takt-Time*, que es una nueva herramienta que surge de la industria de la manufactura y que ha sido poco investigada en construcción.

Lo anterior se realizó al valerse del monitoreo en campo de la programación realizada mediante el Sistema del Último Planificador en un proyecto de construcción en la comunidad de Río Oro de Santa Ana y durante un periodo de 8 semanas. Esto con la finalidad de plantear una alternativa de planificación incorporando la herramienta *Takt-Time* a la programación del proyecto, misma que se consideraba al inicio de la investigación que podría disminuir la cantidad de recursos de mano de obra necesarios en la programación de actividades de una construcción.

Esta comparación se realizó en términos de porcentajes, obteniendo mediante esta que el *Takt-Time* es una herramienta eficiente en el aprovechamiento de los recursos de mano de obra de un proyecto de construcción, al ser una herramienta que permite una disminución importante de los tiempos muertos de las cuadrillas empleadas, así como una reducción de la variabilidad de los proyectos de construcción que se puede ver representado en una disminución de los costos de estos.

**Palabras clave:** *construcción, LEAN, Takt-Time, recursos, mano de obra.*

Ingeniero Luis Gustavo Ruiz Cano

Escuela de Ingeniería Civil

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Justificación

### *1.1.1. El problema específico*

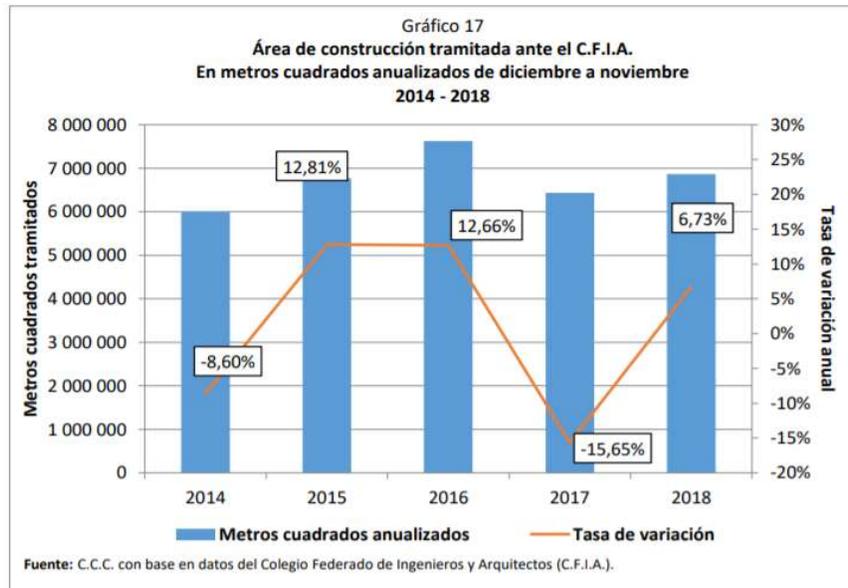
En el ámbito de la construcción, existen herramientas, como el Sistema de Último Planificador, que ha estabilizado el problema de incertidumbre en los proyectos. No obstante, para obtener mejoras en cuanto a tiempo, plazo y eficiencia se deben analizar otros métodos alternativos como es el caso del Takt-Time. (Formoso, 2017). La herramienta del *Takt-Time* es una forma de planificación que ha sido poco investigada y que ha tenido buenos resultados en la industria de la manufactura.

El *Takt-Time* consiste en una opción de planificación distinta que busca el mejoramiento de los procesos y la eficiencia de los recursos de mano de obra. Para ello, optimiza el tiempo que se necesita para cumplir las actividades, logrando un flujo continuo de trabajo. (Ducharme & Ruddick, 2004).

Pese a lo anterior, su aplicación en la industria de la construcción ha sido casi nula, así como su investigación. Por lo tanto, el estudio de esta herramienta es pertinente en la búsqueda de nuevas formas de planificación más eficientes que permitan la reducción de recursos necesarios para las obras y los costos de los proyectos (Formoso, 2017).

De acuerdo con datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2017), la industria de la construcción pierde atractivo para los clientes año con año en el país. Lo anterior se evidencia, por ejemplo, con índices como el de precios de edificios, los cuales aumentaron en un 7,31 % solo en el año 2017.

Asimismo, se observa con ayuda de la Figura 1 como en el país los metros cuadrados construidos en el país han ido en detrimento. En el año 2017, se tramitaron 6 471 715 metros cuadrados en el periodo diciembre- noviembre, lo que representó una disminución de 15.65 % respecto a los 7 484 538 metros cuadrados tramitados en el mismo periodo para el 2016. De igual forma en el año 2018, se tramitaron 6 867 959 metros cuadrados en dicho periodo, representando un incremento del 6.73 % respecto al año 2017, pero que de igual forma representa una disminución respecto al año 2016.



**Figura 1. Área de construcción tramitada ante el CFIA**

Fuente: INEC, 2018.

Es por esta razón que las empresas constructoras nacionales deben buscar opciones de planificación que las haga más competitivas, mediante la reducción de costos de los proyectos. Es aquí donde surge el *Takt-Time* como una opción a esta problemática, ya que herramientas tales como los diagramas de Gantt, PERT y CPM no han sido suficientes para afrontar la evolución de los procesos de construcción en los últimos años.

La inclusión de nuevas tecnologías, sin que esto signifique desechar los métodos de planificación tradicional, es necesaria para la mejora de la planificación de nuevos proyectos de construcción. Según Koskela (2000), la discrepancia entre modelos teóricos y la realidad, muestra la necesidad de la aplicación de nuevas herramientas de construcción flexible (*LEAN Construction*), metodología de la cual se desprende el *Takt-Time*, ya que ha mostrado buenos resultados en el campo de la producción industrial.

En resumen, esta investigación se planteó con el fin de resolver en primer lugar el problema de la incertidumbre que presenta la utilización de la herramienta, ya que, aunque se ha usado en otras industrias, la implementación de esta en la construcción no ha sido puesta a prueba.

En segundo lugar, se presenta como un recurso importante para mejorar la planificación de los proyectos de construcción a nivel nacional, que requieren de nuevas alternativas de

planificación para disminuir los costos de los mismos. Esto siendo posible en caso de comprobarse que la aplicación de la herramienta *Takt-Time* sí es eficiente en cuanto a la mejor utilización de los recursos en la industria de la construcción.

### **1.1.2. Importancia**

La importancia de este trabajo final de graduación recae principalmente en la necesidad de investigar el *Takt-Time*, dado que la herramienta ha sido poco estudiada a nivel mundial en su aplicación a la industria de construcción y que según expertos como (Formoso, 2017) constituye la herramienta a implementar a futuro en la línea de investigación de las tecnologías de la metodología *LEAN*.

La necesidad de estudiar la herramienta involucra el analizar si esta brinda una opción novedosa de organizar las cargas de trabajo, haciendo el uso de los recursos de mano de obra más eficiente, mejorando flujos de trabajo y reduciendo tiempos muertos de las cuadrillas en los proyectos. (Yassine, Saleh, Fayek, & Hamzeh, 2014). La mejora en la eficiencia del recurso de mano de obra se traduciría en una disminución de costos de las obras, aspecto de gran importancia en el contexto nacional actual en el cual los costos de la construcción de edificios aumentan año con año según datos del INEC (2017).

Lo anterior, tomando en consideración que dicha herramienta se fundamenta en la metodología *LEAN*, que según el concepto dado por Lauri Koskela en 1992, pretende dejar de lado la incertidumbre de la planificación de la construcción y fomentar la visualización de la construcción como un proceso de transformación, de flujo y de generación de valor, promoviendo la creación de sistemas que permitan optimizar, reducir o eliminar flujos para mejorar los tiempos de entrega, así como el mejor aprovechamiento de los recursos y la disminución de los costos de operación (Porrás, Sánchez, & Galvis, 2014).

El *Takt-Time* es de gran importancia ya que busca un aprovechamiento más eficiente de los recursos de una obra, optimizando los procesos y los flujos de trabajo mediante la búsqueda de un tiempo o pulso en el cual deben ser completadas las actividades, para lograr cumplir con las necesidades del proyecto (Ducharme & Ruddick, 2004). En la construcción, la herramienta busca un plan de producción adecuado dentro y fuera del proyecto para propiciar la continuidad del proceso en un plazo establecido (Pons, 2017).

### **1.1.3. Antecedentes**

El estudio de la herramienta del *Takt-Time* es una práctica que se ha realizado de manera escasa a nivel nacional e internacional, al menos en la industria de la construcción; no así en la industria de la manufactura en la cual la implementación de esta se ha convertido en una práctica más común, con resultados bastante exitosos en la mayoría de los casos de su aplicación (Formoso, 2017).

En cuanto a la industria de la construcción, la implementación de la herramienta *Takt-Time* ha quedado en una fase mayormente de conceptualización y no tanto de aplicación práctica de la misma, al menos no a gran escala.

En el caso de la investigación "*Implementing Takt-Time Planning in Construction to Improve Work Flow*"; realizada por la Universidad de Beirut, esta creó una base conceptual sobre cómo llevar a la práctica la herramienta del *Takt-Time*. Esta consiste en dividir el proceso en seis pasos básicos que incluyen la delimitación espacial y temporal del espacio de trabajo a estudiar. Asimismo, elaboró un acercamiento a una aplicación práctica de la herramienta, la cual consistió en el estudio de la planificación de la colocación de una tubería de 950 metros, donde se observó la incidencia en los recursos de mano de obra de la utilización del *Takt-Time* en cada una de las actividades en dicho proyecto.

En dicho caso de estudio se observaron resultados positivos de la aplicación de la herramienta al reducirse la cantidad de obreros necesarios para cumplir con las actividades respecto a la forma de trabajo tradicional. No obstante, al constituir un caso aislado y de un proceso que representaba realizar actividades repetitivas, posee limitaciones, ya que no estudia las condiciones que se pueden presentar en un proyecto grande con otro tipo de actividades, como los mismos investigadores señalan en el documento mencionado (Yassine, Saleh, Fayek, & Hamzeh, 2014). Dicho aspecto es el que se pretende estudiar en esta investigación y en un ámbito acorde a la realidad costarricense.

Otra de las investigaciones pertinentes encontradas respecto al tema es "*Takt-Time Planning and The Last Planner*"; llevada a cabo por Frandson, Berghede y Tommelein en el 2014, donde se muestra la conceptualización del *Takt-Time* mediante el uso del Sistema de Último Planificador. La cual fue la base del método empleado para el análisis de la herramienta en este proyecto final de graduación.

Adicionalmente, dicha investigación brinda un ejemplo de aplicación del *Takt-time* en un edificio en California, pero tiene como limitante que solo se centra en la estabilización de líneas de flujo y no en disminuir la cantidad de recursos de mano de obra, como se pretende en este trabajo final de graduación.

Además, se observan investigaciones pequeñas como "*Lean and Takt Time Planning at Hospital Project in San Francisco*", donde se plantean los fundamentos básicos a ser aplicados mediante el *Takt-Time* y los resultados esperables, sin embargo, no se tiene un registro de resultados que constaten la eficiencia de la herramienta.

En cuanto a bibliografía de fuentes nacionales, no se encontró investigación alguna que tratara el tema. Por lo tanto, se plantea esta investigación como un primer acercamiento al estudio de la herramienta a nivel nacional, con la que se pretende aportar a disminuir el vacío de conocimiento académico en relación a esta herramienta.

A pesar de lo anterior, se encontraron informes de trabajos finales de graduación de gran utilidad que se refieren a los principios básicos del *LEAN Construction*, especialmente la titulada "*Estudio de la aplicación del sistema del último planificador en una construcción vertical*" realizada por Arias en 2015, en razón de que es el mayor acercamiento a la aplicación de herramientas del *LEAN Construction* en Costa Rica.

Este documento constituye una de las fuentes de información de mayor utilidad para esta investigación, ya que al *Takt-Time* tener como insumo inicial la planificación obtenida mediante el Sistema del Último Planificador, Arias (2015) plantea los conceptos básicos del Sistema del Último Planificador y presenta cómo se realiza la aplicación de este en el contexto nacional.

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo general***

Probar si la incorporación de la herramienta *Takt-Time* en la planificación de la construcción de una edificación resulta más eficiente en el aprovechamiento de recursos de mano de obra, que con solo la utilización de la herramienta del Sistema de Último Planificador.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a) Construir un mapa conceptual de herramientas procedentes de la metodología *LEAN*, que permita comprender la aplicabilidad de estas en conjunto con la herramienta del *Takt-Time*.
- b) Aplicar la herramienta del *Takt-time* en un proyecto en construcción y analizar los resultados obtenidos.
- c) Determinar las ventajas que presenta la herramienta del *Takt-Time* en comparación a la no utilización de esta, haciendo uso solo del Sistema del Último Planificador.

### **1.3. Hipótesis**

La hipótesis de esta investigación fue que la herramienta del *Takt-Time* es beneficiosa en cuanto a un mejor aprovechamiento de los recursos de mano de obra en la industria de la construcción. Esto en comparación con los recursos necesarios mediante la planificación realizada con la utilización del Sistema del Último Planificador sin la incorporación del *Takt-Time*, lo que se ve reflejado en una mayor eficiencia en cuanto a producción y un costo menor en la construcción de edificios.

Esto se pretendió comprobar en especial, con la reducción de los tiempos muertos al utilizar la herramienta *Takt-Time* en la planificación de los proyectos, aspecto que generador de una mayor eficiencia del recurso de mano de obra y una disminución general en los costos de los proyectos tanto para el contratista general, cómo para los subcontratos.

Debido a lo anterior, se planteó como un resultado esperable, que se comprobará la ineficiencia de la asignación de los recursos de mano de obra en algunas actividades típicas que conforman los proyectos de construcción y la identificación de actividades propensas en mayor o menor medida al mejoramiento si se aplica la herramienta *Takt-Time*.

### **1.4. Delimitación del problema**

#### **1.4.1. Alcance**

El alcance de esta investigación consistió en la aplicación de la herramienta del *Takt -Time* en diferentes etapas de un proyecto de construcción dentro de la Gran Área Metropolitana,

durante un periodo de 8 semanas durante el año 2018, de manera tal que se estudió la zona donde se construyen mayor cantidad de metros cuadrados en el país (INEC, 2017).

Las actividades constructivas con las que se validó la implementación del *Takt-Time* se enfocan en el estudio de actividades de obra gris, tales como: el colado de concreto, la colocación y armado de acero, la colocación y confección de formaleta, la colocación de bloques de mampostería; esto para columnas, vigas y losas de fundación y entrepiso. Adicionalmente, se estudiaron actividades complementarias como son la colocación de barreras de vapor y plástico en casos como losas de fundación.

Este análisis de actividades y su comportamiento con la aplicación del *Takt-Time*, se realizó a través de líneas de balances y rendimientos obtenidos a partir de estas; lo anterior con la finalidad de medir el desempeño de la herramienta en la disminución de recursos de mano de obra y su comparación con la planificación realizada mediante la herramienta del Sistema del Último Planificador.

En cuanto a las actividades delegadas a subcontratistas, estas sí fueron tomadas en cuenta para la investigación, debido a que las características del proyecto así lo requieren, en razón de que la mayoría del trabajo de actividades de obra gris fue hecha mediante subcontratos.

La aplicación de la herramienta del *Takt-Time* en este trabajo final de graduación se realizó en un tiempo que no comprende la totalidad del proyecto, por lo cual las actividades analizadas fueron únicamente aquellas que se realizaron durante el plazo establecido para esta investigación.

Asimismo, el alcance de este trabajo evalúa de una manera teórica el desempeño de la herramienta del *Takt-Time*, en razón de que el plan realizado mediante el *Takt-Time* no fue implementado en el proyecto como una fórmula de trabajo, sino que se plantea como una lección aprendida, que podría aplicarse en proyectos futuros de similar índole.

#### **1.4.2. Limitaciones**

Debido a la innovación que representan ciertas tecnologías de la metodología *LEAN*, no solo en el país, sino a nivel mundial, el acceso a información de investigaciones anteriores que se puedan utilizar como referencia es limitada.

En específico, la herramienta del *Takt-Time*, aunque ha sido estudiada y aplicada en ciertas investigaciones de la industria de manufactura y producción masiva, ha sido poco implementada en la industria de la construcción, por lo que la bibliografía utilizada parte de conceptos muy generales y no tan específicos como se quisiera.

No obstante, se considera que generar una base teórica de la herramienta aplicada en la construcción, basada en los conceptos generales del *LEAN Construction* y dar un ejemplo de aplicación mediante este trabajo final de graduación, es necesario para impulsar la creación de más investigaciones sobre el *Takt-Time* que ayuden a robustecer la bibliografía a futuro.

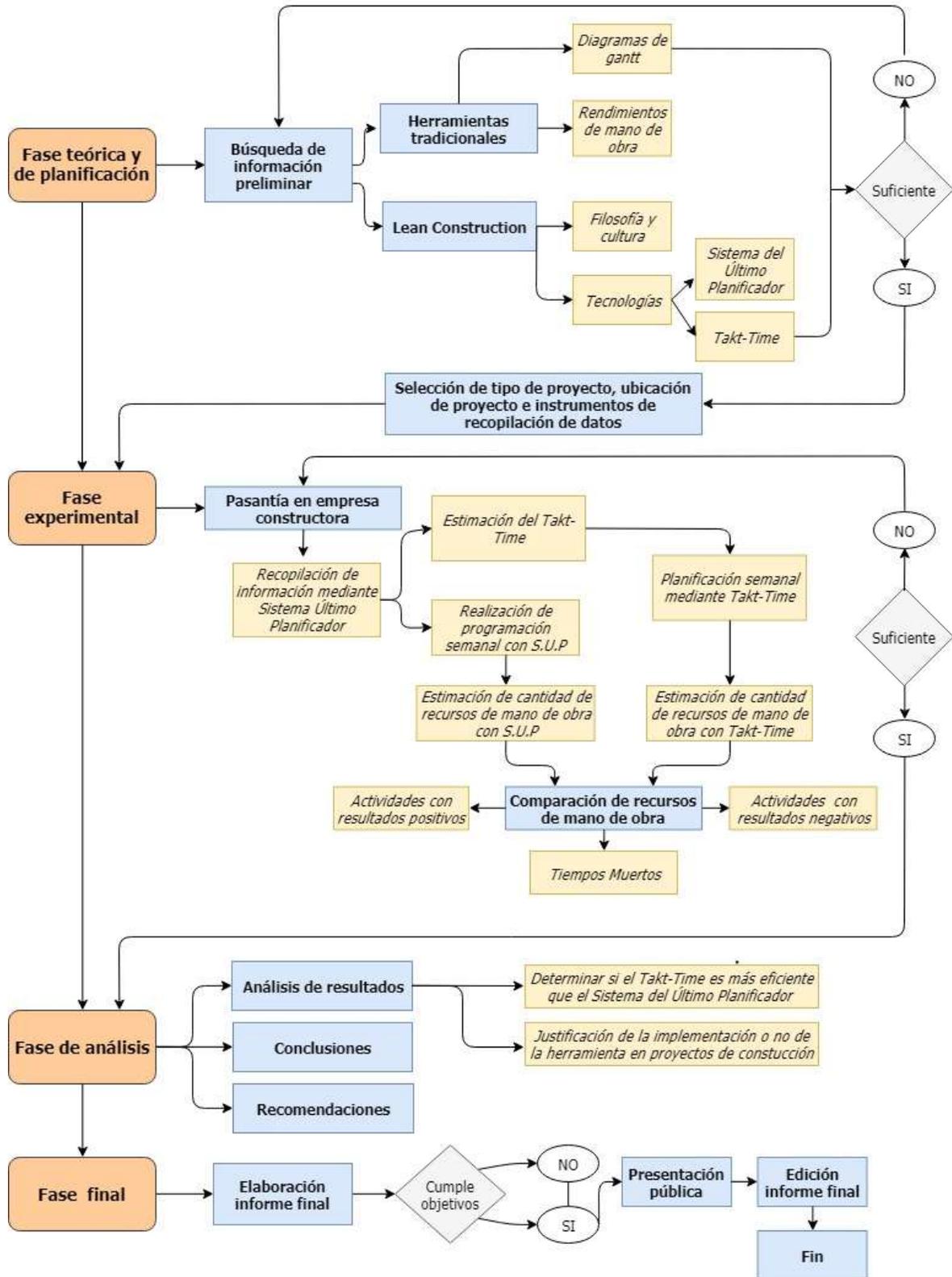
La metodología *LEAN*, aboga por la inclusión de todas las partes que conforman el proyecto en la aplicación de sus tecnologías, sin embargo, para esta investigación no se estudian las actividades realizadas por algunos subcontratistas, tales como la obra electromecánica. Si bien estas actividades pueden causar en algún punto atrasos en las actividades de estudio, estas se dejaron de lado al momento de analizar la implementación de la herramienta, dado que el proyecto de investigación se centra exclusivamente en las actividades de obra gris.

Asimismo, no se contaba con una base de rendimientos de la empresa, ni de los subcontratistas, teniéndose que obtener los mismos en campo; dándose posibles fuentes de error de los mismos, debido a que estos se obtuvieron en base a la información brindada por los encargados de las distintas cuadrillas.

Por otro lado, los resultados que se obtienen de este trabajo quedan limitados a la concepción teórica y no representan la capacidad práctica de la herramienta en la disminución de mano de obra en las actividades de una construcción, debido a que no se obtuvieron resultados en campo de la programación del *Takt-Time*, ya que no se implementó en la fórmula de trabajo dicha programación.

## **1.5. Metodología**

La metodología que se siguió para la elaboración de este proyecto final de graduación se muestra en la Figura 2. Esta metodología de tipo cuantitativa y cualitativa se plantea para dividir la investigación en 4 etapas que se detallan a continuación:



**Figura 2. Metodología para el proyecto "Estudio de la implementación de la herramienta Takt-Time un edificio de construcción"**

### **1.5.1. Fase de investigación teórica y planificación**

En una primera fase de investigación y con el fin de contar con una base conceptual suficiente y adecuada, se realizó una recopilación de información sobre el tema a investigar que comprendió información sobre los principales componentes de la filosofía del *LEAN Production*, así como de la cultura que en dicha metodología se utiliza.

Asimismo, se recopiló información sobre las tecnologías del *LEAN Production* a utilizar, tales como el Sistema del Último Planificador y sobre otras herramientas que se utilizaron que no son parte de esta metodología, pero complementan a las primeras en la planificación de un proyecto, tales como las líneas de balance.

Por otro lado, se realizó una investigación teórica de la herramienta del *Takt-Time* para crear una base de conceptos que permitió una comprensión más sencilla para el lector, de forma tal que los resultados de esta investigación son más comprensibles y utilizables.

Cabe destacar que esta información mencionada anteriormente es obtenida de fuentes bibliográficas tales como artículos científicos, tesis, trabajos finales de graduación, libros, publicaciones e información encontrada en la web que tenga un sustento bibliográfico adecuado.

Las principales fuentes fueron el informe de trabajo final de graduación de Daniela Arias (2015) y la investigación de Yassine, Saleh, Fayek, & Hamzeh (2014), ya que en estas se encuentran los conceptos teóricos más importantes aplicados de las herramientas del Sistema del Último Planificador y *Takt-Time* respectivamente.

La bibliografía reunida permitió determinar las condiciones del proyecto que fueron seleccionadas para la investigación, entre estas: tipo de proyecto, tamaño y ubicación. Asimismo, fue de utilidad para definir las herramientas de recolección y procesamiento de información.

### **1.5.2. Fase experimental**

Una vez que se creó una base teórica inicial se procedió a aplicar los conceptos en la herramienta del *Takt-Time*. El trabajo de campo se hizo durante un periodo de 8 semanas en un edificio en construcción, utilizó el Sistema del Último Planificador como base y se

enfocó en la parte de planificación semanal que dicha herramienta permite realizar y en zonas delimitadas del proyecto, que se utilizaron como zonas de estudio en la aplicación del *Takt-Time*.

Semana a semana se utilizó el Sistema del Último Planificador para el proyecto de construcción, la que constituyó "la planificación base" y mediante la incorporación del *Takt-Time* al Sistema del Último Planificador, se buscó una alternativa. Para esto, se utilizaron las líneas de balance, ya que permitieron encontrar el tiempo o velocidad de producción a la cual las actividades debieron realizarse en miras de ser lo más eficientes posibles.

Estas herramientas se comparan en términos de porcentaje, con la variable de tiempos muertos como la principal a tomar en cuenta, dividiendo los tiempos muertos obtenidos en la planificación realizada mediante el *Takt-Time* entre los presentados con el uso del Sistema del Último Planificador. Este ejercicio se realiza de igual forma, para la cantidad de trabajadores empleados en cada una de las actividades que se estudian en este trabajo.

Los resultados se consideran positivos si este indicador de porcentaje es negativo para la planificación realizada mediante el *Takt-Time* y se consideran negativos si el valor es positivo, ya que significa que es mejor utilizar solo la herramienta del Sistema del Último Planificador que incorporar además la del *Takt-Time*.

Cabe destacar que las actividades de estudio fueron las actividades de obra gris realizadas por la empresa constructora a cargo del proyecto en análisis o por los contratistas encargados de dichas actividades.

### **1.5.3. Fase de análisis**

Concluida la fase experimental, se procedió a analizar los datos y resultados obtenidos de la comparación entre la planificación original o base realizada mediante el Sistema del Último Planificador y la planificación alternativa realizada incorporando el *Takt-Time*.

De estos resultados se compararon los tiempos muertos obtenidos con la planificación realizada con la herramienta *Takt-Time* en contraste con la realizada mediante el Sistema del Último Planificador en solitario.

En el caso de actividades que tengan índices de 0% o muy cercanos a dicho valor, eso significa que la utilización de cualquiera de las dos herramientas es igual de eficiente en el aprovechamiento de recursos de mano de obra y, por tanto, se concluye que la aplicación del *Takt-Time* no es justificable en cuanto a mejora de estos recursos, ya que no representa un cambio apreciable en la forma en la cual se planifican proyectos con el Sistema del Último Planificador.

En los casos que existe una cantidad significativa de actividades con resultados positivos, se concluye que la aplicación del *Takt-Time* en proyectos de construcción es una opción de planificación válida. Esto, dado que mejora la eficiencia en el uso de los recursos de mano de obra para las actividades estudiadas, en comparación a la planificación realiza mediante el Sistema de Último Planificador como única herramienta de planificación.

En el último capítulo se realizó la aceptación o rechazo de la hipótesis inicial, a partir de la cual se desprendieron las conclusiones y recomendaciones de este proyecto final de graduación.

#### **1.5.4. Fase final**

En la fase final se tomaron los resultados obtenidos de las tres etapas anteriores y se redactó el informe final de este trabajo final de graduación, para que fuera revisado por el comité asesor y se realizaran las correcciones pertinentes.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA *LEAN CONSTRUCTION***

### **2.1. Origen y filosofía de la metodología *LEAN***

#### **2.1.1. Origen en la industria de manufactura**

La metodología *LEAN* nace en la industria de la manufactura en Japón en la década de 1980 con la consolidación de la metodología "*Just in Time*" que fue desarrollada por la empresa japonesa productora de automóviles Toyota y pretendía un ahorro en el espacio y una reducción de inventarios. Es decir, esta metodología surge de la necesidad de producir de acuerdo con lo que la demanda de los clientes requería con el objetivo de crear un flujo constante que permitiera el mejor aprovechamiento de los recursos y una disminución de los procesos que generaban pérdidas (Hernández & Vizán, 2013)

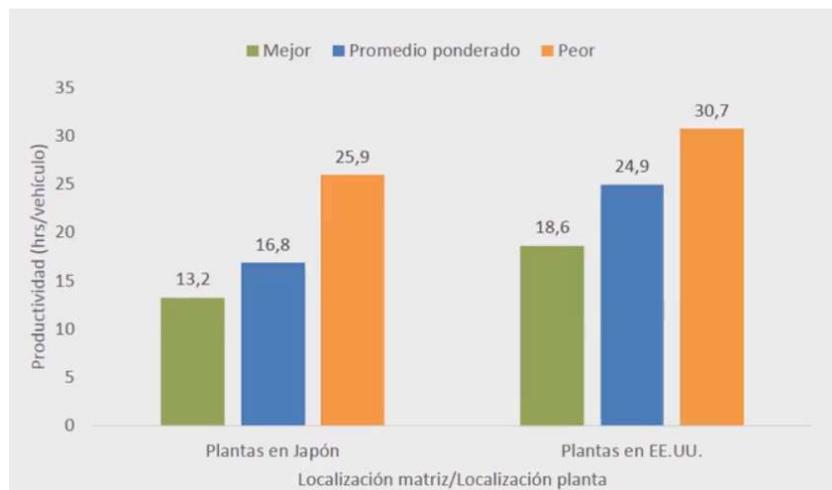
Esta corriente de producción se debe a la necesidad de las industrias japonesas de reinventarse luego de la crisis vivida por los hechos ocurridos durante la Segunda Guerra Mundial. En esa época, la necesidad de producir a bajo costo y pequeñas cantidades condujeron a las empresas japonesas a una cultura de producción de disminución de los desperdicios y mejoramiento continuo.

Para ese momento, Toyota, empresa de donde surge la metodología *LEAN*, competía con marcas estadounidenses consolidadas como Ford, Chrysler y General Motors en la industria automotriz, las cuales contaban con mayores recursos que la similar japonesa. Es por esto que desde el seno de la empresa Toyota se comprendió que la única manera de competir contra estas era pensando de una manera diferente y más inteligente que su competencia (Quiles, 2014).

Por consiguiente, Kiichiro Toyoda, Taiichi Ohno, además de otros colaboradores se dieron a la tarea de crear lo que se conoció como el *Toyota Production System*, el cual consistía en un estudio de la línea del tiempo de producción, desde que el cliente realizaba una orden hasta el momento que la empresa recibía el dinero por la prestación del servicio. Esto condujo a un mejoramiento constante de los procesos y una disminución de las actividades que no generaban valor en la cadena de producción (Alarcón, 2017).

Dicho sistema mejoró el proceso de producción logrando menores costos, alta variedad de productos, alta calidad y tiempos de producción menores; todo esto sujeto a la satisfacción de los clientes que preferían a la empresa Toyota sobre sus demás competidoras en el mercado automotriz (Quiles, 2014).

Este cambio de mentalidad, a la hora de la producción, fue tomado por varias empresas japonesas debido al éxito que significó para la empresa Toyota. Así, la utilización del *Toyota Production System*, que fundó las bases de lo que se conoce ahora como *LEAN Production*, le dio una ventaja competitiva a la industria automotriz japonesa en comparación a la estadounidense, tal y como se puede observar en la Figura 3, donde las horas necesarias para la producción de un vehículo eran menores para las industrias japonesas.



**Figura 3. Horas necesarias para la producción de vehículos según localización**

Fuente: Alarcón, 2017.

De igual forma, la calidad de los productos japoneses era superior al de los producidos por las empresas estadounidenses, donde menor cantidad de vehículos presentaban defectos en comparación.

Además, en la Figura 4, se observa cómo la metodología japonesa propone tener pocos inventarios, ya que se debe producir de acuerdo con las necesidades de la demanda. Lo anterior, dado que producir más de lo necesario significa generar pérdidas para este tipo de enfoque.

Asimismo, se aprecia el hecho de que en la metodología *LEAN* hay una alta diferencia en cómo se gestiona el trabajo. En la Figura 4 se puede observar, además, cómo existe una mejora continua del trabajo con mayores capacitaciones, una rotación de puestos y un mayor enfoque en el trabajo en equipo. Esto logrando que las personas empleadas no solo estén más capacitadas para una labor en particular, sino que sepan realizar varias tareas del proceso productivo y se encuentren más satisfechas de su permanencia en la empresa.

	Japonesa en Japón	Japonesa en EE.UU.	Estadounidense en EE.UU.
Inventarios (días para 8 piezas)	0,2	1,6	2,9
% de Fuerza de Trabajo en Equipo	69,3	71,3	17,3
Rotación de Trabajos (0=nada, 4=frecuente)	3	2,7	0,9
Sugerencias/Empleado	61,6	1,4	0,4
Nº de Clases de Trabajos	11,9	8,7	67,1
Adiestramiento de Trabajadores de la "Nueva Producción" (horas)	380,3	370,0	46,4
Ausentismo	5,0	4,8	11,7

**Figura 4. Diferencias de producción entre empresas japonesas y estadounidense a finales de los años 80s**

Fuente: Alarcón, 2017.

De los resultados de esta Figura es importante señalar, además, cómo el proceso de mejora no solo incluye a los altos mandos de la empresa, sino que busca también que los empleados se incorporen a estos procesos. De manera que, al estar ellos inmersos de primera mano en el ciclo de producción, sean capaces de brindar sugerencias de cómo mejorar el mismo. (Alarcón, 2017).

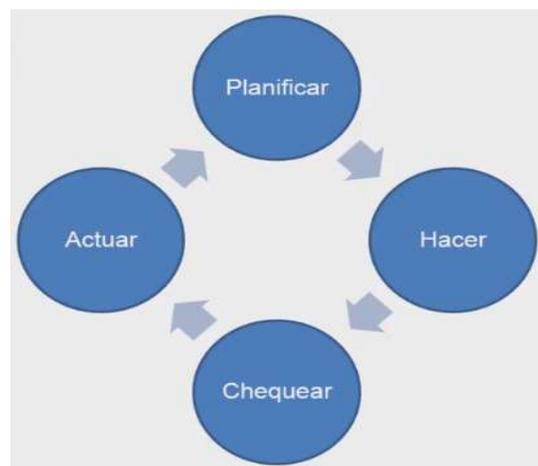
En resumen, se puede concluir de la Figura 4 que la metodología *LEAN* surge como una opción que busca que sus inventarios sean reducidos y que sus empleados sean polivalentes. Es decir, que puedan ocupar varios puestos y que se encuentren motivados y correctamente capacitados para así mejorar la rapidez y calidad de los procesos.

Todos estos resultados positivos que surgen de parte de la industria japonesa y que comprometieron el accionar de las empresas estadounidenses, las cuales perdieron su liderazgo en el mercado automotriz, llevaron a estas últimas a tener que adaptarse a nuevas

formas de planificación de los procesos. Por lo tanto, se incorporó a la cultura occidental el concepto del *LEAN Production* en los años 90, el cual ha sido desde entonces investigado y llevado a la práctica en otras ramas productivas.

El primer acercamiento y uso de la palabra *LEAN*, fue realizado por Womack y Jones en 1996. Dichos autores describen 5 aspectos característicos de la metodología, los cuales le dan origen a la misma y que forman un ciclo como se presenta en la Figura 5:

1. La identificación de la cadena valor de cada producto tomando en cuenta las necesidades del cliente a un precio y tiempo específico.
2. Mapear la cadena de valor, lo que implica seguir una cadena de actividades necesarias para llegar a un fin específico.
3. Hacer fluir el producto de una forma continua durante del proceso, sin interrupciones, siendo cada etapa capaz de cumplir su propio proceso con una estructuración adecuada para ser equiparada con el resto de etapas.
4. Introducir el sistema *pull*, que consiste en una programación en reversa de la producción, es decir, se programa para llegar a un objetivo revisando una a una las actividades que se van a necesitar para alcanzarlo. Esto permite que sea el cliente quien defina la demanda y no el productor.
5. Buscar la perfección y la mejora continua. Se debe conocer que la perfección es imposible de alcanzar, pero es importante plantear la meta que se quiere alcanzar y a partir de la misma trabajar en una mejora continua de los procesos.



**Figura 5. Ciclo de mejora generado en la metodología LEAN**

Fuente: Alarcón, 2017.

En este ciclo se muestra cómo se da en primer lugar una planificación de los procesos, luego se proceden a realizar los mismos, para después pasar a una fase de chequeo y mejora mediante las lecciones aprendidas. Todo esto con el objetivo de buscar una producción cada vez más acertada y eficiente (Alarcón, 2017).

### **2.1.2. Procesos que no generan valor en la metodología LEAN.**

El éxito de esta metodología que surge del *Toyota Production System*, no depende únicamente de la aplicación de un método o herramienta, sino que va más allá, ya que este sistema de producción se fundamenta en un conjunto de principios que fomentan la búsqueda del mejoramiento continuo mediante la separación de actividades entre las que generan valor y la que no. Por lo tanto, la esencia de *LEAN* radica en la búsqueda de la eliminación o reducción al máximo de aquellas actividades que no generan valor (Arias, 2015).

Estas actividades que no generan valor o que generan pérdidas se definen como todo lo distinto a los recursos mínimos que se necesitan para darle valor a un bien o servicio (Alarcón, 2017). En la metodología *LEAN* se destacan 8 razones que son las mayores creadoras de pérdidas en los procesos de producción (Cisneros, 2009):

**Sobreproducción:** se define como la finalización de elementos antes de que sean requeridos para un siguiente proceso o para el cliente final. Producir más de lo necesario sin considerar la demanda que tiene el proceso crea pérdidas, ya que asigna más recursos de los necesarios a actividades que no lo requieren. Esto debido a que en muchos casos se planifican las actividades de la cadena de valor individualmente y no como un conjunto de procesos para alcanzar un fin determinado.

La sobreproducción es conocida también como “la madre de los despilfarros”, debido a que es la principal causa de las siguientes razones de pérdidas en los ciclos productivos. Es causante de mala distribución de los recursos de las empresas, genera inventarios y penaliza el correcto flujo de los materiales del proceso (Quiles, 2014).

**Tiempo de espera:** se tienen recursos, ya sean personas o materiales, esperando para realizar una actividad que genere valor. Esto se presenta en procesos mal planificados, equipos defectuosos, falta de materiales o de información.

*LEAN* busca un flujo continuo del proceso para mover el producto final dentro de la cadena de valor, garantizando el flujo de producción con pequeños inventarios de producto en el proceso.

El *Just in Time* busca la eliminación del desperdicio por errores y entregar la cantidad justa del producto que es requerido por los clientes; asimismo se utilizan las líneas de balance para configurar el trabajo hacia el *Takt-Time* que se considera como el tiempo promedio en el que se debe producir un bien o actividad para satisfacer la demanda (Aguilar, 2010).

**Transporte:** el tiempo que se utiliza para transportar un producto o servicio es considerado como un proceso que no genera valor y que consume una gran cantidad de recursos. Asimismo, el transporte incluye movimientos de información documental entre las diferentes fases del proceso de producción (Quiles, 2014).

En el sector de la construcción este transporte se puede enfocar más en el acarreo de materiales de un sector a otro del proyecto. La metodología *LEAN* busca la reducción del movimiento de los recursos, ya que esto incentiva también a la reducción del espacio necesario para producir un bien y la cantidad de mano de obra necesaria para esta producción.

**Procesamiento innecesario:** realizar más de lo especificado, según los parámetros establecidos por el cliente, es considerado como pérdida. En un proyecto de construcción esto es más notable, ya que, si en un contrato por monto fijo se realizan más actividades o de mayor calidad de lo que el cliente solicitó, el precio pagado por este seguirá siendo el mismo. Es decir, estas actividades extra no añaden valor a la cadena de producción, por lo que no se deberían de ejecutar.

Algunas de las causas más comunes de procesamiento innecesario o sobre proceso es la generación de mayor información que la necesitada, ajustes de procesos por encima de los requerimientos, tareas duplicadas o la inexistencia de una correcta secuencia de actividades o mala planificación.

En este punto es importante tomar en cuenta la frase "el cliente siempre tiene la razón", en razón de que el cliente es el que debe definir qué es lo que desea y cuáles son los requisitos que solicita y el oferente debe cumplir estas necesidades sin dar una calidad inferior a la solicitada, pero tampoco dando una mayor (Alarcón, 2017).

**Inventarios:** tener inventarios, es decir, materias primas almacenadas en algún lugar sin estar en el ciclo de producción son consideradas como pérdidas debido a que estos materiales no pueden generar valor de una manera inmediata. Para poder satisfacer las necesidades del cliente o de una actividad, los materiales tienen que llegar justo a tiempo para poder generar valor una vez lleguen al sitio de trabajo.

Tener inventarios, además de no generar valor, crea pérdidas en cuanto a espacio, debido a que se debe conseguir un lugar donde almacenar los materiales que no están siendo utilizados en la cadena de producción. Asimismo, al tener inventarios se adquieren otras actividades que no añaden valor como la recepción de materiales, la ubicación, el almacenamiento, conteo, inspección y búsqueda de los materiales (Quiles, 2014).

**Movimiento innecesario de personas:** esto incluye cualquier movimiento de personal que no sea necesario para añadir valor al ciclo de producción. Este desperdicio se puede confundir con el de transporte, pero la diferencia radica que este es en un mismo proceso, mientras que el de transporte se da entre procesos (Brioso, 2015).

Entre los procesos que generan este tipo de pérdida está el movimiento de los operarios para alcanzar herramientas o desplazamientos de estos hacia ordenadores o impresoras, creando un flujo de trabajo ineficiente.

**Corrección de defectos:** claro está que, si un producto final sale con defectos, toda la cadena de valor pierde su validez, ya que el cliente no pagará por el mismo. La aparición de defectos produce labores tales como la inspección, retrabajos y transporte de materiales defectuosos; todo esto debido a mala utilización de herramientas, fallos humanos o errores de documentación.

De igual manera, producir con defectos crea una mala visión de los clientes hacia la empresa, que acarrea malas recomendaciones a otras personas sobre esta. Es por esto por lo que tener controles estrictos sobre la calidad de los bienes que se producen, capacitar

correctamente a los colaboradores para que realicen de manera adecuada los procesos, así como mejorar continuamente los ciclos de producción, es fundamental para evitar despilfarros de recursos humanos y de materias primas debido a defectos (Alarcón, 2017).

**Mal aprovechamiento de la capacidad de las personas:** por lo general en la metodología *LEAN*, solo se incluyen los primeros siete desperdicios, pero con el paso del tiempo han surgido teorías que toman en cuenta este desperdicio adicional. El no usar adecuadamente la creatividad e inteligencia del talento humano con el que se cuenta, causa pérdida de oportunidades para generar valor en el proceso de producción.

Es por ello que debe tener un plan de capacitación de los colaboradores sobre el proceso de producción de la empresa en la cual se encuentra, para así fomentar la disminución de los siete desperdicios anteriores. De igual manera se debe propiciar el aporte de los trabajadores mediante propuestas, oportunidades de mejora y el control de la calidad, entre otras contribuciones (Brioso, 2015).

En aras de disminuir estos procesos de pérdidas identificados por la metodología *LEAN* como los principales generadores de pérdidas o actividades que no generan valor en las industrias, se buscan cinco puntos a tener en cuenta de acuerdo con Quiles (Quiles, 2014):

**Takt:** producción ajustada a las necesidades del cliente.

**Flow:** flujo continuo entre las distintas fases que componen el proyecto, se busca la eliminación de los procesos de espera.

**Pull:** traducido en español como tirar, es decir, la demanda es la que "tira" del proceso de producción definiendo las cantidades a producir por parte del oferente, evitando así sobreproducción e inventarios.

**Variación cero:** se busca que, con la repetición continua del ciclo de producción se alcance un nivel donde en cada repetición el proceso sea el mismo, así como el producto generado del proceso.

**Responsabilidad de todos:** se busca una implicación de todos los participantes del proceso. En la industria de la construcción este atestado contemplaría tanto la participación del contratista como la de todos los subcontratistas asociados.

### 2.1.3. Principios en los que se fundamenta la filosofía LEAN

LEAN como se mencionó anteriormente, se compone de una serie de principios, conceptos y técnicas diseñadas para disminuir los desperdicios e instaurar un sistema de producción eficiente que entregue a sus clientes la cantidad requerida de un producto en la cantidad requerida.

Los principios que conforman la base de la metodología LEAN abogan por el mejoramiento continuo, la eliminación de los desperdicios y agregar valor a los consumidores. Estos fueron resumidos por Liker y Meier (2006) en el libro "The Toyota Way" en catorce, basándose en un modelo 4P (*Philosophy* (Filosofía), procesos, personas y resolución de los problemas), tal y como se muestra en la Figura 6.



**Figura 6. Modelo 4P del LEAN Production**

Fuente: Quiles, 2014.

Los catorce principios son los siguientes:

#### **Filosofía**

1. Tomar decisiones a largo plazo, las metas de una empresa se deben proyectar a varios años. Lo anterior, aún si plantear este horizonte va en detrimento de las metas

a corto plazo, ya que se busca la mejora de calidad y disminución de costos a largo plazo.

### **Procesos**

2. Crear un flujo continuo del proceso productivo que permita traer los problemas de este a la superficie. Se busca que los errores aparezcan para poder realizar una corrección temprana de los mismos.
3. Hacer uso del sistema "pull" para evitar la sobreproducción. La producción se debe basar en la demanda realizada por los clientes.
4. Nivelar las cargas de trabajo para tener un trabajo continuo. Se debe evitar los "cuellos de botella" debido a un desnivel de las cargas de trabajo.
5. Se debe construir una cultura organizacional orientada a la solución de problemas. En caso de encontrarse un error en el proceso, se debe detener la producción para reparar el problema, dado que se deben enmendar a la menor brevedad posible.
6. Estandarizar las tareas y procesos, en razón de que constituye la base de la mejora continua y del empoderamiento de los empleados. De esta forma se puede observar si el proceso funciona correctamente o si se debe someter a cambios.
7. El control visual impide que se oculten los problemas.
8. Utilizar una tecnología que sea de confianza, que haya sido anteriormente probada y que ayude a generar valor en el proceso productivo.

### **Personas y Colaboradores**

9. Desarrollar líderes, es decir, a las personas que entiendan de buena manera su trabajo en la compañía, vivan la filosofía de esta y se la enseñen al resto de colaboradores.
10. Desarrollar personas y equipos que sean excepcionales mediante el seguimiento de la filosofía de la compañía.
11. Desafiar a los asociados a mejorar, se debe respetar a estos y darles retos que los ayude a mejorar sus capacidades.

### **Resolución de Problemas**

12. Para entender una situación, esta se debe verificar en primera persona.

13. Se deben tomar decisiones a conciencia, estas se deben pensar con calma y considerando todas las opciones que se tienen.
14. Convertirse en una organización que asuma un rol de aprendizaje sistemático, mediante la reflexión.

Si se analizan los principios anteriores, se puede observar que el insumo principal de la filosofía *LEAN* radica en las personas, por lo que se debe hacer énfasis en el aprovechamiento del recurso humano. El potenciar la capacidad de las personas colaboradoras y hacerlas parte del proceso de mejora continua es fundamental para el éxito de las compañías que adoptan la metodología.

*LEAN* se centra en lograr que el personal se comprometa con la organización y pueda mejorar dentro de la compañía. Esto basado en un valor fundamental de esta metodología, que es el respeto hacia las personas, esto incluye tomar en cuenta las ideas de todos sin importar su posición en la jerarquía de la compañía, en aras de una mejora continua de los procesos dentro de la empresa (Quiles, 2014).

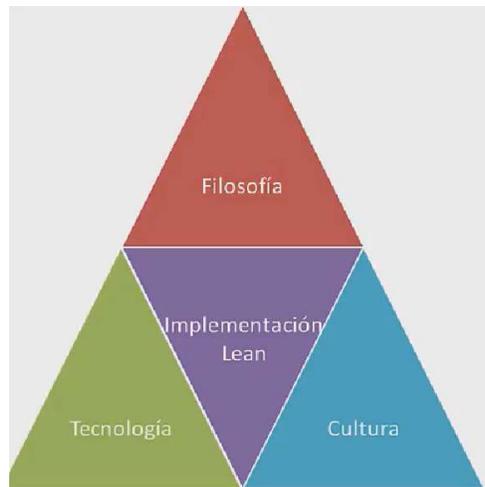
Esto se refleja en las herramientas que se derivan de esta filosofía de producción, donde algunas recientes como el Sistema del Último Planificador, buscan la integración de todos los involucrados en el proceso y con una actitud de respeto, al tomar en cuenta la opinión de todas las partes, se alcanza un consenso de lo que se realizará en un proyecto en un plazo determinado.

En el mismo sentido, la herramienta que es objeto de estudio de esta investigación, el *Takt-Time*, se centra en la mejora de los flujos de trabajo mediante el mejor aprovechamiento del recurso humano, mostrando cómo los principios de la filosofía *LEAN* antes mencionados se reflejan hasta en las herramientas más novedosas que se desprenden de dicha metodología.

El concepto japonés "*Kaizen*" engloba lo anterior de una mejor manera, ya que este se traduce como una mejora de la productividad mediante las personas y la estandarización de los procesos (Quiles, 2014).

#### **2.1.4. Cultura de integración de proyectos LEAN**

Unido a los principios o filosofía de trabajo de la metodología *LEAN* y la posterior aplicación de sus tecnologías, es necesario incluir un tercer aspecto al triángulo de la implementación *LEAN* que es la cultura que se genera en dicha forma de producción y sostiene a los dos primeros puntos. El triángulo es observable en la Figura 7.



**Figura 7. Triángulo de la implementación de la metodología LEAN**

Fuente: Alarcón, 2017.

En la cultura *LEAN* se busca la integración de todas las partes del proyecto mediante el “*LEAN Project Delivery System*”, esto con el fin de que, con la participación de todos los colaboradores que conforman un proceso o proyecto, se pueda tener retroalimentación y mejorar el flujo de generación de valor. Se busca contar con colaboradores competentes y empoderados.

Este sistema tiene entre sus principales metas que las personas que serán parte de un proyecto o proceso se integren lo antes posible al mismo, con el propósito de prepararlas para ser un equipo de trabajo con un objetivo común que es el éxito del cliente final. En una construcción este éxito se basa principalmente en términos de plazo, costo y calidad. (Pérez, 2017).

Lo anterior se logra mediante modelos de contratación colaborativos, también llamados relacionales. Los contratos de este tipo buscan una cooperación entre las partes, en la cual

se generen climas de confianza, comunicación abierta y participación; como si todas las personas participantes fueran parte de una misma empresa.

Se buscan aspectos como la reciprocidad y relaciones a largo plazo, con el objetivo de mejorar en conjunto a través del tiempo. Asimismo, se pretende que las obligaciones sean compartidas al igual que los riesgos, para que todas las partes intervengan de esta manera en el éxito o en el hacer frente en conjunto a las dificultades que se presenten. Esta cultura de compartir riesgos y recompensas crea que los intereses de ambas partes estén alineados hacia un mismo fin (Alarcón, 2017).

La colaboración en este tipo de enfoque busca un nivel alto de trabajo en conjunto con alianzas dadas en los contratos que fomenten una cultura de unión corporativa. Con la utilización del *Lean Integrated Project Delivery* se privilegia la correcta comunicación de las partes por encima de una jerarquía vertical. Ya que el objetivo es lograr una forma de comunicación abierta que permita una mejor comunicación del conocimiento entre todas las partes.

En construcción, por ejemplo, se observa cómo la información fluye de una forma bastante deficiente, dado que se da mediante diferentes grupos, en distintos sitios y por medios de comunicación que llegan a ser bastantes informales. Lo anterior, en gran cantidad de ocasiones crea reprocesos, es decir pérdidas, por lo que corregir esto es una oportunidad de mejora en el ciclo de los procesos constructivos (Orihuela, 2011).

Esto se puede resolver mediante el *Lean Integrated Project Delivery*, sistema que cuenta con cinco fases: definición del proyecto, diseño, abastecimiento, embalaje y uso; así como de 12 procesos tal y como se observa en la Figura 8.

En el ciclo de esta cultura de planificación de proyectos se busca que el trabajo no solo consista en proporcionar al cliente lo que quiere, sino también en decidir lo que este desea. Por ende, es necesario entender el propósito y restricciones que tiene el cliente para llegar a alcanzar sus deseos, para poder realizar una planificación eficiente en aras de alcanzar los objetivos que se planteen en un proceso o proyecto (Ballard, 2008).



**Figura 8. Ciclo del Lean Integrated Project Delivery**

Fuente: Brioso, 2014.

Este proceso de revisión de restricciones permite mediante herramientas como el Sistema del Último Planificador, una liberación de las mismas, mediante la reunión de todas las partes de manera semanal. En esta reunión se busca llevar un control detallado del trabajo realizado, aprender de los procesos de semanas anteriores y planear la labor de las semanas venideras intentando liberar las restricciones posibles y tomando las que no se pudieron liberar (Arias, 2015).

Lo interesante de este ciclo es el cómo los procesos de cada etapa se traslapan, siendo por ejemplo el diseño del producto parte de la fase de diseño y de suministro. Esto busca una integración de los procesos que abogue por los objetivos principales del *LEAN*, que son la ejecución del producto con calidad, manteniendo un flujo de trabajo eficiente y generándole valor al cliente mediante la disminución de los procesos que son considerados como desperdicios.

En el enfoque de integración de proyectos se inicia con las fases de definición del proyecto y de diseño orientadas a la conceptualización del proceso en búsqueda de un costo meta; este costo meta será menor al mejor obtenido anteriormente en un proyecto de igual índole. Esto se da con el fin de crear un sentido de necesidad de mejorar en los procesos de diseño

y suministro, haciendo que los costos de producción de una unidad sean cada vez menores, siempre alcanzando las necesidades y valores operativos de los clientes (LCI, 2014).

Lo anterior es de gran importancia para una industria como la construcción, donde cada vez existe mayor necesidad de otorgar más valor por el mismo precio, con el objetivo de ser más competitivo. Este concepto de buscar agregar más valor utilizando los mismos recursos, es parte del fundamento que genera la herramienta de estudio de esta investigación, ya que se buscan nuevas formas de planificación mediante tecnologías nuevas como el *Takt-Time* que se fundamentan en los principios básicos que presenta la cultura de proyectos *LEAN*.

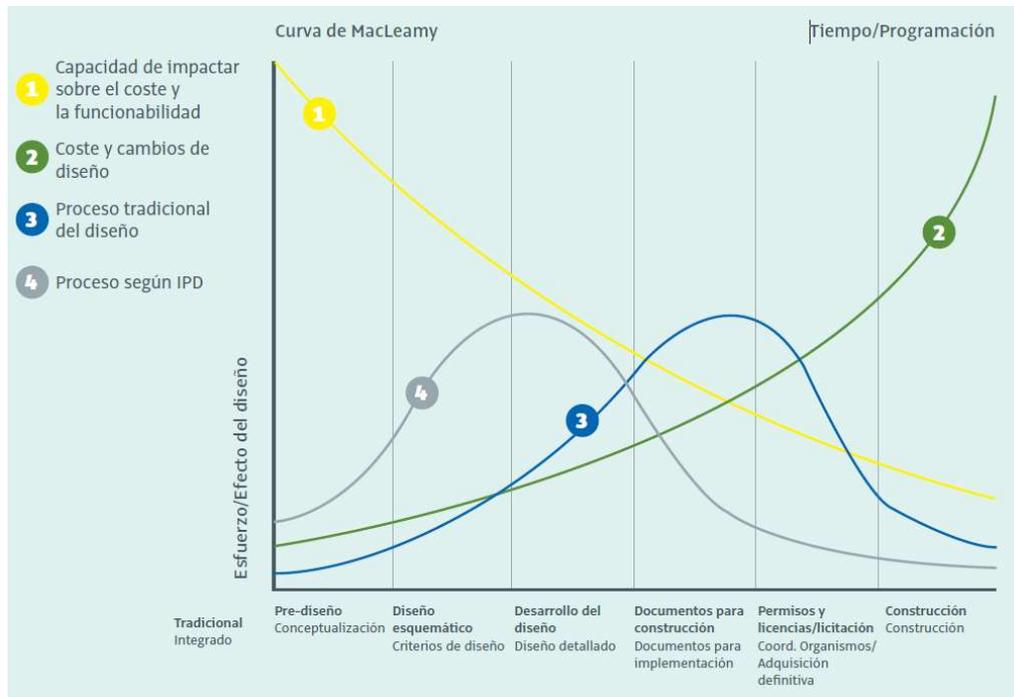
Luego de la fase de diseño, se entra en una fase de suministro, que consiste en una ingeniería de detalle, fabricación y entrega. Este suministro se hace de forma que siga el principio de sistema *pull*, donde la demanda es la que dicta qué tanto se produce y a la vez permite la entrega de los materiales *Just in time*, que consiste en que estos lleguen en el momento exacto en el que se ocupen, para que no produzcan inventarios y hagan un uso ineficiente del espacio (Ballard, 2014).

Conocida la forma de suministrar el material, se procede a la fase de montaje donde se inicia con la entrega de información, materiales, mano de obra y demás componentes necesarios para la ejecución del proyecto. En esta fase la utilización del Sistema del Último Planificador permite el control de la producción y mantener el flujo continuo de materiales, aspecto que podría ser aún mejor con la inclusión de herramientas como el flujo continuo o el *Takt-Time* (Pons, Introducción a Lean Construction, 2014).

Finalmente, este ciclo de *LEAN Integrated Project Delivery* culmina con una fase denominada de uso y mantenimiento, cuando ya el cliente es usuario de por lo que pagó y donde se hace mantenimiento del producto según se especifique. Esta fase culmina también con lecciones aprendidas que pretenden un aprendizaje de los procesos donde se tiene oportunidad de mejora y la identificación de procesos que generaron desperdicio o pérdidas en el flujo de trabajo del proyecto.

El sistema integrado de proyectos *LEAN*, mediante sus distintas fases, busca que todas las partes que forman parte de proyecto se incorporen rápidamente al mismo, debido a que las decisiones de alta importancia se realizan de manera temprana en el proyecto, ya que esto

permite que las mismas sean más eficientes y menos costosas. Esto último supone replantear las fases típicas de un proyecto tradicional. Este concepto se ilustra de mejor manera en la Figura 9.



**Figura 9. Curva de MacLeamy, relación entre tiempo de decisión e impacto en el costo**

Fuente: Pons, 2014.

En conclusión, el *LEAN Integrated Project Delivery* busca una integración de todas las partes del proceso para una rápida toma de decisiones y una colaboración en favor del principio de mejora continua del proceso y retroalimentación del sistema, buscando beneficios a largo plazo mediante la inclusión de nuevas herramientas. Este pensamiento de éxito a largo plazo y de mejora continua es uno de los puntos principales que diferencia a *LEAN* de la forma tradicional de producción, además de otros que se procederá a detallar de una manera más minuciosa.

### **2.1.5. Diferencias entre el enfoque de producción tradicional y LEAN**

Los apartados anteriores tratan principalmente de las bondades que presenta la utilización de la metodología *LEAN*, pero no se ha realizado una comparación entre un enfoque de producción tradicional y este sistema, aspecto que se aborda a continuación.

El enfoque de producción tradicional o en masa, se basa en una cultura más individualista, buscando el beneficio propio. Por el contrario, la metodología *LEAN* busca la cooperación para en conjunto alcanzar metas preestablecidas expresadas en los contratos que se definan. En estos últimos se prevé una alineación entre los intereses de todas las partes (Ballard, 2014).

En cuanto al proceso productivo como tal, se mencionó que para la metodología *LEAN* se busca una reducción de los inventarios y una producción determinada por la demanda. Mientras que la producción tradicional está dada por una economía de escala, por lo que se produce en gran tamaño.

La producción tradicional se basa en un modelo donde los tiempos de ciclo se extienden de más al producir según las economías de escalas. En contraposición, mediante el enfoque *LEAN* se reducen los tiempos de ciclo en aras de satisfacer correctamente la demanda de los clientes, asimismo permite un proceso de mejora continuo donde se debe cada vez agregar más valor al cliente al mismo costo.

El proceso de producción se realiza luego del proceso de diseño en el enfoque de producción en masa, mientras que *LEAN* realiza estas labores juntas, a la vez considerando todas las fases del proceso productivo, factor que no se toma en cuenta en la producción en masa (Ballard, 2014).

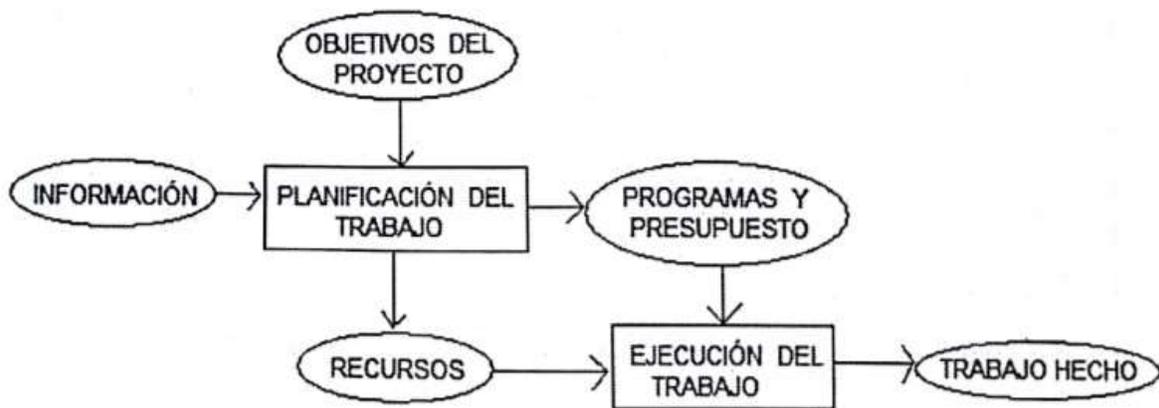
La mano de obra es otro aspecto donde se presentan diferencias, por ejemplo, la producción tradicional supone una mano de obra muy especializada, por lo que se requiere buscar nuevos colaboradores si alguno se va de la empresa, ya que su trabajo no lo puede realizar otra persona en la organización. Por el contrario, el *LEAN* evita esto mediante la capacitación y rotación de su personal en la mayor cantidad de labores posibles.

De igual forma, la mano de obra es empoderada al brindársele mayor participación en la toma de decisiones de los procesos y de realmente influir en la manera en que se planifican los procesos. Situación que en la producción tradicional no es posible, dado que las decisiones importantes son solo tomadas por los altos mandos de la organización (Alarcón, 2017).

Como su principio fundamental lo constata, la metodología *LEAN* también busca resultados a largo plazo, ya que estos serán lo suficientemente buenos para no centrarse en el corto plazo. Mientras que la producción en masa realiza lo contrario, centrándose en resultados inmediatos que generen beneficios lo antes posible (Liker, 2006).

En cuanto al sector de la construcción, la manera tradicional de planificar procesos se da mediante la destreza obtenida por el ingeniero en su experiencia, a través de la utilización de métodos como el CPM, PERT y diagramas de Gantt. El encargado de planificación elabora mediciones de lo realizado contra la obra, pero no mide el desempeño de cómo se hizo la planificación. Lo anterior provoca que los errores de planificación no sean correctamente estudiados y corregidos (Arias, 2015).

Esta manera de planificar los proyectos se puede observar de mejor manera mediante la Figura 10, que muestra cómo los recursos se asignan a las tareas, pero sin considerar restricciones que limiten la realización de estas. Al no hacerse un análisis de restricciones, por lo general se incurre en atrasos en la obra, debido a la programación de actividades que no se pueden ejecutar en ese momento.

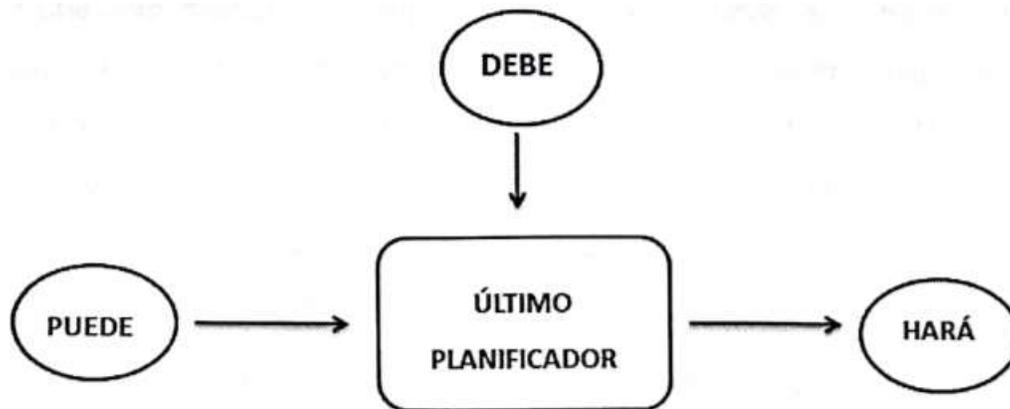


**Figura 10. Esquema de planificación tradicional**

Fuente: Ballard, 2000.

En cambio, *LEAN* mediante el Sistema del Último Planificador busca realizar lo contrario, dado que hace un análisis de restricciones donde se observa el trabajo que se debe realizar y cuál se puede ejecutar. El resultado de este balance arroja el trabajo que se hará, es decir,

las actividades que se efectuarán en un plazo de tiempo establecido. En la Figura 11, se puede observar esta idea de una forma más esquematizada.



**Figura 11. Conceptualización del Sistema del Último Planificador**

Fuente: Ballard, 2000.

Lo que permite principalmente este sistema es tener control, lo cual es de las principales etapas de un proceso de planificación bien elaborado. Esto hace posible un manejo adecuado del proyecto, donde se pueden tomar medidas correctivas a tiempo sobre el trabajo que se debe realizar, pero que está restringido y asigna de una manera más asertiva los recursos a las actividades que se pueden efectuar.

Aquí es donde la nueva herramienta del *LEAN*, el *Takt-Time*, pretende colaborar, con una asignación más eficiente de los recursos de mano de obra, basado en el control que se tiene mediante el Sistema del Último Planificador (Yassine, Saleh, Fayek, & Hamzeh, 2014).

En resumen, este sistema de planificación permite eliminar la incertidumbre del proceso de planificación del proyecto mediante un mejor control del trabajo a realizar y es complementado con el *Takt-Time* para mejorar la asignación de recursos. Lo anterior muestra cómo el *LEAN* en la construcción cuenta con herramientas de control y mejora de procesos, aspectos con los que no cuenta la planificación tradicional.

## **2.2. Construcción Flexible (*LEAN Construction*)**

### **2.2.1. Adaptación de *LEAN Production* a *LEAN Construction***

La adaptación de la metodología del *LEAN Production* a la industria de la construcción empieza a principios de los años 90s, con un primer acercamiento del investigador Lauri Koskela en 1992 con su publicación "*Application of new Production philosophy to construction*", donde buscó incentivar a la industria de la construcción a considerar la aplicación de las herramientas de *LEAN* en los proyectos.

La investigación de Koskela se enfocó principalmente en la necesidad de introducir los conceptos de flujo y añadir valor en el proceso constructivo, ya que en esa época la construcción se basaba solamente en el concepto de transformación de materias primas en un producto final.

Este cambio de pensamiento de ver la construcción como un proceso de flujo, busca que se puedan aplicar mejoras al ciclo productivo mediante la implementación de ideas de investigación de operaciones, que permitan la creación de nuevos métodos y herramientas que mejoren la forma en la que se construye (Sacks, 2017).

De este punto de partida hasta la actualidad, han pasado más de 25 años durante los cuales han surgido investigadores muy reconocidos internacionalmente en cuanto a construcción flexible tales como Iris Tommelien, Marton Morezky, Glen Ballard, Dean Reead, Carlos Formoso, Rafael Sacks y en Latinoamérica, Luis Alarcón. Cabe destacar que la literatura producida en estos años ha sido mayoritariamente en inglés, por lo que la producción de nuevas fuentes en español es un esfuerzo que se debe seguir para propiciar una mayor expansión de la filosofía *LEAN* en Latinoamérica y países de habla hispana.

Estos autores reconocen que la construcción ha estado sufriendo de un encarecimiento desmedido de los proyectos y estándares de calidad deficientes en los últimos años, por lo que ha puesto en marcha la búsqueda de la implementación de las herramientas *LEAN* con el fin de enmendar estas falencias.

Iris Tommelien (2017), por ejemplo, enfatiza que *LEAN* aplicado a la construcción busca la mayor eficiencia de los procesos, pero haciendo hincapié en la menor utilización de recursos

de mano de obra. Lo anterior va ligado hacia la investigación de la herramienta *Takt-Time*, donde el principal objetivo de esta es lograr un mejor aprovechamiento de dichos recursos.

Esta investigadora expone cómo la metodología *LEAN* ha ido ganando terreno en la forma en que las empresas de construcción planifican los proyectos y cómo estas se han vuelto más competitivas que otras. Lo cual propicia una ventaja competitiva que a largo plazo creará que las demás empresas se tengan que trasladar a esta filosofía de producción, dado que, de lo contrario se verán relegadas al fracaso.

Dean Reed por su parte, se enfoca en que la construcción puede aplicar los conceptos del *LEAN Production*, solo que se debe tener en cuenta que la construcción cuenta con diferentes tipos de clientes con productos personalizados y no en masa como en la industria de la manufactura.

Además, considera que la metodología de la construcción flexible ha avanzado de buena forma en los 25 años de aplicación desde su primera aparición en la investigación de Lauri Koskela. Aunado a lo anterior, expone cómo a pesar de que esta cuenta con herramientas sólidas, como el Sistema de Último Planificador, presenta un reto principal, el cual consiste en conseguir el avance de un enfoque tradicional de gestión de proyectos a la construcción flexible por parte de las empresas constructoras, las cuales son reacias al cambio, al haber desarrollado sus proyectos de la misma forma por varias décadas (Reed, 2017).

El enfoque tradicional de gestionar los proyectos se ha basado generalmente en el control de costos y plazos, pero se ha dejado de lado lo que más le importa al cliente: el valor que para este tiene el proyecto. Es por ello que la aplicación de la construcción flexible se debe centrar en el producto que se le entrega al cliente. Por lo tanto, los esfuerzos de mejora en la forma que se dan los procesos y la manera en que se planifican los proyectos, deben ir dirigidos a otorgar el mayor valor posible al cliente, otorgando a este un producto de gran calidad al final del proyecto.

La investigación de la construcción *LEAN* ha demostrado que la aplicación de herramientas de la metodología proveniente de la industria de manufactura no es suficiente, ya que se requiere también de un proceso energético para su éxito. Esto último hace referencia a que se debe adoptar la cultura y filosofía del *LEAN*, donde se busca que todos los colaboradores se empapen de la misma y tengan un conocimiento profundo de esta corriente de

pensamiento, basado en los principios básicos de la metodología, la cual tiene el mejoramiento continuo de los procesos de la empresa como principal objetivo (Sacks, 2017).

Asimismo, el *LEAN Construction* en aras de mejorar la forma en que se construye, busca una mayor participación de los colaboradores en el proceso de gestión de los proyectos, donde los altos mandos de un proyecto están anuentes a posibles sugerencias que le hagan directamente los obreros. Situación que se aparta de la cadena de mando tradicional, ya que esta solo crea atrasos para la transferencia de información.

La comunicación y la transferencia de información son puntos fundamentales de *LEAN*, así como el empoderamiento de los empleados de la empresa. Se considera que este sistema de producción solo se puede lograr con la participación de todos los involucrados del proyecto. Es decir, teniendo en cuenta al propietario, ingenieros, maestros de obras, subcontratistas y otros partícipes de la obra (Formoso, 2017).

Esta filosofía de producción en la construcción, como se denota, tiene la misma base teórica que la utilizada en los procesos de manufactura. Esto en razón de que busca de igual forma la identificación de procesos generadores de desperdicios para poder reducirlos para generar un mejor desempeño de los recursos en cuanto a calidad, tiempo y costo, agregando el mayor valor posible al producto final.

De esta corriente de pensamiento aplicada a la construcción, en 1997 fue fundada una institución sin fines de lucro llamada Instituto de Construcción Flexible (*LEAN Construction Institute*) ubicado en Estados Unidos, este se dedica al desarrollo e investigación del conocimiento de la metodología (Zander, 2011).

Aunque se observa que la filosofía *LEAN* que se desprende de la manufactura es aplicable de gran forma en la construcción, Lauri Koskela afirma que el contexto de la construcción es muy distinto, por lo que la inclusión de nuevos principios y la aplicación de nuevas herramientas es necesario. Estos principios y herramientas se proceden a ampliar a continuación en las siguientes secciones de este documento.

### **2.2.2. Principios de la construcción flexible**

La definición de la construcción flexible según el *Lean Construction Institute* es que este es un enfoque basado en la gestión de producción para la entrega de un proyecto y que define una nueva manera de diseñar y construir edificios. La construcción flexible se extiende desde los objetivos de un sistema de producción donde se maximiza el valor y se minimizan los desperdicios, hasta las técnicas específicas y aplicación en la entrega y ejecución de un proyecto.

Esta busca como resultado, el mejoramiento del rendimiento total del proyecto, el control que permita que las actividades se ejecuten y asegurar la entrega de valor al cliente mediante la reducción de desperdicios.

*LEAN Construction*, abarca los principios de la producción *LEAN* y los traslada a las distintas fases de un proyecto, desde su ejecución hasta su puesta en servicio. Esta metodología de trabajo persigue la excelencia a través de un proceso de mejora continua en la empresa, que consiste fundamentalmente en minimizar o eliminar aquellas actividades que no añaden valor al proceso constructivo.

Entre los procesos que se deben evitar para mejorar los flujos de la cadena de valor en la construcción, ya que causan pérdidas se pueden mencionar los siguientes:

- Esperas por falta de equipos o materiales.
- Esperas debido a actividades previas que no se han terminado o se realizaron de manera inadecuada.
- Esperas por falta de una correcta instrucción para realizar el trabajo.
- Tiempo ocioso debido a la actitud del trabajador.
- Sobre población en el sitio de trabajo.
- Desplazamientos innecesarios, debido a la falta de recursos e inadecuada planificación del sitio de trabajo.
- Reprocesos debido a trabajos que no cumplieron las especificaciones que se dieron o por cambios en los diseños iniciales.

Esta disminución de pérdidas y aplicación de la construcción flexible es una alternativa interesante en la administración de proyectos y está basada en la deliberación de materiales

y flujo de información, además de la generación de valor en la construcción; así como en una gestión y producción de los proyectos diferentes, siguiendo los principios antes mencionados en el sistema integrado de proyectos *LEAN* (Abdelhamid, 2007).

Para Luis Felipe Pons (2014), la adecuada adopción de la construcción flexible depende de tres factores:

1. Una filosofía que orienta la gestión y la estrategia global.
2. Tecnologías y métodos que apoyan la implementación de la filosofía.
3. La creación de una cultura que facilita que las personas sostengan la implementación.

Lo anterior tomando en consideración que la construcción presenta ciertas particularidades en comparación de otras industrias donde se aplica la metodología *LEAN*, en razón de que se tienen proyectos de naturaleza única, cada obra se realiza en un lugar distinto y que están a cargo por una multi-organización de carácter temporal, que según el sitio y condiciones de proyecto necesitan de medios y recursos diferentes (Koskela, 2000).

Es debido a estas peculiaridades que, aunque la mayoría de principios del *LEAN Production* son aplicables, se deben implementar unos nuevos que se adapten de una manera más adecuada al sector de la construcción. Estos principios que surgen para la correcta aplicación de la construcción flexible son once (Koskela, 2000):

**Reducir las actividades que no aportan valor al cliente:** en lo posible se debe disminuir o eliminar las actividades que son innecesarias para generar valor en el ciclo productivo. Esto es fundamental para poder lograr que el sistema mejore, estableciendo un flujo continuo de trabajo y potenciando la producción.

Entre estas actividades a reducir, se encuentran los procesos que generan desperdicios que se expusieron anteriormente, para enfocarse en las actividades generadoras de valor y mejorarlas continuamente.

**Incrementar el valor del producto:** solo la eliminación de los desperdicios no es suficiente, ya que, si las actividades generadoras de valor no son eficientes, el producto final que se le entrega al cliente no es el mejor o más adecuado. Por ende, se debe lograr un

cumplimiento de las expectativas del cliente, por lo que se debe de conocer los principales aspectos que este valora; y, para en el caso de la construcción, incluirlos en el diseño y la construcción de la obra.

Esto se logra mediante una buena comunicación con el cliente y una investigación adecuada de las necesidades del mismo, así como mediante la retroalimentación que se obtiene en la fase de post-construcción.

**Reducir la variabilidad:** se debe buscar un estándar de calidad adecuado, que disminuya la variación del producto resultante. La variabilidad produce desventajas a la producción, ya que genera actividades que interrumpen la cadena de generación de valor y crea mayores tiempos de ciclo.

Un producto uniforme brinda una mayor satisfacción al cliente y se logra mediante la reducción de materiales defectuosos, procesos estandarizados y una comunicación eficiente entre las partes.

**Reducir el tiempo de ciclo:** según Koskela (2000), el tiempo de ciclo es la suma de los tiempos de flujo que son necesarios para producir una parte de la producción. Con lo que se reducen las actividades que generan desperdicios, se reduce el tiempo de ciclo. Esto es uno de los mayores fundamentos en lo que se basa la búsqueda exhaustiva de procesos generadores de pérdidas para eliminarlos.

Este principio se logra siguiendo la filosofía *LEAN* de manera activa, dado que al disminuir pérdidas y centrarse en mejorar los procesos, se logra reducir los tiempos de ciclo, aspecto que luego será de gran importancia para la justificación de incorporación de herramientas como el *Takt-Time* en la construcción civil.

**Simplificación de procesos:** se debe reducir la cantidad de pasos necesarios para llegar a completar una actividad o producto. Simplificar o mejorar los procesos es la forma ideal para la mejora de los flujos de trabajo; procesos simples tienen menores gastos, son más confiables y tienen menores tiempos de ciclo.

La disminución de los pasos o implicación de procesos, en la construcción, se puede lograr, por ejemplo, mediante la utilización de elementos prefabricados y cuadrillas polivalentes (Gutierrez, 2011).

**Aumentar la flexibilidad de las salidas:** se basa en la mejora de las características del producto que se entrega al cliente final, sin aumentar el costo de estas. Esto en construcción se puede observar esencialmente en el atestado de que todas las obras son distintas y que este grado de personalización de cada proyecto no debe afectar de manera considerable el costo que tiene para el cliente (Hashem, 2015).

**Aumentar la transparencia del proceso:** esto busca la mejora de los controles visuales del proceso constructivo, así como la calidad y la organización del lugar de trabajo (Gutierrez, 2011). Esto se realiza mediante una relación de confianza entre todas las partes, sin ocultar defectos o malos procesos. Esto dado que, mediante los contratos relacionales, se busca la mayor transparencia del proceso con la finalidad de mejorar las falencias del ciclo productivo.

Algunos controles visuales que siguen este principio y que se aplican actualmente en la construcción, son las listas de verificación que pretenden una transparencia del proceso y detectar errores en un momento temprano de las actividades.

**Centrarse en el proceso global:** se trata de conocer el proyecto en su totalidad para así poder conocer cuáles son los puntos de mejora que pueden dar mayor valor al proceso constructivo. Se busca un reconocimiento de los resultados globales y probar soluciones de mayor eficacia.

**Introducir mejoras continuas en el proceso:** se busca estar anuente a siempre buscar oportunidades de mejora, mediante la información que se genera de cada proyecto. Esto se realiza mediante el trabajo en equipo y una gestión de proyectos colaborativa que se enfoque en generar el mayor valor posible del proceso constructivo.

Este principio se basa en el *Kaisen* de la filosofía *LEAN*, que tiene su base en la identificación de las restricciones que presentan los procesos y las causas de no cumplimiento.

**Mejorar tanto la conversión como el flujo:** la mejora del flujo, aunque consuma mayor tiempo puede conllevar a costos menores en comparación con la mejora de la conversión, ya que esta se relaciona con la actualización de tecnologías. Las mejoras de flujo y conversión están ligadas, pues una buena administración de los flujos permite la introducción de tecnologías y viceversa (Arias, 2015).

La herramienta *Takt-Time*, objeto de esta investigación, busca la incorporación de una nueva tecnología que mejore los flujos de trabajo, es decir, se apega de gran forma a este principio de la construcción flexible.

***Benchmarking:*** se comparan las actividades de la corporación con los de los líderes en el área en que se trabaja, para así incorporar lo mejor que presentan las otras empresas. Busca una mejora continua de todo el sector y no de una sola empresa.

Conviene señalar que estos principios no deben de seguir un orden especial para su aplicación, la implementación de la construcción flexible se realiza según las necesidades de cada empresa y proyecto (Pons, 2014). Algunas recomendaciones que sí se puede manifestar sobre la aplicación de *LEAN Construction* incluyen proporcionar educación de una mayor eficiencia en las empresas y la creación de software que apoye la necesidad de la colaboración interna y externa.

De igual forma, existe una necesidad de adoptar un enfoque de colaboración hacia *LEAN* para maximizar ganancias, con una promoción y planificación del cambio cultural para una implementación plena de *LEAN*. Esto es posible compartiendo la información desde los altos mandos hasta el nivel más bajo de la organización.

De estos principios anteriores se desarrollan las herramientas del *LEAN Construction* que se conocen a hoy, así como la investigación de otras nuevas que mejoren la forma en que se planifican los proyectos y se ejecutan las construcciones de las obras civiles. Estas herramientas que se aplican siguiendo los postulados de la construcción flexible son ampliadas a continuación.

## 2.3. Herramientas de la construcción flexible

### 2.3.1. Líneas de Balance

Las líneas de balance es una técnica de programación que permite hacer una representación gráfica a partir de líneas de las actividades que conforman el trabajo de los proyectos de construcción. Estas líneas de balance son más efectivas si son aplicadas a edificios verticales o cualquier proyecto lineal como carreteras o tuberías.(Gómez, Quintana, & Ávila, 2014).

Este método consiste en un gráfico de elementos en contra del tiempo cuyo propósito es el balancear la velocidad en la que avanzan las actividades del proyecto y tener un insumo visual que permita observar posibles interferencias entre actividades que necesitan ser eliminadas, ya que entorpecen los flujos de trabajo en el proyecto.

Las líneas de balance representan la duración de las actividades y si fueron realizadas en conjunto con otras actividades o si se trabajaron en simultáneo con otras. En la Figura 12, se puede observar una programación mediante este método, observando cómo hay actividades que se realizan simultáneamente cuando se intersecan líneas y cómo fueron elaboradas en solitario cuando las líneas no se cortan entre sí.

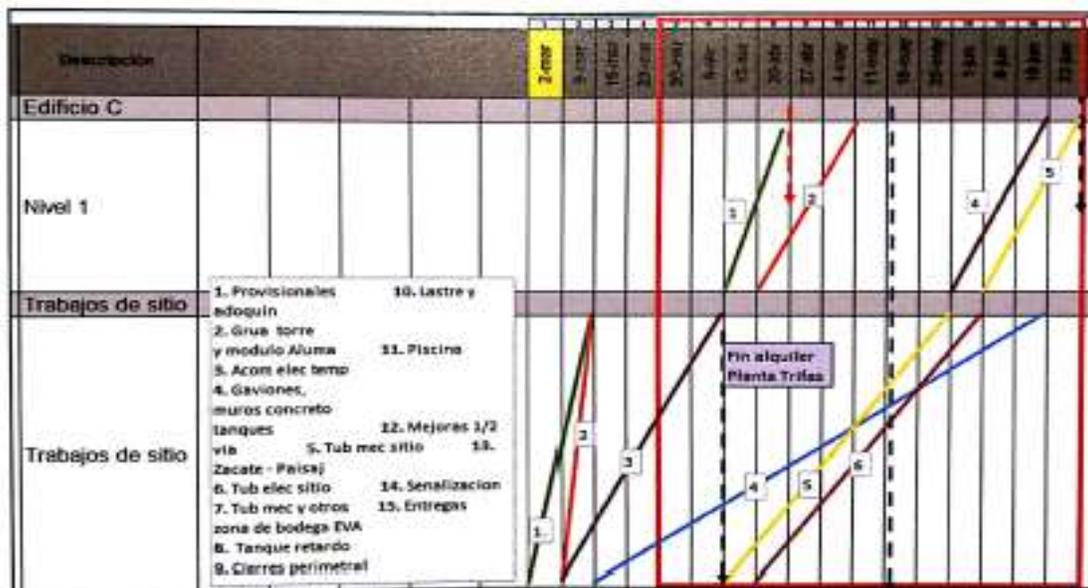


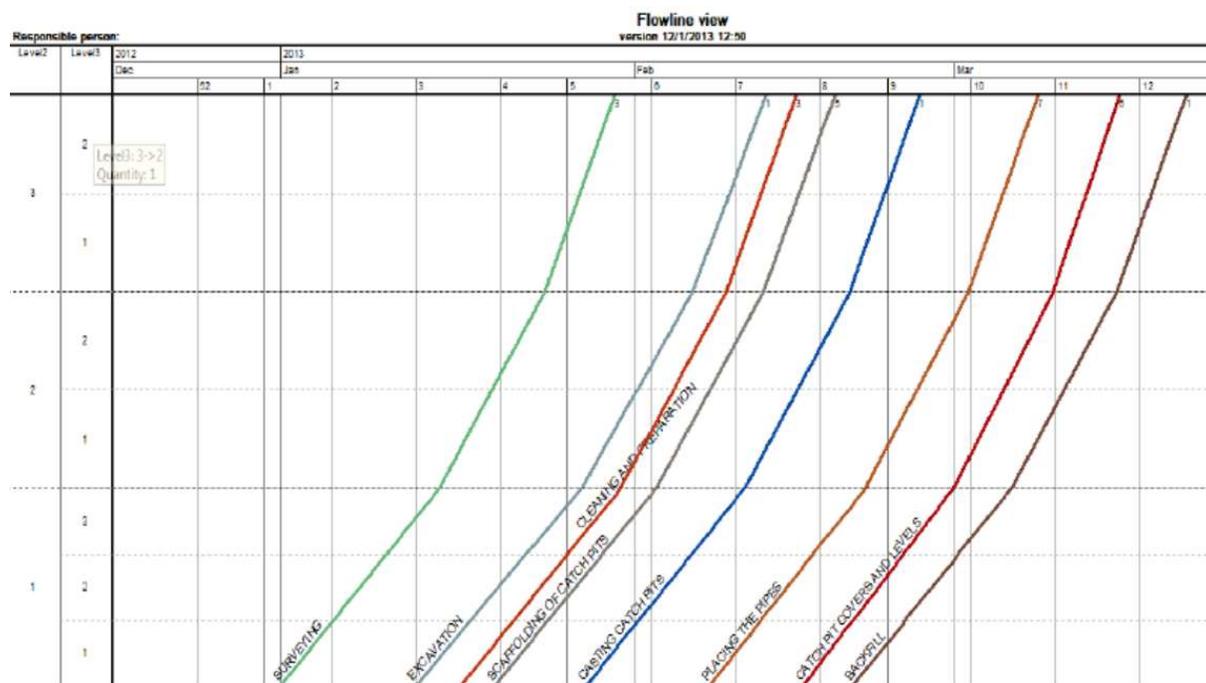
Figura 12. Ejemplo de aplicación de líneas de balance en un edificio en construcción

Fuente: Arias, 2015.

Este método permite un proceso de planificación donde se puede optimizar la utilización de mano de obra, cambiando el rendimiento de algunas actividades mediante la variación de las cuadrillas necesarias para completarlas. Esto pretende eliminar las interferencias entre las actividades y permitir un mejor flujo de trabajo que aumente el rendimiento del proceso constructivo.

En este último aspecto es donde se centra la aplicación del *Takt-Time*, ya que uno de los principios básicos de su aplicación es el buscar el balance de las cargas de trabajo para permitir un flujo más continuo y eficiente del trabajo. Lo anterior mediante la reasignación del tiempo que dura cada actividad, que debe ser igual o muy similar en todas las actividades, con la menor interferencia posible entre actividades.

Esto busca, en términos de líneas de balance, un paralelismo de las líneas y que no se intersequen entre sí, tal y como se puede observar en la Figura 13, que sean del mismo tamaño y lo más paralelas posibles (Yassine, Saleh, Fayek, & Hamzeh, 2014). De igual manera, busca una disminución de los espacios libres entre el término de una actividad y el inicio de otra.



**Figura 13. Líneas de balance mediante Takt-Time**

Fuente: Yassine, Saleh, Fayek & Hamzeh, 2014.

Esta reasignación de los tiempos de trabajo, influye directamente en la cantidad de mano de obra necesaria para cada actividad, aspecto que representa el punto principal de esta investigación, en la cual se estudia si este reacomodo de trabajo al aplicar *Takt-Time*, es más eficiente en cuanto a utilización de los recursos de mano de obra o no.

### **2.3.2. Sistema del Último Planificador**

El Sistema del Último Planificador o *Last Planner System* ha constituido una de las herramientas de la construcción flexible más utilizadas internacionalmente y también en el ámbito nacional, ya que esta representa una forma de llevar un control de las obras en varios niveles.

Esta herramienta lo que permite principalmente es elaborar una planificación basada en las restricciones que presenta el trabajo que se plantea realizar. Esto para hacer un balance entre las actividades que se deben realizar, las que se pueden realizar y las que finalmente se realizarán.

Busca por lo tanto un balance de las actividades que deberían hacerse, dado que se encuentran en el plan maestro, con las que se pueden hacer, en razón de que están libres de restricciones, para así dar una planificación del trabajo que se realizará en un tiempo determinado (Pons, 2014).

Lo que se busca con esta herramienta es un equilibrio de las cargas de trabajo, una revisión de la secuencia de actividades, mejorar los métodos de ejecución y analizar las posibles restricciones de trabajo.

La identificación de las restricciones realizada mediante el Sistema del Último Planificador, permite planificar el trabajo que se ejecuta desde varios niveles de detalle; desde un nivel de planificación global o de plan maestro, hasta un nivel de planificación semanal que permite un nivel de detalle alto, eliminado la variable de incertidumbre que se presenta en las etapas de planificación (Díaz, 2007).

En el enfoque tradicional de planificación de proyectos, la programación de actividades se elabora frecuentemente con base en el conocimiento empírico del planificador, por lo que

esta programación se realiza sin tomar en cuenta las restricciones presentadas por subcontratistas y otras partes partícipes de la obra.

En cambio, el *Last Planner System* pretende un sistema colaborativo basado en el compromiso de todos los partícipes de la obra (subcontratistas, encargados de seguridad ocupacional, maestros de obras, ingenieros, entre otros). Este se vale de reuniones semanales donde se planifica el trabajo a realizar (planificación semanal) y se busca la liberación de restricciones del trabajo a realizar en las próximas seis semanas (planificación intermedia). Lo anterior basado en un programa maestro realizado al inicio del proyecto (Arias, 2015). Esto se ve gráficamente reflejado en la Figura 14.



**Figura 14. Esquema del proceso de planificación mediante el Sistema del último Planificador**

Fuente: Pons, 2014.

Las fases del Sistema del Último Planificador buscan en sí la planificación anticipada, el compromiso con la planificación y el aprendizaje a través de sus diferentes etapas:

**Plan Maestro:** también conocida como programación estratégica. Es el programa base de todas las actividades del proyecto, definiendo la sucesión del trabajo a realizar y el costo que tendrán. Es lo que fija el trabajo que “se debe realizar”, así como los hitos exigidos en el cumplimiento del plazo establecido (Arias, 2015).

Esta es realizada con ayuda de herramientas como los diagramas de Gantt, que, aunque son parte del enfoque tradicional de programación de proyectos, son de gran utilidad al ser implementadas correctamente en un plan maestro, dado que permiten una definición del trabajo a realizar.

Para una adecuada distribución de este trabajo es pertinente identificar los responsables de cada actividad para que sean partícipes de esta programación estratégica. Las actividades que se definen en esta fase serán luego analizadas en las etapas de planificación intermedia y semanal, donde se verán a detalle las restricciones que presentan y cuando realmente podrán ser realizadas.

Por tanto, lo ideal es que esta programación estratégica se realice en conjunto con todos los partícipes del proyecto para generar un plan de trabajo que no genere restricciones en exceso y que permita que en las fases de programación intermedia y semanal el trabajo que se puede hacer y que se va a realizar sea muy similar al que se debía hacer (Arias, 2015).

**Planificación Intermedia:** en esta fase se presta principal atención a las actividades que están próximas a realizarse, generalmente a un plazo de seis semanas. Esta etapa de planificación lo que busca es estudiar las restricciones que presentan las actividades y anticiparse a la fecha de realización para liberar las restricciones que se presenten, señalando a un encargado para la liberación de las mismas.

Entre las restricciones que se pueden presentar en esta fase incluyen, falta de materiales, subcontratos, mano de obra, diseños, *submittals* entre otros. Por lo tanto, resolver estos problemas es de gran importancia, ya que permite no sufrir atrasos y sobrecostos debido a actividades restringidas y mal planificadas.

La planificación intermedia permite al programador tener una visión ampliada del trabajo que está cercano a realizarse y definir cómo se va a realizar el trabajo de las siguientes semanas según los objetivos y capacidades que se tienen para un plazo de tiempo establecido.

Entre otras funciones de la planificación intermedia se pueden mencionar las siguientes:

- Equilibrio de las cargas de trabajo y capacidad.

- Revisión de la secuencia de las actividades.
- Desarrollo eficiente de los métodos de ejecución.
- Mantener un listado de actividades listas para realizar.

**Planificación Semanal:** en el nivel de planificación semanal se busca el control del trabajo basado en una cultura cooperativa y mejoramiento continuo de gestión del proyecto, por medio de la reunión de todas las partes que realizan actividades de generación de valor en el proyecto.

Se pretende una asignación adecuada de las actividades semanales que tome en cuenta aspectos como la definición correcta de las mismas, una secuencia de trabajo lógica, así como proporcional a la capacidad de las unidades productivas y con los prerequisites necesarios resueltos (Arias, 2015).

Al realizar la repartición de trabajo semanalmente, se permite una menor incertidumbre de los flujos de trabajo y un mayor balance de la carga de trabajo por parte de las diferentes unidades de producción.

Una vez que se consideran todos estos aspectos, se parte de que las actividades que se incluyen en la planificación semanal, son actividades que representan un compromiso y que deben de ser efectuadas esa semana, en caso de que no sea así, se consideran como no cumplimientos.

Una parte fundamental de este nivel de planificación es la retroalimentación, ya que se enfatiza en reconocer cuáles fueron las causas que no permitieron cumplir con el trabajo que se programó en un inicio, a estas razones se les llama causas de no cumplimiento. Estas buscan identificar motivos que afectan los procesos y cuáles son los que más se repiten, para llevar un control de estas razones para intentar solventar el problema que las causa y mejorar así el proceso constructivo.

Entre las causas de no cumplimiento más comunes se puede encontrar (Ballard, 2000):

- Fallas en la comunicación.
- Sobreestimación de la capacidad de las cuadrillas.
- Cambios en las prioridades de la obra.

- Condiciones adversas del clima.
- Mal rendimiento de alguna cuadrilla, pudiendo afectar solo su trabajo o el de otras cuadrillas también.

De igual manera en dicho proceso de retroalimentación también se busca obtener el porcentaje de actividades completadas (PAC), definido mediante la siguiente expresión:

$$PAC = \frac{\text{Actividades Completadas}}{\text{Actividades Comprometidas}} \times 100\%$$

Mediante este indicador se busca obtener un valor o calificación sobre 100 de la planificación realizada. Este valor de PAC permite observar si la forma de planificación es correcta o si se debe incluir cambios en ella, así como poder evaluar cuadrillas y su desempeño en el proyecto.

Las etapas anteriormente descritas (programa maestro, planificación intermedia y planificación semanal) son sintetizadas de gran manera en la siguiente figura:



**Figura 15. Resumen del Sistema del Último Planificador**

Fuente: Pons, 2014.

En resumen, este enfoque de planificación permite una serie de métodos para resolver la incertidumbre de la planificación de una forma distinta, ya que utiliza una programación de actividades a tiempos más cortos, siendo más predecible y seguros.

Además, permite un proceso de aprendizaje continuo y de toma de acciones correctivas durante el proyecto, en razón de que da un mayor énfasis al trabajo e incentiva a un mejor flujo del trabajo a través de las unidades de producción al tener objetivos más alcanzables (Ballard, 2014).

Cabe aclarar que este proceso no es perfecto y puede presentar errores debido a fallas comunes de aplicación como las siguientes (Ballard, 2000):

- La información proporcionada al planificador es equivocada.
- Se planifica más trabajo del que se puede realizar dentro de la planificación semanal.
- Se encuentran errores de diseño que no permiten el correcto avance de la secuencia de actividades.
- Las condiciones del clima fueron mal previstas.

Asimismo, un punto a señalar y que será de gran importancia, es que generalmente la planificación semanal mediante el Sistema del Último Planificador no es realizada mediante rendimientos, sino a través de la experiencia y criterio de cada uno de los responsables de cada una de las actividades.

Este aspecto crea incertidumbre en el proceso de programación y posibles pérdidas en el proceso de generación de valor, aspecto que el *Takt-Time* sí involucra al realizar su planificación, por lo que esta última herramienta representa una posible alternativa aún más eficiente en la gestión de proyectos.

### **2.3.3. *Takt-Time***

Como se ha mencionado previamente en esta investigación, uno de los mayores principios de la construcción flexible es la búsqueda de flujos de continuos de trabajo y la reducción de la variabilidad del proceso. Una clave para esto es la búsqueda de producir a una tasa continua y a un ritmo impulsado por la demanda, tasa de producción que es conocida como *Takt-Time* (Yassine, Saleh, Fayek, & Hamzeh, 2014).

El *Takt-Time* como sus principales metas tiene que buscar introducir a los proyectos un método para reducir la variabilidad, disminuir los tiempos del proyecto y minimizar los costos del proyecto al hacer un uso más eficiente de los recursos, principalmente los de mano de obra.

Con la estabilización de la variable de incertidumbre del proceso de planificación mediante el Sistema del Último Planificador y la eliminación de los procesos que representan pérdidas, el siguiente paso es el mejoramiento de los procesos que generan trabajo, con herramientas como el *Takt-Time* (Formoso, 2017).

El *Takt-Time* consiste en la búsqueda de un tiempo o pulso en el cual deben ser completadas las actividades de un proceso, esto para lograr cumplir con la demanda de producción establecida por un consumidor o en este caso, el planificador para cumplir con las demandas del cliente (Ducharme & Ruddick, 2004).

El objetivo de esta herramienta, en la construcción, consiste en formar un plan de producción fuera y dentro de la obra que permita un proceso continuo para un cierto alcance de trabajo en un tiempo asignado (Pons, 2017).

El flujo de trabajo es un aspecto fundamental en cual proceso productivo, pero siempre surgen dudas sobre a qué velocidad se debe de dar el mismo. En este momento es donde surge la respuesta al valerse del *Takt-Time*, el cual considera la tasa a la cual la demanda provista por los clientes iguala a la oferta sin la necesidad de generar inventarios (Liker, 2006).

De igual forma, esta herramienta busca una transición más suave de las actividades del ciclo de producción constructivo, a los cambios entre áreas de trabajo. Además, se enfoca en que haya una transferencia más adecuada de la información, ya que la herramienta incentiva el flujo continuo de trabajo y de utilización de materiales (Tommelien, 2017).

En los procesos de planificación de una obra civil, generalmente se usan enfoques basados en la programación de actividades discretas y cómo estas se ven lógicamente unidas mediante la identificación de una ruta crítica y diagramas de barras realizados mediante los diagramas de Gantt.

En el caso de la implementación de herramientas *LEAN*, con el *Takt-Time* principalmente incluido, se busca el manejo de los recursos de manera efectiva para generar una planificación que tome en consideración la relación entre actividades y la generación de un flujo de valor y trabajo entre las mismas (Yassine, Saleh, Fayek, & Hamzeh, 2014).

A partir de lo anterior, donde se programan actividades en relación a los recursos disponibles, el *Takt-Time* se presenta como el máximo tiempo permisible para completar un proceso determinado en cualquier etapa del proyecto.

Por lo tanto, en construcción el *Takt-Time* puede ser definido como la tasa promedio de progreso a la que se deben realizar todas las actividades de un proceso constructivo para que estas se realicen de la manera más ideal, en cuanto a tiempo y recursos utilizados (Kenley & Seppanen, 2009).

De una manera general el *Takt-Time* puede ser definido matemáticamente como:

$$Takt - Time = \frac{Tiempo\ de\ trabajo\ disponible}{Cantidad\ de\ trabajo\ demandado}$$

Es decir, por ejemplo, si se tienen 9 días para realizar 3 actividades, el *Takt-Time* de dicho proceso sería de 3 días por actividad, para equiparar la cantidad de trabajo necesaria para culminar el proceso.

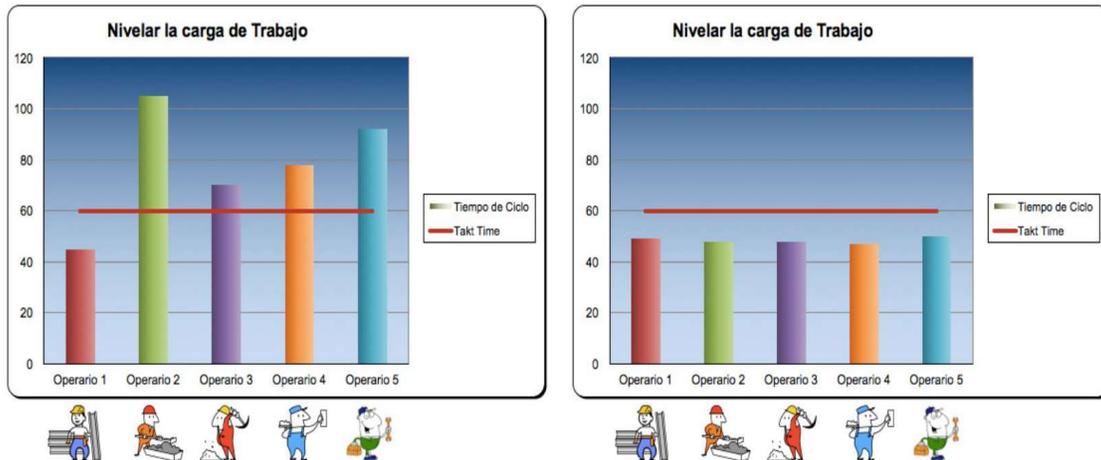
Se debe aclarar que el *Takt-Time*, es distinto a lo conocido como *Cycle Time* o tiempo de ciclo. El último hace referencia a la capacidad productiva que se tiene o en cuánto tiempo se **puede** realizar una unidad de trabajo, mientras que el *Takt-Time* se refiere al ritmo con el que se **deberían** completar las actividades para cumplir con el trabajo demandado.

Sin embargo, es necesario recalcar que el *Cycle Time* es un parámetro importante a la hora de medir el rendimiento del *Takt-Time*, ya que si es mayor al *Takt-Time*, significa que la capacidad de producción es menor a la que se debería tener y si es menor significa que se tienen más recursos que los necesarios y se están produciendo pérdidas o desperdicios (García, 2013).

Con la finalidad de facilitar el entendimiento de la herramienta, se presenta un ejemplo en la Figura 16, donde se observa una planificación inicial donde el plazo necesario para

culminar cada actividad es diferente. Luego se procede a realizar una segunda planificación donde se modifican los tiempos de ciclo de cada actividad, para que sean similares y cercanos al *Takt-Time*.

En la Figura 16, las barras verticales se refieren al tiempo de ciclo de cada actividad y las horizontales en rojo al *Takt-Time*. Esto puede hacerse tanto para actividades simultáneas, como no simultáneas.



**Figura 16. Cargas de trabajo con la aplicación de Takt-Time**

Fuente: Pons, 2017.

La importancia de la aplicación de esta herramienta en la industria de construcción recae en que si se realiza este "reacomodo" de las cargas de trabajo, los recursos de mano de obra serán más eficientes, lo que mejoraría así el flujo de trabajo y crearía oportunidades de disminuir los tiempos muertos de las cuadrillas, al cumplir con el proceso de producción de este trabajo de investigación, es decir, un proceso constructivo (Yassine, Saleh, Fayek, & Hamzeh, 2014).

En construcción se presentan diversas dudas sobre cuál debe de ser la demanda utilizada para realizar el proceso de aplicación del *Takt-Time*. No obstante el avance de la metodología e investigaciones sobre el tema han concluido que el Sistema del Último Planificador debe de ser el método utilizado, ya que la demanda será dada por una programación que se basa en el acuerdo mutuo entre los diferentes actores del proyecto mediante un proceso de interacción social que define las necesidades constructivas para un tiempo determinado (Seppanen, Ballard, & Pesonen, 2010).

Esta planificación realizada mediante el Sistema de Último Planificador para la posterior implementación del *Takt-Time*, se puede realizar a cualquiera de sus niveles (planificación estratégica, planificación intermedia y planificación semanal), pero niveles más detallados de actividades como las que se realizan en la planificación semanal puede brindar resultados más acertados para la metodología.

El proceso de la aplicación de la herramienta del *Takt-Time* se divide en 6 pasos, que se detallan a continuación:

- 1. Recolección de datos:** usualmente se realiza mediante la aplicación de la herramienta del Sistema del Último Planificador, para reconocer los responsables y la secuencia de actividades que se debe hacer. Este primer punto debe prestar especial atención en la secuencia de la aplicación de la herramienta, ya que, si la programación realizada por el *Last Planner* es deficiente, la realizada por el *Takt-Time* también lo será.
- 2. Delimitación de la zona de trabajo:** se elige la zona donde se pondrá en marcha la aplicación de la herramienta y se delimita el espacio donde se trabajará con un *Takt-Time* determinado. El *Takt-Time* entre distintas zonas del proyecto puede ser distinto según las necesidades constructivas que presente cada una.
- 3. Orden de trabajo:** se realiza una planificación colaborativa de manera que los equipos que forman parte del proceso de trabajo informen sobre sus capacidades de producción y si existen restricciones. Este proceso generalmente se puede realizar mediante las reuniones semanales del Sistema del Último Planificador.
- 4. Balanceo de las cargas de trabajo:** identificar las actividades que representan mayores plazos para mejorar su productividad y disminuir la cantidad de trabajo asignado a las actividades que su *Cycle Time* sea mayor al *Takt-Time* estimado. Este proceso puede ser realizado mediante la aplicación del método de líneas de balance.
- 5. Tiempo necesario para completar actividades:** se necesitan realizar iteraciones para observar de cuál forma se organiza mejor el trabajo, esto en función de que todas las actividades necesarias se acerquen al *Takt-Time* que se plantea para el proceso.
- 6. Plan de trabajo acorde al *Takt-Time*:** con los resultados provenientes de la aplicación de los 5 pasos anteriores, se procede a realizar un plan de trabajo que se

adapte al *Takt-Time* estimado. Posteriormente este se monitorea y controla de manera que su aplicación sea beneficiosa en la obra.

Por último, luego de los seis pasos anteriores, se debe entrar en una fase de reajustes de la aplicación del *Takt-Time*. En esta etapa se obtiene un listado de las actividades a las cuales la aplicación de la herramienta contribuye a disminuir la cantidad de mano de obra necesaria, así como los tiempos muertos, por tanto, en esta fase en la cual se centrarán los datos y resultados de la investigación y de la cual se elaborarán principales conclusiones (Yassine, Saleh, Fayek, & Hamzeh, 2014).

Un punto a destacar, es que la implementación del *Takt-Time* considera para su propuesta de programación, rendimientos de mano de obra según sea la actividad constructiva que se realiza, aumentando la cantidad de obreros o disminuyéndolos en la programación, según sea el *Takt-Time* para la zona y tiempo de determinado.

Este aspecto, por lo general, no es realizado de dicha forma en el Sistema del Último Planificador, por lo que otra ventaja de utilizar el *Takt-Time* es que involucra un control más adecuado de los recursos de mano de obra en las distintas actividades constructivas de un proyecto. Es en este punto donde se prestará principal atención cuando se realice la aplicación de la herramienta *Takt-Time* y se proceda a su posterior análisis.

El *Takt-Time* hace uso de las líneas de balance, donde se busca un balance de estas. Para este caso de investigación en particular, el *Takt-Time* se plantea de forma que se realizan tres planificaciones mediante líneas de balance: la planificación base realizada mediante el Sistema del Último Planificador; la real obtenida en el campo; y con base en estas dos, una tercera que sería la propuesta mediante la utilización del *Takt-Time*.

Esta programación final es la que marca el *Takt-Time* de las actividades y que genera correcciones sobre la mano de obra necesaria para cumplir con las demandas de trabajo exigidas por el proyecto. Siendo este punto el principal enfoque de este trabajo de investigación.

## **CAPÍTULO III. TAKT- TIME Y EL ANÁLISIS DE SU APLICACIÓN EN UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN**

Conociendo el fundamento teórico en el que se basa la herramienta *Takt- Time* se procedió a aplicar esta en un proyecto de construcción. Su aplicación se basó en dos insumos importantes: las planificaciones obtenidas mediante el Sistema del Último Planificador y las líneas de balance, herramientas explicadas en el apartado anterior.

El plazo de estudio para la aplicación de la herramienta fue de 8 semanas y en el que se inició en la semana 10 del proyecto que fue analizada en la implantación de la herramienta *Takt-Time*.

La investigación comprendió el trabajo realizado tanto por la empresa constructora a cargo del proyecto, como de subcontratistas encargados de la armadura y formaleta. Esto debido a las características del proyecto que basó su trabajo en subcontratos principalmente.

La inclusión de los subcontratistas en la aplicación del método resulto en que este fuera más fiable de acuerdo con los principios de la construcción flexible, en razón de que, para alcanzar el éxito de estas herramientas, es fundamental la inclusión de todas las partes, incluyendo subcontratistas, del proceso constructivo.

El estudio de las actividades se centró en la obra gris, es decir, en actividades como armadura, formaleta y colado de elementos de concreto como vigas, columnas y losas, especificadas por zonas del proyecto que se detallarán a continuación.

Esta investigación comprendió la comparación de los métodos de planificación utilizados hasta el momento como es el Sistema del Último Planificador, basado en la programación realizada mediante la experiencia del planificador respecto a una herramienta reciente del *LEAN Construction* como la incorporación del *Takt-Time*.

Esta comparación fue realizada en aras de conocer si al mejorar los flujos de trabajo mediante el *Takt-Time*, y el centrarse en eliminar principalmente desperdicios como la sobreproducción y el mal rendimiento, la cantidad de mano de obra era optimizada y por ende se terminaba por requerir menos obreros en las obras de construcción civil.

### **3.1. Características del objeto de estudio de la investigación**

#### ***3.1.1. Descripción del proyecto***

La construcción en la cual se desarrolló este proyecto final de graduación se ubica en Río Oro de Santa Ana, en la provincia de San José, dentro del Gran Área Metropolitana; aspecto que busca un acercamiento más representativo a una obra común de construcción de edificios en el país.

Para efectos de este trabajo de investigación se denomina al proyecto, "Proyecto de Estudio" el cual no es su nombre real, pero que se utilizará con el fin de mantener la confidencialidad del proyecto, así mismo la constructora a cargo del proyecto será llamada "Empresa de Estudio" por el mismo motivo.

El edificio que se planteó construir consiste en la realización de dos torres de un complejo habitacional, con un sótano y primer nivel de áreas comunes compartido. Cada torre cuenta con tres niveles de apartamentos y azotea, para un área de construcción total aproximada de 7650 m<sup>2</sup>.

El proyecto incluyó entre otros aspectos a tomar en consideración, la construcción de 36 unidades habitacionales entre las dos torres del condominio, además de amenidades varias como lo son piscina, gimnasio, caseta para encargado de seguridad, áreas comunes y azotea. Un render del proyecto de estudio se puede observar en la Figura 17.



***Figura 17. Render del proyecto de estudio.***

Fuente: Empresa de estudio, 2018.

El costo aproximado de la obra ascendió a los \$ 6 000 000 (seis millones de dólares estadounidenses) y el plazo de ejecución con el que se contaba era de 11 meses aproximadamente. Cabe aclarar que estos 11 meses no son realizados de manera continua como es de esperar, debido a que en una primera fase se realizó el movimiento de tierras con fecha de inicio 2 de octubre de 2017, luego el proyecto fue dejado en espera y en julio de 2018 se retomaron los trabajos.

La fecha de conclusión se estimó para el 31 de abril de 2019, pero se acordó una entrega sustancial del proyecto antes de esa fecha, debido a necesidades de negocio del cliente.

El estudio del proyecto empezó la semana del 03 de setiembre de 2018, que es la fecha en la cual se inicia el proceso de realización de reuniones semanales para la elaboración del Sistema del Último Planificador con la herramienta *TouchPlan®* en el proyecto y se extendió durante un plazo de 8 semanas.

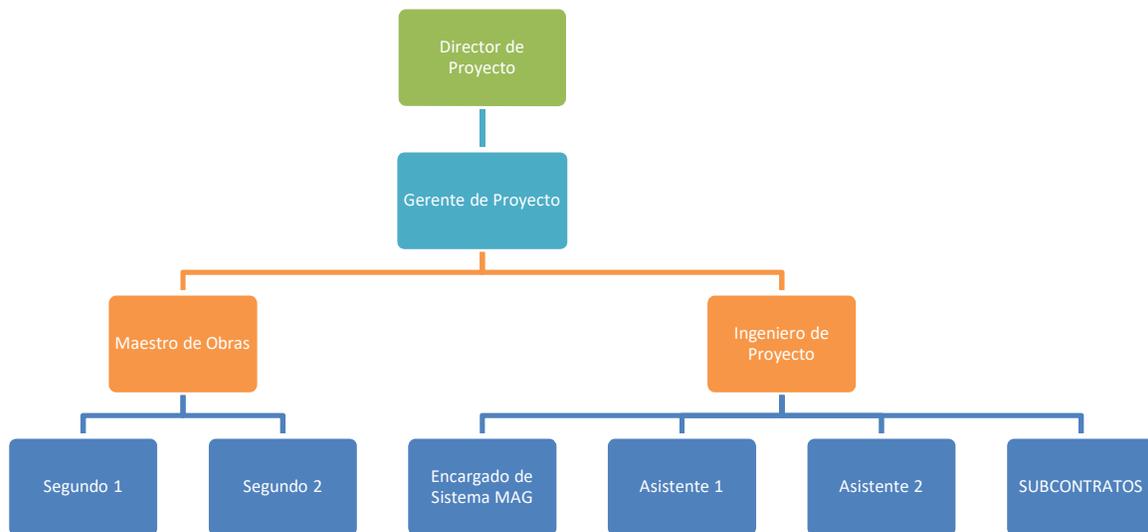
En cuanto al sistema constructivo en el que se realiza el proyecto se basa en un sistema estructural de muros, con vigas y columnas, cimentadas en una losa de fundación. Las vigas y las losas se realizan mediante elementos prefabricados. La fabricación de todos estos elementos son los cuales se estudiaron en la realización de este Trabajo Final de Graduación referente al *Takt-Time*.

En cuanto a acabados, se presentan divisiones internas tanto en gypsum como en covintec, paredes recubiertas por pasta y pintura, pisos y paredes en área de baños enchapados, pisos de sótano lujados, pisos enchapados en porcelanato y cielos de gypsum. Asimismo, el apartado de acabados incluye la colocación de puertas, rodapiés, muebles, loza sanitaria, barandas y ventanería. Cabe aclarar que estos acabados no se estudian debido a que no constituyen las actividades de estudio para este trabajo.

### ***3.1.2. Metodología de planificación empleada por la empresa de estudio***

Como se menciona, este proyecto contó con una programación a 11 meses cuya fecha de finalización se estableció para el día 30 de abril de 2019. La Empresa de Estudio cuenta con un sistema de planificación que se basa en el control semanal mediante la herramienta del Sistema del Último Planificador, que constituye uno de los mayores insumos para la obtención de resultados de esta investigación referente a la herramienta *LEAN, Takt-Time*.

En cuanto a la jerarquía organizacional del proyecto, se tiene una como se muestra en la Figura 18, donde la organización le corresponde a un gerente de proyectos, un maestro de obras, ingeniero de producción y dos asistentes de ingeniería.



**Figura 18. Organigrama para el proyecto de estudio**

Asimismo, se observa en el organigrama para el proyecto de estudio, que un partícipe importante lo conforman los subcontratistas, los cuales realizan aproximadamente el 75% de las actividades de la construcción, en tareas de la obra gris, en las cuales se centra el objeto de esta investigación. Se manejan por subcontrato las siguientes actividades:

- Colocación de formaleta
- Colocación de armadura
- Colado de muros y columnas
- Colocación de entrepisos
- Colado de contrapiso y entrepisos
- Repellos
- Obras menores complementarias

Las tareas que se realizan con personal propio de la empresa de estudio comprenden obra civil de infraestructura, zanjeo, limpieza y acarreo de materiales. Es por ello, que para efectos de esta investigación se centrará el estudio en las actividades subcontratadas, haciendo principal hincapié en las actividades de armadura, formaleta y colado.

La forma en la que se planificó llevar a cabo la ejecución de la obra gris, es decir, las actividades de estudio de la aplicación de la herramienta *Takt-Time* comprendieron lo siguiente:

**Losa de fundación:** se colaron por tramos de 300 m<sup>2</sup> aproximadamente y formaron juntas de construcción para evitar grietas por contracción del concreto. Se colaron con concreto premezclado y bomba estacionaria debido a la gran extensión que presentaron las chorreas. Las coladas de la losa de fundación, se hicieron en conjunto el colado de las losas de techo de los diversos tanques que contiene el proyecto, tales como tanque de incendio y planta de tratamiento.

Estas losas llevaron un proceso donde, por lo general; primero se hizo un relleno y compactación del terreno, luego una colocación de plástico o barrera de vapor, para así llegar a colocar la armadura, que posteriormente se formaletó y se realizó su colado.

**Muros y columnas:** la confección de estos elementos se realizó con la ayuda de la grúa a nivel del sótano y primer nivel, mediante la utilización de la auto hormigonera de la Empresa de Estudio, luego se continuó con concreto premezclado y grúa.

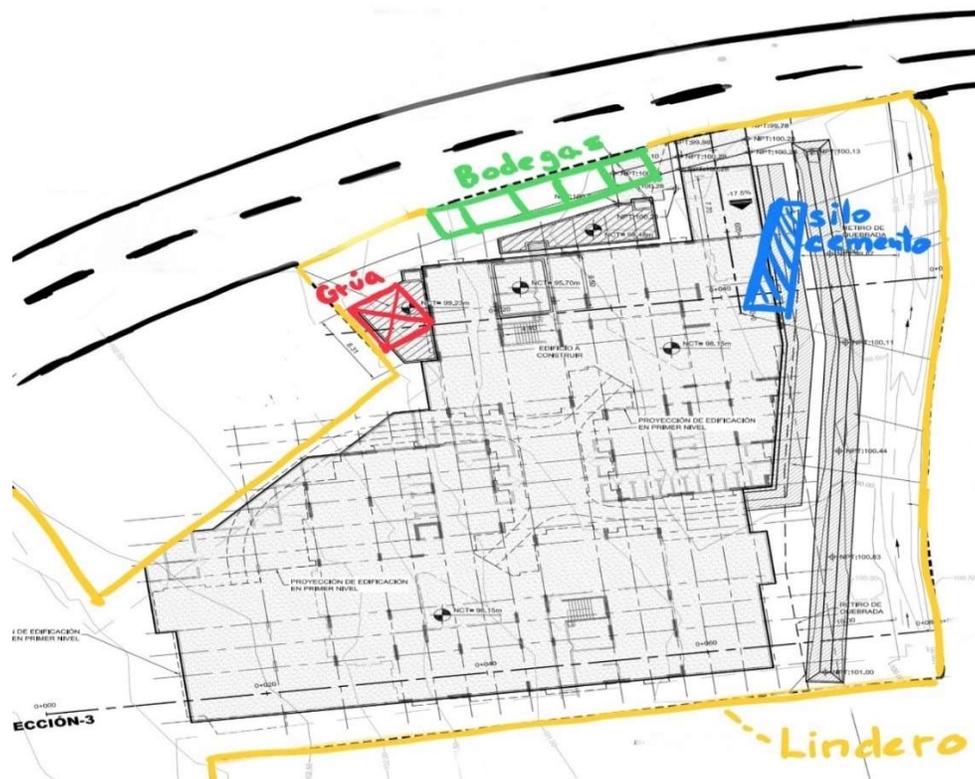
Estos elementos a nivel de sótano se realizaron en conjunto con el armado de la losa de fundación, que comprendió tanto los muros de fundación como los muros de retención, hizo énfasis principalmente en estos últimos debido a evitar posibles deslizamientos, dada la colindancia que posee con los vecinos.

**Vigas y losas de entresijos:** se realizaron mediante un sistema de prefabricado, aspecto que requirió una coordinación especial con la inspección estructural y el contratista electromecánico, así como la implementación de planos de taller detallados. Se usó la grúa para el montaje y, además, se tuvo especial cuidado con la ubicación del refuerzo en los nudos para evitar complicaciones en el montaje y las coladas.

**Losa de azotea:** Se debió prestar especial atención en el diseño del encofrado y la programación de las coladas, así como la impermeabilización. Se evaluó si el colado convenía hacerlo con la grúa o con bomba telescópica para más rapidez.

Debe aclararse que, para la realización de estas actividades y las demás, la empresa de estudio tiene una acreditación ISO 9001, lo cual hace que se tenga un plan de calidad robusto donde se realizan listas de verificación por actividad y se llevan controles estrictos de pruebas de laboratorio para asegurar el buen desempeño de cada elemento construido y por tanto de toda la obra.

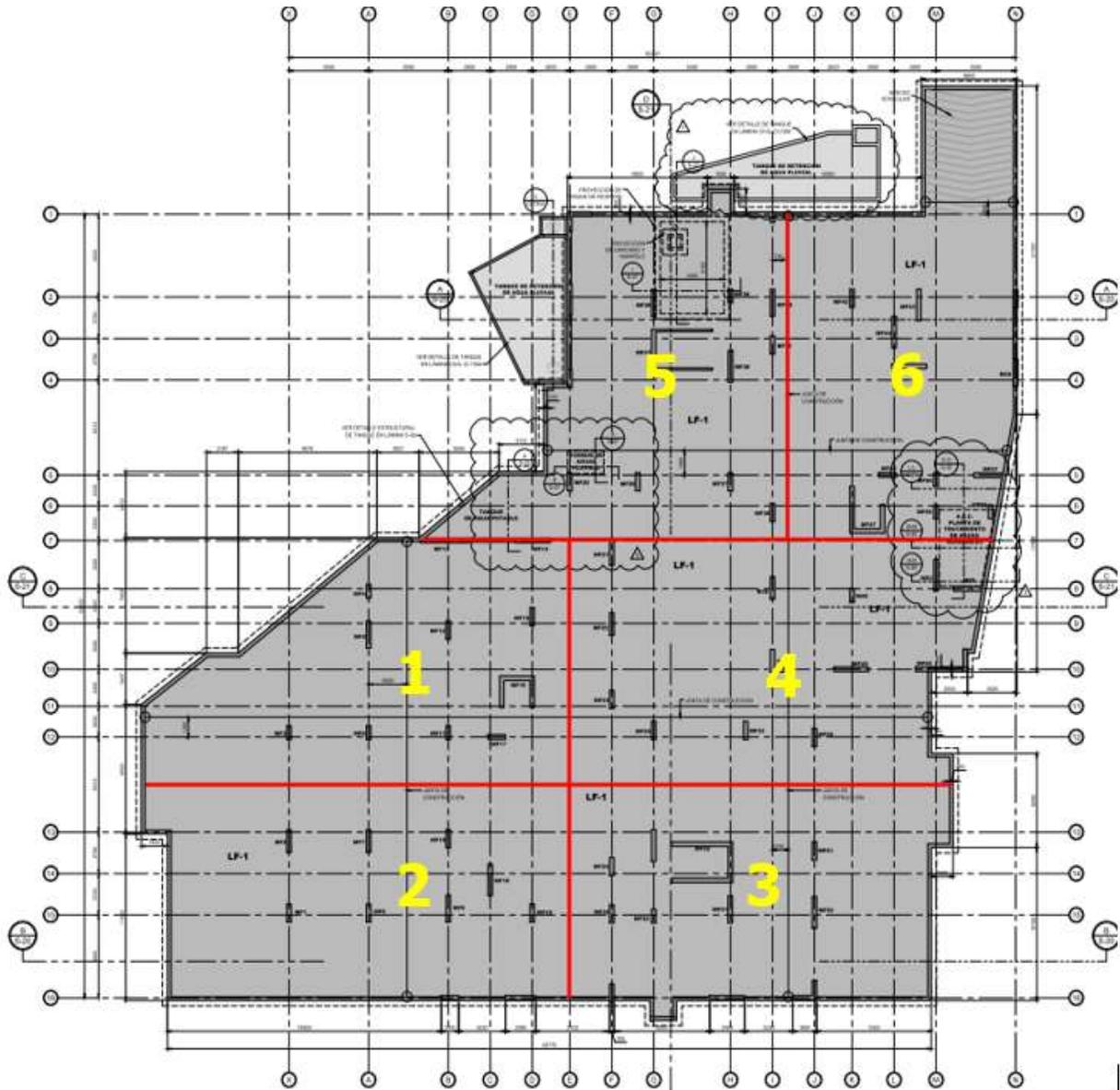
En cuanto a la planificación de los elementos provisionales de la obra, se puede observar en la Figura 19, que estos se ubicaron principalmente al costado norte del proyecto, cerca del acceso principal del mismo. Se observa que se contó con un silo de cemento al costado este para la alimentación de la auto hormigonera en las primeras etapas de la construcción, también se contó con una grúa torre al costado noroeste para el acarreo de elementos. Finalmente se observa la ubicación de las bodegas y la oficina de ingenieros en el sector norte del proyecto.



**Figura 19. Ubicación de instalaciones provisionales en el proyecto de estudio**

El proyecto de estudio se encontró organizado en una división por zonas para una mejor distribución del trabajo a realizar. Para el nivel de sótano se ideó una división en tramos de

aproximadamente 300 a 400 m<sup>2</sup>, en seis zonas tal y como se puede observar con la Figura 20.



**Figura 20. División por zonas del proyecto de estudio**

Esta división por zonas es fundamental para este trabajo de investigación, ya que define las áreas de trabajo donde se realizó la aplicación del *Takt-Time*, herramienta que requiere, como se observó anteriormente, un sector determinado de estudio. Para este trabajo estas zonas se estudiaron a nivel de sótano y primer nivel.

Además, cabe aclarar que el estudio inició con la construcción de la zona 2 a nivel de sótano, ya que fue en la construcción de esta, donde se inició con la recopilación de datos mediante

la herramienta del Sistema del Último Planificador, con ayuda de la herramienta informática *TouchPlan®*.

Con el uso de esta, se contó con la programación estratégica, la programación intermedia con un horizonte a 6 semanas y la planificación semanal. En primer lugar, a través de la programación estratégica se formó el plan maestro del proyecto, que fue y será la principal guía para el desarrollo de la obra hasta su culminación esperada para el día 30 de abril de 2019. Esta programación estratégica implementada para el proyecto de estudio se encuentra en el Anexo 1, pero en el Cuadro 1 se puede observar el machote utilizado para dicho fin.

**Cuadro 1 . Programación Estratégica del Proyecto de Estudio**

**CONSTRUCTORA DE ESTUDIO**  
**Programación estratégica**  
**Código: R-CO-3.3.1**

**Versión N° 1**  
 Aug-18

Proyecto de Estudio

Hitos de Proyecto	Fecha Finalización	
Actividad	Programa	Real

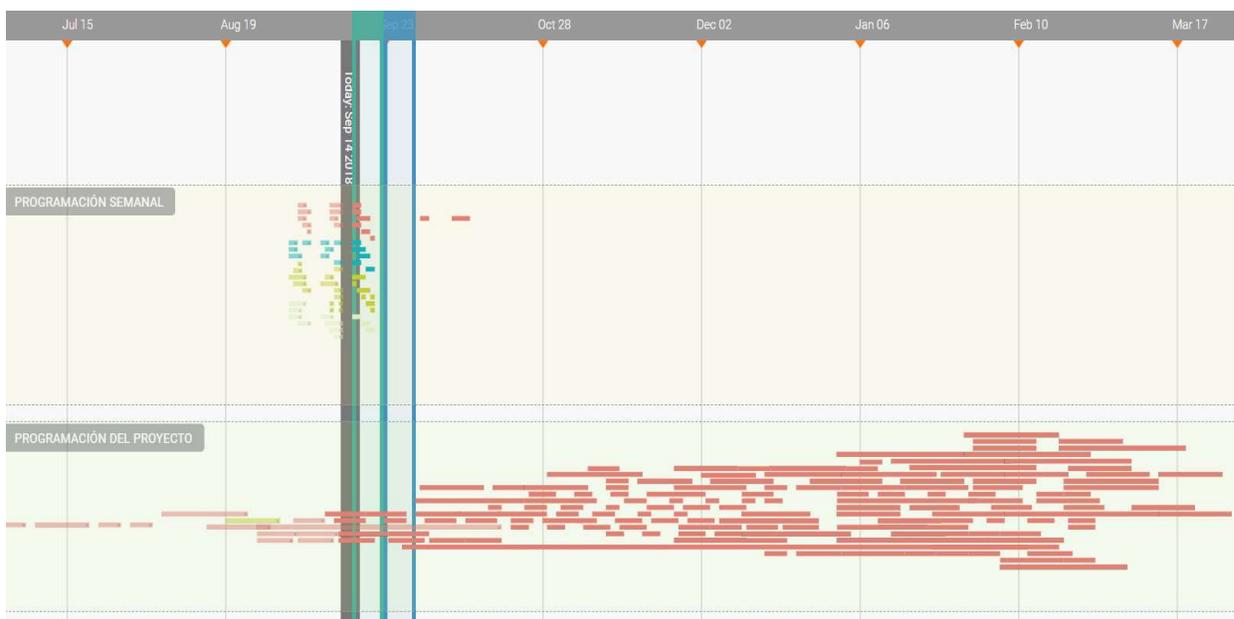
Fuente: Empresa de Estudio, 2018.

En esta programación estratégica del proyecto se identifican los principales hitos de actividades a cumplir para completar el proyecto. Esta programación conocida también como plan maestro es la base que define las actividades a realizar tanto en la programación intermedia como en la programación semanal. En razón de que estas últimas, al menos en la empresa de estudio, se realizan con el fin de planificar el trabajo en aras de mantenerse en línea con el plan estratégico.

Cabe aclarar que siempre se estuvo pendiente a cambios de lo que se planeó en primera instancia en esa fase de planificación de programación estratégica, ya que todo proyecto sufre atrasos debido a mal rendimiento, clima, falta de materiales, entre otros. Eso sí, la búsqueda se da siempre hacia el cumplimiento del cronograma maestro.

Como se observa en el Cuadro 1, la programación estratégica englobó los paquetes de actividades del proyecto, incluyendo una fecha de fin establecida como programa maestro, que se compara con la fecha de finalización real del paquete de actividades. Lo que se busca es que las fechas de finalización reales sean lo más cercanas posibles a la planificada, ojalá terminar antes de los establecido en primer lugar; esto se logra mediante un control estricto del cronograma con ayuda de las planificaciones intermedias y semanales que se proceden a detallar.

Para la planificación intermedia y semanal del proyecto, se utiliza la herramienta *TouchPlan®*, herramienta que permite un mayor control de la programación del proyecto y cuya interfaz se presenta en la Figura 21. En esta figura se puede observar como para el proyecto de estudio se contó en un apartado con el control de la programación maestra del proyecto, de donde a su vez se obtiene la planificación intermedia y por otra parte se tuvo una planificación más detallada que esta que permite el control semanal del proyecto.



**Figura 21. Interfaz de la herramienta TouchPlan®**

Fuente: TouchPlan®, 2018

Las actividades del proyecto se manejan mediante "tickets" como los que se muestran en la Figura 22, en los cuales se puede definir el nombre de la actividad, el lugar donde se encuentra la misma, el encargado de realizar dicho trabajo, así como la especificación de los días que tarda para completarse la actividad y los trabajadores que se emplearan en

cada actividad. Esto último es fundamental para este trabajo de investigación en el que el enfoque de estudio se basa en los recursos de mano de obra de los proyectos.



**Figura 22. Elaboración de actividades mediante herramienta TouchPlan®**

Fuente: TouchPlan®, 2018

Estas actividades pudieron haber sido modificadas en cualquier momento, en cuanto a duración, inicio o cantidad de trabajadores, lo que representa una gran ventaja de la herramienta informática, ya que permite una flexibilidad bastante alta para poder llevar control exhaustivo de cada actividad programada del proyecto.

Una vez explicada la programación maestra del proyecto, se detalla a continuación cómo se realizó la programación intermedia del mismo. Esta se hizo a través de un horizonte a seis semanas o conocida también como "*Six-Weeks-Look-Ahead*", mediante la herramienta *TouchPlan®*, asimismo se lleva un control de esta con ayuda de un formato de la empresa de estudio que permite un control un poco más intuitivo para los usuarios de la programación, en razón que permite un mejor orden de las actividades.

Este formato de la programación intermedia se presenta en el Cuadro 2, donde se observa un análisis de restricciones para poder liberarlas antes de que se deba realizar la actividad,

esto es lo más importante de la programación intermedia, ya que se observa con anticipación qué actividades se deben realizar y cómo lograr que se puedan llevar a cabo.

**Cuadro 2. Formato para programación intermedia de la constructora de estudio**

CONSTRUCTORA DE ESTUDIO  
Programación intermedia  
Código: R-CO-3.3.3

Versión N° 1  
Aug-18

Proyecto		6 wks ahead						Análisis de restricciones								
Semana		10	11	12	13	14	15	Diseño	Submittals	Materiales	Mano de obra	Equipos	Subcontrato	Certificación INS	Predecesora	Estado final
Categoría	Descripción	17-Sep	24-Sep	1-Oct	8-Oct	15-Oct	22-Oct									
Tanque de Incendio	Losa de techo							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Impermeabilizante							OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	NO	RESTRINGIDO
Planta de Tratamiento	Losa de techo							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Impermeabilizante							OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	NO	RESTRINGIDO
Tanque bombeo agua pluvial	Losa de techo							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Impermeabilizante							OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	NO	RESTRINGIDO
Losa de Fundación	Ejes E-M/7-13							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Ejes E-M/1-7							OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	NO	RESTRINGIDO

Fuente: Constructora de Estudio, 2018.

Las actividades se definen en color rojo y azul, el color rojo es señal de que la actividad ya iba atrasada en relación al programa maestro, mientras que el azul significa que todavía dicha actividad estaba a tiempo de realizarse. Asimismo, se observa el análisis de restricciones, determinándose que la actividad estaba libre de realizarse si no cuenta con ninguna restricción o que estaba restringida en caso contrario. La programación intermedia por semana para las primeras tres semanas se incluye en la sección de Anexos de este Trabajo Final de Graduación, ya que son las que abarcan el intervalo de estudio.

Asimismo, en la programación que se realizó mediante la herramienta *TouchPlan®* se contaba con la posibilidad de incluir restricciones a la misma, gracias a la modalidad de "ticket"; en la misma se pueden incluir aspectos como el responsable de liberar dicha restricción, en qué plazo se debía realizar, entre otros. Estas restricciones son importantes para el proyecto, dado que conformaban frecuentemente fuentes de retrasos y cambios en la programación, que podían afectar el correcto accionar de la herramienta de estudio que es el *Takt-Time*.

Lo anterior se puede observar en la Figura 23, donde se muestra el ejemplo de una de estas restricciones dentro de la programación. De existir una, estas se ven reflejadas en la programación intermedia y también en la programación semanal.



**Figura 23. Restricciones mediante la herramienta TouchPlan®**

Fuente: TouchPlan®, 2018.

Una vez realizada la programación estratégica y la planificación intermedia del proyecto, se continuó con el siguiente y más detallado nivel de programación, el cual es el de programación semanal, donde se planificó el trabajo que se realizaría la siguiente semana y en la cual se basa el método de estudio.

Esta programación se elaboró en el sistema informático *TouchPlan®* por medio de la creación de "tickets" que se acomodaron de forma que satisficieron la necesidad de realización de actividades para una semana dada.

La planificación semanal permitió un mayor detalle de las actividades, ya que en ella se establecieron labores específicas que deben ser realizadas por la constructora o subcontratistas tal y como se observa en la Figura 24.



**Figura 24. Planificación semanal mediante TouchPlan®**

En esta programación se puede observar cómo se asignó un color distinto por rol en el proyecto, correspondiente el color rojo a las actividades realizadas por la empresa de estudio, el celeste a armadura y finalmente el amarillo a las labores encargadas al subcontratista de formaleta. De la planificación semanal se elaboró un diagrama de Gantt, que se puede observar en el Cuadro siguiente.

**Cuadro 3. Ejemplo de diagrama de Gantt de la programación semanal**

Task Description	Project Role	Week Of Mon Sep 24				
		24	25	26	27	28
Agapanthus		21	26	35	44	40
Edificio Principal Apartamentos		21	26	35	44	40
Colocación Plástico Zona 5	642- José Castro					
Colado Losa de Fundación 4	642- José Castro					
Armadura Vigas Z1-Z2 50%	642- Bicho					
Formaleta Losa de Fundación 4	642- Camilo					
Colocación de vigas Zona 2	642- Camilo					
Previstas muros zona 4	642- Incomel					

Esta programación semanal, también se vio luego reflejada mediante líneas de balance, que se realizaron mediante el formato utilizado por la empresa de estudio para dicho fin el cual se basa en programación por niveles. Esto se muestra en el Cuadro 4, con la diferencia de que las actividades no se representan por nivel como se hace en dicho formato, sino por zona de trabajo y actividad tal y como el método del *Takt-Time* lo requiere.

**Cuadro 4. Formato de líneas de balance de la empresa de estudio**



Fuente: Empresa de Estudio, 2018.

Además, la empresa de estudio contaba con mecanismos para el control del desempeño de los subcontratistas del proyecto, gracias a la metodología *Last Planner*, mediante el porcentaje de actividades completadas y las causas de no cumplimiento. Para esta investigación se hizo uso principalmente de los indicadores acumulados, para hacer énfasis en la calificación promedio que tiene el cumplimiento de las actividades por parte de los subcontratistas, que directamente representa también la capacidad y rendimiento de la programación hecha con el Sistema del Último Planificador.

Como se mencionó anteriormente, las causas de no cumplimiento corresponden a razones por las cuales el planificador falló para completar las actividades comprometidas para una semana y el porcentaje de actividades completadas a una razón entre las actividades realizadas como se planearon y las que no, definidas de la siguiente manera:

$$PAC = \frac{\text{Actividades Completadas}}{\text{Actividades Comprometidas}} \times 100\%$$

Estos dos indicadores fueron realizados la herramienta *TouchPlan®*, como mediante el sistema establecido por la empresa de estudio. Para esta investigación se hará uso de los formatos de la empresa de estudio, debido a una mayor facilidad de presentación de los datos al lector de este trabajo final de graduación.

Las actividades de no cumplimiento se observan en el Cuadro 5, estas consisten en una clasificación de razones que entorpecieron el cumplimiento de la actividad, tales como actividades predecesoras, mal rendimiento, falta de materiales, falta de diseño entre otras más. Estas causas de no cumplimiento se ingresaron por semana, debido a que se obtenían en la reunión semanal de programación, en la revisión del trabajo realizado la semana anterior a la reunión.

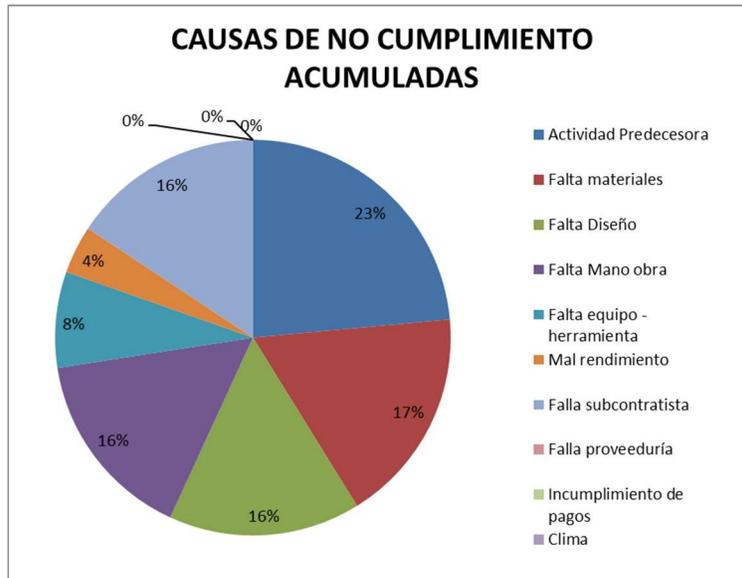
Del cuadro, se obtiene a la vez un gráfico que sintetiza los porcentajes de la aparición de estas causas de no cumplimiento en el proyecto, esta se realizó por medio de un gráfico tipo pastel que se presenta en la Figura 25.

**Cuadro 5. Causas de no cumplimiento acumuladas**

Semana	Causas de No Cumplimiento									
Descripción	Actividad Predecesora	Falta materiales	Falta Diseño	Falta Mano obra	Falta equipo - herramienta	Mal rendimiento	Falla subcontratista	Falla proveeduría	Incumplimiento de pagos	Clima
<b>Semana</b>										
SEMANA 1										
SEMANA 2										
SEMANA 3										
SEMANA 4										
SEMANA 5										

Fuente: Empresa de Estudio, 2018.

El gráfico de la Figura 25 representa un insumo visual que le facilita al usuario de la programación observar en cuáles puntos falló la programación y en qué se debió enfocar para lograr cumplir de una mejor manera las actividades comprometidas en las reuniones semanales del Sistema del Último Planificador.



**Figura 25. Causas de no cumplimiento acumuladas**

En cuanto al porcentaje de actividades completadas, se hizo en dos niveles, en primer lugar, se realizó a través de la evaluación de cuadrillas semanal. Luego de la semana de trabajo comprometida en la reunión semanal anterior, se realizó una revisión y una calificación de las cuadrillas con el formato que se muestra en el Cuadro 6.

**Cuadro 6. Evaluación de cuadrillas semanal**

Proyecto					Revisión No.		
					Fecha de revisión		
Cuadrilla	Tareas comprometidas	Tareas completadas	% Cumplimiento	PAC	Trabajo en equipo	Orden y limpieza	SOHA
					☹	☹	☹
					☹	☹	☹
					☹	☹	☹
Proyecto	0	0			☹	☹	☹

PAC >85 %	😊
PAC > 70%	😐
PAC < 70 %	😞

Fuente: Empresa de Estudio, 2018.

En un segundo nivel, esta primera evaluación de cuadrillas sirvió como insumo para contar con un acumulado de todas las semanas del proyecto, el cuál funcionó para otorgar una calificación promedio del desempeño de los contratistas en cuanto a su capacidad de realizar sus labores a tiempo. El formato utilizado para ello se observa en el Cuadro 7.

**Cuadro 7. Evaluación de Cuadrillas Acumulada**

Cuadrilla	% CUMPLIMIENTO										
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	ACUMULADO
PROYECTO											

Fuente: Empresa de Estudio, 2018.

Finalmente, se debe tomar en cuenta que para la aplicación del *Takt-Time* se necesita de la cuantificación de materiales de las actividades a realizar, por lo que se hizo uso del presupuesto codificado elaborado por la empresa de estudio, el cual cabe aclarar no fue incluido en este documento, con el fin de mantener la confidencialidad de estos datos de la empresa de estudio.

### **3.1.3. Metodología utilizada para la evaluación del Takt-Time en el proyecto**

Como se menciona en apartados anteriores de este documento, una forma de aplicar el *Takt-Time* a proyectos de construcción, principalmente verticales, es mediante el balanceo de líneas.

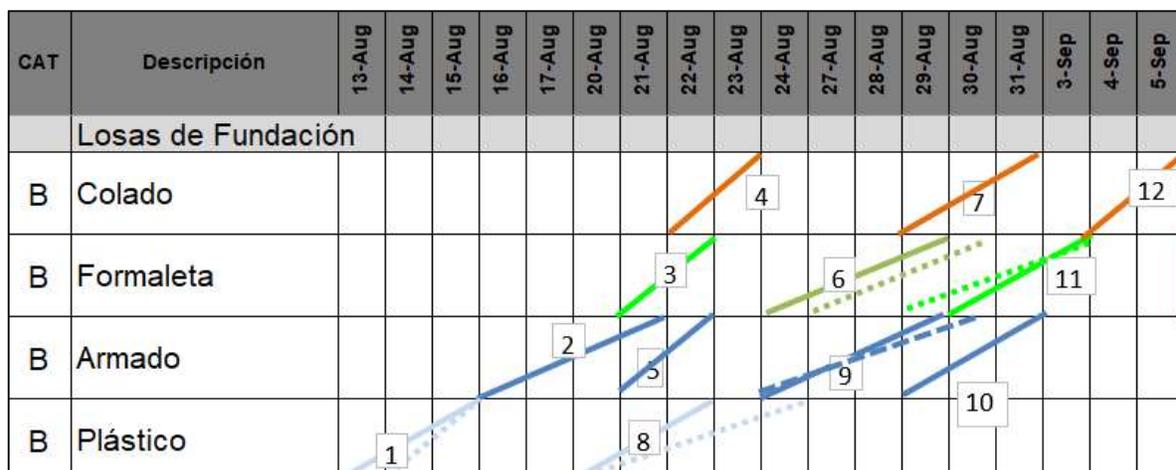
Para este caso en particular se utilizaron las líneas de balance en primera instancia representando dos escenarios: la planificación realizada para la reunión semanal del Sistema del Último Planificador y la planificación corregida con el trabajo que finalmente se realizó en el proyecto. Estas planificaciones se incluyen en los Anexo al final de documento.

La primera representación mediante líneas de balance se observa con ayuda de un ejemplo que se muestra en el Cuadro 8, donde se muestra la planificación en conjunto de actividades

que pueden ser, por ejemplo, losa de fundación de la zona 1, con la losa de fundación de la Zona 2, siendo este un ejemplo teórico sólo con carácter explicativo del método a usar.

En este cuadro se observa que hay principalmente cuatro actividades de estudio para dichos paquetes de trabajo, estos son: el colado, formaleta, armado y colocación de plástico en la zona de trabajo. Estas actividades se ven representadas mediante números para identificar cada actividad en un cuadro explicativo. Además, se aclara que las líneas continuas representan la planificación realizada en la reunión semanal del Sistema del Último Planificador y las líneas discontinuas el trabajo tal y como fue realizado en el sitio. En caso del trabajo ser realizado igual a lo planeado también se mantiene la representación de la actividad como una línea continua. Los colores de las líneas buscan dar una ayuda visual al lector, para diferenciar las distintas cuadrillas una de las otras.

**Cuadro 8. Representación de actividades mediante líneas de balance**



El cuadro explicativo que se menciona se muestra en el Cuadro 9, en este se incluye primero un orden por números de las diferentes actividades, donde se detalla el nombre de la actividad, el número de trabajadores empleados para dicha actividad, así como la cantidad de trabajo representada en kilogramos de acero, metros cuadrados de formaleta, metros cúbicos de concreto entre otros. Finalmente, en dicho cuadro se muestra el rendimiento final del trabajo realizado en sitio que será de gran utilidad luego para el cálculo de trabajadores necesarios en la planificación mediante *Takt-Time*, asumiéndose este constante para ambos casos, aspecto que debe destacarse no necesariamente es cierto, pero para esta investigación se asumirá de dicha forma.

**Cuadro 9. Resumen explicativo para las líneas de balance**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Número de trabajadores	Días de Trabajo	Rendimiento obtenido en sitio
1	Colocación Plástico Z1	400 m2	7	3	19.04 m2/per/día
2	Armado Losa y Muros Fundación Z1	20000 kg	10	4	500 kg/per/día
3	Formaleta Losa Z1	50 m2	4	2	6.25 m2/per/día
4	Colado Losa Z1	180 m3	6	2	15 m3/per/día
5	Armado Muros Retención Z1	5000 kg	5	2	500 kg/per/día
6	Formaleta Muros Z1	450 m2	6	4	18.75 m2/per/día
7	Colado Muros Z1	50 m3	6	3	2.77 m3/per/día
8	Colocación Plástico Z2	380 m2	7	5	10.85 m2/per/día
9	Armado Losa y Muros Fundación Z2	21800 kg	8	5	545 kg/per/día
10	Armado Muros Retención Z2	5000 kg	4	3	416.67 kg/per/día
11	Formaleta Losa Z2	50 m2	4	3	4.16 m2/per/día
12	Colado Losa Fundación Z2	150 m3	6	2	12.5 m3/per/día

Como se mencionó anteriormente, los datos de cantidad de trabajo a realizar se obtuvieron del presupuesto de la empresa, por lo cual no se incluye por cuestiones de confidencialidad de la misma. Mientras tanto, los datos de trabajadores y días empleados fueron obtenidos del seguimiento del proyecto mediante la herramienta *TouchPlan®*.

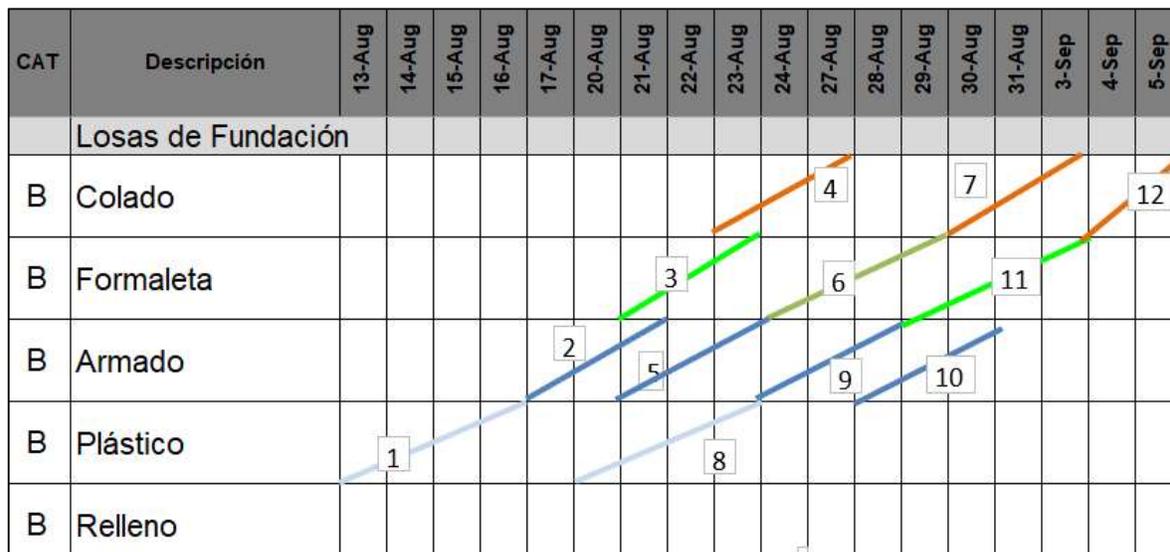
Las zonas de trabajo analizadas en este ejemplo son la Zona 1 y 2 de sótano, no apareciendo la Zona 3 debido a que en los casos de estudio solo se realizará el balanceo de líneas con dos zonas de trabajo por caso.

En este punto, es necesario aclarar que la obtención de rendimientos no conformó el eje central de estudio de este trabajo de investigación, por lo que los rendimientos obtenidos para estos casos solo buscaron brindar un número que permitió realizar una comparación entre el uso de la herramienta *Takt-Time* y la no utilización de esta, partiendo de un mismo rendimiento, ya que no se contaban con rendimientos propios de la empresa. Para la aplicación correcta del *Takt-Time*, las empresas tienen que contar con rendimientos

promedio de las actividades con todo el análisis estadístico y de variancia que se debe realizar para una obtención representativa de los mismos.

Con estos datos se procede a la siguiente fase, que corresponde la incorporación de la herramienta *Takt-Time* a la primera programación, gracias a la utilización de esta herramienta en las líneas de balance antes mostradas. Esto se observa en el Cuadro 10.

**Cuadro 10. Líneas de balance mediante *Takt-Time***



Con la utilización del *Takt-Time*, se logra obtener un balanceo de líneas más acentuado, lo que promueve la mejora de los flujos de trabajo según la metodología *LEAN*, que fue explicada en apartados anteriores de este informe.

Esta nueva planificación busca que las líneas de balance no se crucen entre sí, así como pretende que sean lo más paralelas posibles. Esto permite que no existan pérdidas debido a la espera de otras actividades a que finalicen, o generar interrupciones de trabajo al estar varias cuadrillas al mismo tiempo en un espacio reducido de trabajo. Se debe buscar en la planificación mediante la herramienta *Takt-Time* en la medida de lo posible un cumplimiento de los principios *LEAN* donde se busca la disminución de los tiempos muertos y el trabajo en proceso.

De manera análoga a como se hizo con la planificación del trabajo realizado *in situ* en el proyecto con la ayuda del Sistema del Último Planificador, se muestra el cuadro explicativo de las actividades planificadas por medio del *Takt-Time*.

**Cuadro 11. Resumen de actividades de líneas de balance mediante Takt-Time**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Rendimiento obtenido en sitio	Días de Trabajo	Número de trabajadores
1	Colocación Plástico Z1	400 m2	19.04 m2/per/día	4	5
2	Armado Losa y Muros Fundación Z1	20000 kg	500 kg/per/día	3	13
3	Formaleta Losa Z1	50 m2	6.25 m2/per/día	3	3
4	Colado Losa Z1	180 m3	15 m3/per/día	3	4
5	Armado Muros Retención Z1	5000 kg	500 kg/per/día	3	3
6	Formaleta Muros Z1	450 m2	18.75 m2/per/día	4	6
7	Colado Muros Z1	50 m3	2.77 m3/per/día	3	6
8	Colocación Plástico Z2	380 m2	10.85 m2/per/día	4	9
9	Armado Losa y Muros Fundación Z2	21800 kg	545 kg/per/día	3	13
10	Armado Muros Retención Z2	5000 kg	416.67 kg/per/día	3	4
11	Formaleta Losa Z2	50 m2	4.16 m2/per/día	4	3
12	Colado Losa Fundación Z2	150 m3	12.5 m3/per/día	2	6

En esta ocasión, se tomó como referencia el primer cuadro elaborado para la planificación hecha en sitio, donde se parte de la cantidad de trabajo a realizar, más el rendimiento conseguido en el paso anterior con la nueva distribución de días obtenido. De manera que, mediante el balance de líneas, se logra sacar la nueva cantidad de trabajadores necesarios para completar la actividad en dicho plazo.

Este plazo se establece que sea el mismo para ambas programaciones, para poder tener un punto de comparación en común, siendo establecido por lograr el hito más importante de la planificación en el día establecido, hito que serán las coladas de losas en este caso.

Esto se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de trabajadores Takt - Time} = \frac{\text{Cantidad de trabajo a realizar}}{\text{Rendimiento} * \text{Días de trabajo}}$$

Con esta cantidad de trabajadores obtenida para la planificación realizada mediante la herramienta del balanceo de líneas gracias al *Takt-Time*, posteriormente se hace una comparación entre la cantidad de personal utilizado en la planificación elaborada en campo a través de solamente el Sistema del Último Planificador, por actividad, con la nueva obtenida mediante la herramienta del *Takt-Time*. Esto se resume de mejor manera en el Cuadro 12, donde se calcula la diferencia en términos de porcentaje.

**Cuadro 12. Comparación de resultados con S.U.P y Takt-Time**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Número de trabajadores sin Takt-Time	Número de trabajadores Takt-Time	%Diferencia
1	Colocación Plástico Z1	400 m2	7	5	-24.97%
2	Armado Losa y Muros Fundación Z1	20000 kg	10	13	33.33%
3	Formaleta Losa Z1	50 m2	4	3	-33.33%
4	Colado Losa Z1	180 m3	6	4	-33.34%
5	Armado Muros Retención Z1	5000 kg	5	3	-33.33%
6	Formaleta Muros Z1	450 m2	6	6	0.00%
7	Colado Muros Z1	50 m3	6	6	0.28%
8	Colocación Plástico Z2	380 m2	7	9	25.08%
9	Armado Losa y Muros Fundación Z2	21800 kg	8	13	66.67%
10	Armado Muros Retención Z2	5000 kg	4	4	0.00%
11	Formaleta Losa Z2	50 m2	4	3	-24.88%
12	Colado Losa Fundación Z2	150 m3	6	6	0.00%

Para el caso de ejemplo se muestra que las actividades que mayor mejora en la eficiencia en el uso del recurso de mano de obra presentan son las de colado de losa 1 y formaleta de losa de 1 con un 33.33% de mejora, mientras que los mayores niveles de desmejora presentan son las relacionadas a armadura.

De igual forma el cuadro anterior hace notar como hay un cambio entre zonas del tamaño de cuadrillas dedicadas a una misma actividad, por ejemplo, la cuadrilla de plástico pasa de 5 a 8 personas de una zona a otra, lo que puede crear una situación de caos administrativo

al tener que aumentar y disminuir personal en lapsos cortos de tiempo, siendo en cierto punto poco controlable y poco factible de realizar en un proyecto de construcción.

Además, se considera importante señalar que la carga de trabajo total al usar una u otra programación sería la misma, por lo que para demostrarlo se procede también a realizar el cálculo de horas hombres necesarias actividad, a través de la fórmula:

$$\text{Horas hombre} = \text{Cantidad de horas por día} \times \text{número de trabajadores} \times \# \text{ días}$$

Para este trabajo final de graduación, se tiene que en el proyecto de estudio la jornada laboral era de 10 horas, por lo que este será el valor que se utilizará en la variable de cantidad de horas por día. Este cálculo se ve implícito en el siguiente cuadro.

**Cuadro 13. Comparativa de horas hombre entre métodos.**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Horas Hombre sin Takt-Time	Horas Hombre Takt-Time	Diferencia
1	Colocación Plástico Z1	400 m2	180	180	0.00%
2	Armado Losa y Muros Fundación Z1	20000 kg	360	360	0.00%
3	Formaleta Losa Z1	50 m2	60	60	0.00%
4	Colado Losa Z1	180 m3	120	120	0.00%
5	Armado Muros Retención Zona 1	5000 kg	100	100	0.00%
6	Formaleta Muros Zona 1	450 m2	400	400	0.00%
7	Colado Muros Zona 1	50 m3	80	80	0.00%
8	Colocación Plástico Z2	380 m2	300	300	0.00%
9	Armado Losa y Muros Fundación Z2	21800 kg	400	400	0.00%
10	Armado Muros Retención Zona 2	5000 kg	120	120	0.00%
11	Formaleta Losa Z2	50 m2	120	120	0.00%
12	Colado Losa Fundación Z2	150 m3	120	120	0.00%
<b>Total Horas de Trabajo Efectivas</b>			<b>2560</b>	<b>2560</b>	<b>0.00%</b>

Con ayuda del cuadro anterior, se puede observar cómo no hay ningún cambio en cuanto a cantidad de horas hombre efectivas necesarias para culminar las actividades con un método o con el otro, obteniendo un porcentaje de 0% que lo que hace entender, es que al usar *Takt-Time* se reacomoda la misma cantidad de horas laborables de una manera distinta.

Esto último considerando un rendimiento constante de las cuadrillas, lo cual no se puede determinar que sea el mismo al aplicar una u otra herramienta hasta su aplicación en campo de las dos herramientas, limitación que tiene esta investigación, razón por lo cual se asume rendimientos constantes.

El ejercicio anterior del cálculo de horas hombre, solo se realizó para este caso de ejemplo a manera de demostración, ya que para el resto de los casos el resultado sería el mismo, un 0 % de diferencia en cuanto a horas hombre empleadas.

También en este análisis de la herramienta de estudio, se procedió a la búsqueda de la cuantificación de la disminución de los tiempos muertos de las distintas cuadrillas. Estos tiempos muertos fueron tomados como los días que se encuentran con la casilla vacía una determinada cuadrilla según el gráfico de líneas de balance, según la herramienta de planificación empleada. La cuantificación en días y comparación de los tiempos muertos se presenta en el siguiente cuadro.

**Cuadro 14. Comparación de tiempo muertos para caso de ejemplo**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto sin Takt-Time (días)</b>	<b>Tiempo Muerto Takt-Time (días)</b>	<b>Diferencia</b>
Colado	4	2	-50.00%
Formaleta	2	0	-100%
Armadura	1	0	-100%
Plástico	2	1	-50%
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>-66.67%</b>

Este cuadro hace ver que más bien, con la aplicación de la herramienta, se disminuyen de manera sustancial los tiempos muertos en días mediante la utilización del *Takt-Time*, en un 66.67 % para el caso de ejemplo, lo que se traduce en menos imprevistos en la obra, un menor costo para el proyecto, una menor variabilidad y mejores opciones de planificación para contratistas y subcontratistas.

Este ejercicio también se realiza en términos de horas hombre ya que representa una medida de tiempos muertos efectiva si posteriormente se quisiera realizar una comparación de costos según el costo por hora hombre que tenga determinada empresa constructora, presentándose esto en el Cuadro 15.

El cálculo de estas horas hombre se realiza multiplicando la cantidad de trabajadores ociosos en una zona de trabajo, esperando iniciar una actividad; por 10 horas de la jornada laboral que se establece para el proyecto y también por los días ociosos de las distintas cuadrillas ociosas.

**Cuadro 15. Comparación de tiempo muertos en horas hombre para caso de ejemplo**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto sin Takt-Time (H.H)</b>	<b>Tiempo Muerto Takt-Time (H.H)</b>	<b>%Diferencia</b>
Colado	240	120	-50.00%
Formaleta	80	0	-100.00%
Armadura	120	0	-100.00%
Plástico	140	90	-35.71%
<b>Total</b>	<b>580</b>	<b>210</b>	<b>-63.79%</b>

Se observa mediante este cuadro cómo los tiempos muertos no se logran reducir a 0 para todas las cuadrillas; esta situación se presenta principalmente, porque al partir de una planificación no basada en la cultura *LEAN*, aunque se use el Sistema del Último Planificador, se presentan tiempos muertos y causas de no cumplimiento como mal suministro de materiales y mal rendimiento que entorpecen el buen uso de la herramienta del *Takt-Time* y que no permiten una continuidad perfecta de las actividades de las cuadrillas, produciendo tiempos ociosos como se observa en el caso anterior.

Lo anterior, en los casos de estudio del proyecto, se intentó evitar en la medida de lo posible y en aquellas planificaciones que no se pueda evitar, se darán posibles causas de ello y posibles medidas de mitigación al incumplimiento de los principios básicos que componen la construcción flexible.

Se debe aclarar que este ejemplo es teórico y que la metodología se evaluó en las siguientes secciones. No obstante, es observable desde este caso, que el *Takt-Time* promueve una

reducción de la variabilidad de la planificación al tener mejores transiciones entre actividades y mejores flujos de trabajo, así como una reducción considerable de los tiempos muertos en el proyecto.

Finalmente, es destacable que este método es una herramienta que no debe ser tomada como un método mecánico para la planificación de proyectos, esto debido a que depende de la habilidad y juicio de los planificadores que utilicen dicha herramienta.

Por lo tanto, varias personas pueden realizar planificaciones diferentes con el uso del *Takt-Time*, siendo más o menos eficiente en cuanto a la asignación de recursos de mano de obra, pero siempre en búsqueda de la mejora continua en los flujos de trabajo tal y como la construcción flexible promueve.

## **3.2. Aplicación de la herramienta *Takt-Time***

### **3.2.1. Planificación realizada mediante el Sistema del Último Planificador**

Tal y como se realizó para el caso de ejemplo presentado anteriormente, se elaboró en primer lugar una representación gráfica de las actividades programadas mediante el Sistema del Último Planificador por medio de líneas de balance. Lo anterior para las actividades de formaleta, armadura, colado, relleno y colocación de plástico para el caso de losas de fundación, y para andamios de carga, colocación de vigas prefabricadas, viguetas prefabricadas y bloques de entrepiso, así como el fondo de losas, armadura y colado en los casos de los entrepisos que se logran monitorear en las semanas de estudio.

Para los casos de losas de fundación se realizó cada representación mediante líneas de balance traslapando las actividades de las losas de fundación y muros de sótano (representación de dos semanas), para observar si la simultaneidad de actividades podía afectar el desempeño de la planificación y para un posterior análisis con la herramienta del *Takt-Time*.

En el caso de las losas de entrepiso, se lograron estudiar dos casos de losas de entrepiso, que de diferente forma se analizaron aisladamente, ya que en el proyecto no fueron realizadas de manera tan simultánea debido al atraso del suministro de vigas prefabricadas que se presentó en el mismo. Siendo por ello el trabajo más enfocado en una sola zona de entrepiso cuando fueron hechos.

### **Zona 2 y Zona 3 Sótano**

El trabajo de campo se inició el 03 de setiembre de 2018, con el estudio de las actividades de formaleta, armadura y colado de los paquetes de trabajo relacionados a la losa y muros de fundación de la Zona 2 del proyecto.

Este paquete de trabajo se hizo de manera traslapada, con la de la Zona 3 del proyecto, por lo que cual se estudiaron de manera simultánea, con lo cual se pudo observar el comportamiento de estas actividades durante dos semanas, la del 3 de setiembre y la del 10 de setiembre. La representación gráfica mediante líneas de balance que engloba estas semanas de estudio se observa en el Cuadro 16.

En el Cuadro 16 se ve mediante las líneas continuas cómo se realizó la planificación con ayuda del Sistema del Último Planificador y las líneas discontinuas representan las actividades tal y como realmente fueron hechas en campo. Del trabajo observado en el sitio de trabajo es de donde se obtuvieron los rendimientos que luego fueron utilizados por medio del *Takt-Time*.

**Cuadro 16. Líneas de balance para actividades en Zona 2 y Zona 3**



Es notable en el cuadro que hay varias actividades que presentaron no cumplimientos al ser discontinuas y no apegarse a lo planificado en la reunión semanal de coordinación de trabajo, principalmente las actividades de colado y formaleta de muros. Las actividades de armadura se muestran como las que menos variabilidad presentan respecto a la planificación realizada mediante el Sistema del Último Planificador.

Se puede observar en dicha figura que hay una programación usual, donde no se buscó necesariamente un equilibrio de las líneas de balance, por lo que hay cortes entre líneas y poca paralelidad entre las mismas, por lo que la eficiencia de los flujos de trabajo se vio comprometida.

En el Cuadro 17, se puede observar de manera resumida y detallada las actividades que se representan mediante líneas de balance en el Cuadro anterior, haciendo énfasis en la cantidad de trabajadores ocupados por actividad, así como en los días de trabajo necesarios por actividad.

**Cuadro 17. Resumen de actividades Zona 2 y Zona 3 mediante S.U.P**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Número de trabajadores	Días de Trabajo	Rendimiento obtenido en sitio
1	Colocación Plástico Z3	385 m2	8	2	24.1 m2/per/día
2	Armado Losa y Muros Fundación Z2	18938 kg	9	2	1052.1 kg/per/día
3	Formaleta Losa Z2	60 m2	3	2	10.0 m2/per/día
4	Colado Losa Z2	182.5 m2	6	2	15.2 m3/per/día
5	Armado Muros Retención Zona 2	3955 kg	5	3	263.7 kg/per/día
6	Armado Losa y Muros Fundación Z3	21098 kg	9	4	586.1 kg/per/día
7	Armado Muros Retención Zona 3	4325 kg	5	2	432.5 kg/per/día
8	Formaleta Muros Zona 2	590 m2	6	4	24.6 m2/per/día
9	Formaleta Losa Zona 3	45 m2	4	2	5.6 m2/per/día
10	Colado de Muros Zona 2	87.1 m3	4	3	7.3 m3/per/día
11	Colado Losa Fundación Z3	173.6 m3	6	2	14.5 m3/per/día

Estos rendimientos obtenidos por medio de este Cuadro anterior serán retomados luego en la sección de la propuesta mediante la aplicación del *Takt-Time* en la sección siguiente. Se observa que las actividades de estudio para estos paquetes de trabajo por lo general duran entre 2 y 4 días según la magnitud de trabajo y que los trabajadores empleados por actividad varían entre los 2 y 9 trabajadores según cada caso.

En cuanto a tiempos muertos, se pueden observar los mismos por cuadrilla en el Cuadro 18.

**Cuadro 18. Tiempos muertos para Zona 2 y Zona 3 con Último Planificador.**

Actividad	Tiempo Muerto (días)	Tiempo Muerto (H.H)
Colado	1	60
Formaleta	2	80
Armadura	0	0
Plástico	0	0
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>140</b>

Se puede observar en este Cuadro, que los días de tiempos muertos son los que se observan con la casilla en blanco, en la representación mediante líneas de balance. Siendo estos de dos días para la cuadrilla de formaleta, así como de uno para la de colado; tiempos muertos que por lo general son cobrados por los trabajadores, aunque estos se encuentren ociosos. En términos de horas hombre se observa 60 horas de tiempo muerto para la cuadrilla de colado y de 80 para la cuadrilla de formaleta.

**Zona 3 y Zona 4**

En el caso de las actividades que se interrelacionan en la planificación de la construcción de las zonas 3 y 4 de sótano, se presenta un caso muy similar al anteriormente presentado, en la cual hay una secuencia de actividades donde los hitos principales son constituidos por las coladas de la losa de fundación de la zona 3 y la losa de fundación de la Zona 4, así como la colada de los muros de la zona 3. No se incluyen los muros de la zona 4 en su formaleta y colada, ya que se considera que alarga en exceso el proceso estudiado e igual será retomado en el próximo caso de estudio.

La planificación realizada mediante el Sistema del Último Planificador se presenta en el Cuadro 19, donde se muestra con líneas continuas las actividades tal y como se planificaron y con líneas punteadas las actividades como fueron realizadas.

**Cuadro 19. Líneas de Balance para actividades en Zona 3 y Zona 4 de sótano.**

CAT	Descripción	3-Sep	4-Sep	5-Sep	6-Sep	7-Sep	10-Sep	11-Sep	12-Sep	13-Sep	14-Sep	17-Sep	18-Sep	19-Sep	20-Sep	21-Sep	24-Sep	25-Sep	26-Sep	
	Losas de Fundación																			
B	Colado									4					7					12
B	Formaleta							3			6					11				
B	Armado					2		5			9			10						
B	Plástico	1						8												

Se puede observar en el cuadro con las líneas de balance, que las actividades de la Zona 3 son mayormente realizadas tal y como son planificadas, ya que no se observa muchas actividades representadas como líneas punteadas. En el caso de la Zona 4 sí se observa una

mayor discrepancia entre lo planificado y realizado en sitio, principalmente en las actividades de armadura y formaleta de dicha zona.

Para este caso se muestra en el Cuadro 20, cómo se resumen estas actividades anteriormente mostradas, detallando la cantidad de trabajo a realizar, el número de trabajadores empleados en el sitio de trabajo, así como los días necesarios para la realización de cada una de las actividades y el rendimiento obtenido en sitio correspondiente a cada actividad de las zonas de estudio.

**Cuadro 20. Resumen de actividades Zona 3 y Zona 4 de sótano mediante S.U.P**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Número de trabajadores	Días de Trabajo	Rendimiento obtenido en sitio
1	Colocación Plástico Z3	385 m <sup>2</sup>	6	3	21.38 m <sup>2</sup> /per/día
2	Armado Losa y Muros Fundación Z3	21098 kg	9	4	586 kg/per/día
3	Formaleta Losa Z3	45m <sup>2</sup>	3	2	7.50 m <sup>2</sup> /per/día
4	Colado Losa Z3	173.635m <sup>3</sup>	6	2	14.47 m <sup>3</sup> /per/día
5	Armado Muros Retención Zona 3	4325kg	5	2	432.5 kg/per/día
6	Formaleta Muros Zona 3	468m <sup>2</sup>	8	5	11.70 m <sup>2</sup> /per/día
7	Colado Muros Zona 3	47 m <sup>3</sup>	4	2	5.88m <sup>3</sup> /per/día
8	Colocación Plástico Z4	405m <sup>2</sup>	6	5	13.50 m <sup>2</sup> /per/día
9	Armado Losa y Muros Fundación Z4	21100kg	8	5	527.50kg/per/día
10	Armado Muros Retención Zona 4	1650 kg	5	3	110 kg/per/día
11	Formaleta Losa Z4	53 m <sup>2</sup>	3	4	4.42 m <sup>2</sup> /per/día
12	Colado Losa Fundación Z4	179.3m <sup>3</sup>	6	2	14.94 m <sup>3</sup> /per/día

En este cuadro se puede observar que los rendimientos para las distintas actividades son similares a los presentados para el estudio de las zonas 2 y 3, por lo que se intuye que las cuadrillas presentan capacidades de trabajo similares a lo largo de las semanas. Se observa en dicho cuadro también que las actividades se realizan entre 2 a 9 trabajadores según sea la actividad y que se tarda entre 2 y 5 días para completar las tareas que conforman los paquetes de trabajo analizados.

Los tiempos muertos observados en esta programación se detallan en el siguiente cuadro, según cuadrilla.

**Cuadro 21. Tiempos muertos para Zona 3 y 4 con Sistema Último Planificador.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto (días)</b>	<b>Tiempo Muerto (H.H)</b>
Colado	5	300
Formaleta	1	60
Armadura	0	0
Plástico	2	120
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>480</b>

En este cuadro se puede observar cómo se tiene un total de 8 días ociosos entre todas las cuadrillas, siendo la cuadrilla con más tiempos muertos la de colado que es de 5 días, equivalente a 300 horas de tiempo muerto. Esto es un poco complicado de controlar en el proyecto ya que esta cuadrilla solo se presenta para actividades como el colado de losa de fundación de zona 3 que dura solamente 2 días y debe luego esperar al armado y formaleta de muros de dicha zona y de la losa de fundación de zona 4.

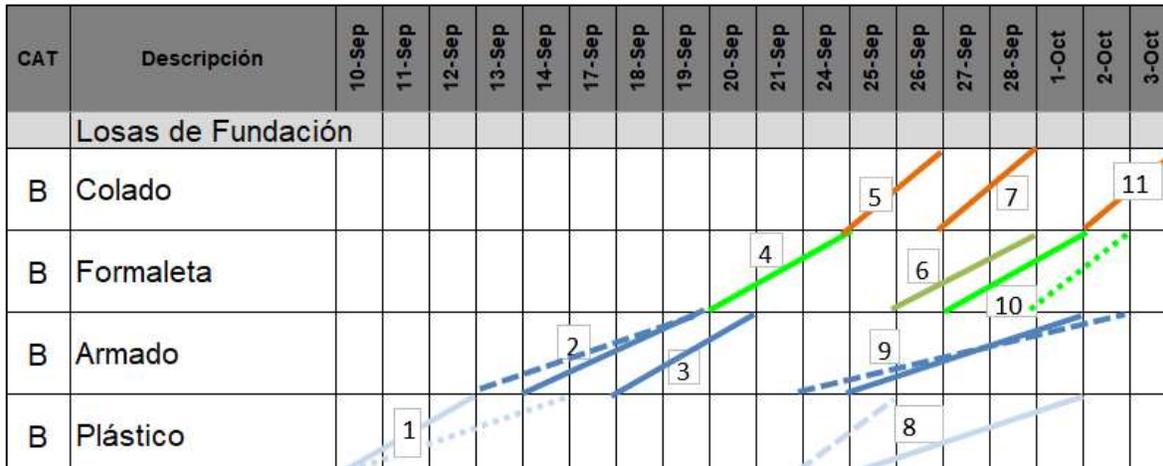
#### **Zona 4 y Zona 5 de Sótano**

Con respecto al análisis de la planificación de la Zona 4 y Zona 5 de sótano, se observa que las actividades que se muestran para la construcción de estas siguen lo especificado en los apartados anteriores que muestran la planificación utilizada para la construcción de las distintas zonas del sótano.

Para este caso de Zona 4 y 5 de sótano, representado en el Cuadro 22 se muestra una planificación realizada mediante el Sistema del Último Planificador representada mediante líneas de balance. Como en casos anteriores se aclara que las líneas punteadas representan el trabajo como se realizó en sitio y las líneas continuas como había sido planificado.

En este caso de planificación se puede observar que desde el inicio de la colocación de plástico de la zona 4 hasta el colado de la losa de fundación de la Zona 5, pasaron 18 días, donde se reparten las distintas actividades de armado, formaleta y colado necesarias para la construcción de dichas zonas de sótano.

**Cuadro 22. Líneas de Balance para actividades de Zona 4 y 5 de Sótano**



Se observa en este caso, como en los anteriores, que no se tomó en cuenta la formaleta y colado de los muros de Zona 5, ya que hubiera creado la necesidad de un análisis más extenso y no constituyó el hito principal de la planificación, esto dado que en todos los casos se consideró que es el colado de la losa de fundación de las distintas zonas de trabajo<sup>9</sup>.

Adicionalmente, es importante aclarar que, para este caso de estudio, por necesidades de planificación en el proyecto, se estructuran las actividades de armadura de muro de fundación, armadura de losa de fundación y armadura de muros de retención; todo lo anterior se representa a través de la línea número 9.

De manera similar a los casos anteriores, se muestra en el Cuadro 23, un cuadro explicativo donde se identifica el nombre de cada actividad, así como la cantidad de trabajadores, cantidad de días de trabajo y rendimiento obtenido en sitio.

Gracias a este cuadro se toma en consideración que las actividades de estudio en las zonas anteriormente indicadas tuvieron duraciones de 2 a 7 días de trabajo y las actividades más duraderas fueron las relacionadas a la armadura de losa de fundación, ya que corresponden a una gran cantidad de acero a armar, tal como en los casos anteriores.

**Cuadro 23. Resumen de Actividades de Zona 4 y Zona 5 de Sótano mediante S.U.P**

<b>Número</b>	<b>Nombre de Actividad</b>	<b>Cantidad de trabajo a realizar</b>	<b>Número de trabajadores</b>	<b>Días de Trabajo</b>	<b>Rendimiento obtenido en sitio</b>
1	Colocación Plástico Z4	405m <sup>2</sup>	6	5	13.50 m <sup>2</sup> /per/día
2	Armado Losa y Muros Fundación Z4	21100kg	8	5	527.50 kg/per/día
3	Armado Muros de Retención Z4	1645 kg	3	3	182.78 kg/per/día
4	Formaleta Losa Z4	53 m <sup>2</sup>	4	3	4.42 m <sup>2</sup> /per/día
5	Colado Losa Fundación Z4	179.3m <sup>3</sup>	6	2	14.94 m <sup>3</sup> /per/día
6	Formaleta Muros Zona 4	468m <sup>2</sup>	4	3	39 m <sup>2</sup> /per/día
7	Colado Muros Zona 4	47 m <sup>3</sup>	4	2	5.88 m <sup>3</sup> /per/día
8	Colocación Plástico Z5	350m <sup>2</sup>	10	2	17.50 m <sup>2</sup> /per/día
9	Armadura Muros y Losa Z5	22655 kg	8	7	405.55 kg/per/día
10	Formaleta Losa Z5	45 m <sup>2</sup>	3	2	7.50 m <sup>2</sup> /per/día
11	Colado Losa Fundación Z5	148.25 m <sup>3</sup>	6	2	12.35 m <sup>3</sup> /per/día

Se puede observar que el caso de la actividad 9 relacionada a la armadura de muros y de losa de fundación de la Zona 5 de sótano fue la de mayor duración y la que creó mayor distorsión entre lo planeado y lo realizado en sitio, tal y como se presenta también en la representación de la planificación mediante las líneas de balance. Lo anterior se debió también a que se incluyó la armadura de muros de retención dentro la actividad que se menciona.

En este punto es necesario destacar cómo las actividades de colado de losas de fundación en todos los casos duraron dos días, por lo que se puede tomar este como un rendimiento adecuado para dicha actividad.

Los rendimientos del resto de actividades no coincidieron con el resto de los casos, pero sí tuvieron valores cercanos, ya que se nota cómo el trabajo se realizó a un ritmo definido.

Respecto a tiempos muertos, en el siguiente cuadro, se puede destacar como se tiene tiempos muertos, aunque sean de un día en todas las cuadrillas, presentándose el mayor tiempo muerto para la cuadrilla de colocación de plástico, ya que entre el final del trabajo en la zona 4 y el inicio en la zona 5 trascurrieron 5 días.

**Cuadro 24. Tiempos muertos para Zona 4 y 5 con Sistema Último Planificador.**

Actividad	Tiempo Muerto (días)	Tiempo Muerto (H.H)
Colado	1	60
Formaleta	1	30
Armadura	1	80
Plástico	5	500
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>670</b>

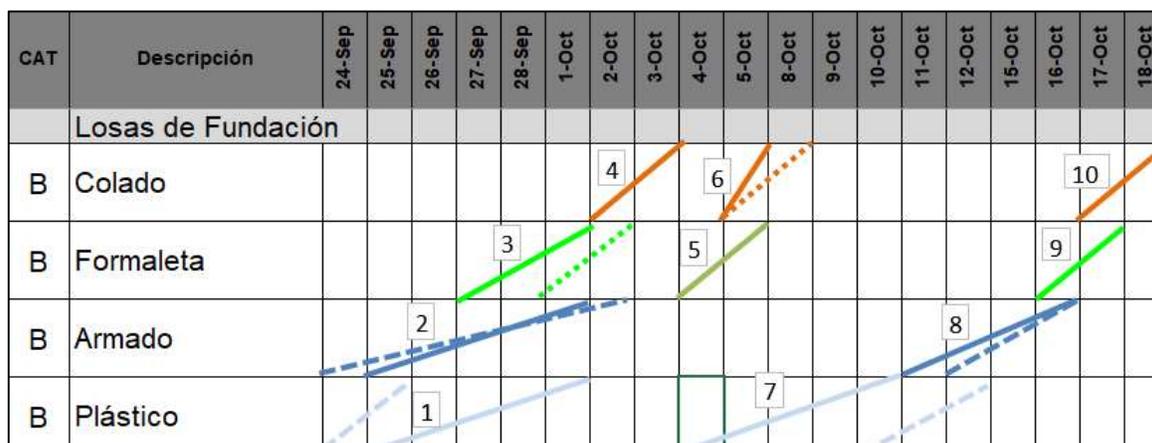
En términos de horas hombre se observa cómo se tiene un total de 670 horas hombre de trabajo ocioso, siendo la cuadrilla de plástico la que más tiene con 500, hecho que aumento los costos del proyecto sin la generación de valor en el trabajo.

### Zona 5 y Zona 6 de Sótano

Siguiendo la línea de estudio de esta investigación, se procede a mostrar la planificación realizada en el proyecto, para el caso de la zona 5 y zona 6 de sótano, siendo estas las últimas zonas construidas para completar la losa de fundación en la que se cimentaron ambos edificios de apartamentos.

La planificación a través de líneas de balance se observa en el Cuadro 25, en la que, como en los casos anteriores, se representa la planificación inicial de las actividades mediante las líneas continuas y con líneas punteadas las hechas en sitio. En caso de realizarse como se planificaron, solo se representan con una línea continua.

**Cuadro 25. Líneas de balance para actividades de Zona 5 y Zona 6 de Sótano**



En este caso, se hace ver que las actividades que constituyeron la construcción de estas dos zonas de sótano se completaron en un lapso de 19 días. Es notable que se dio un intervalo de tiempo donde algunas cuadrillas estuvieron ociosas entre la culminación de la Zona 5 y el inicio de la Zona 6. Esto debido a que se tomó la decisión de esperar un poco para empezar la construcción de la Zona 6, en razón de que esta interrumpía la entrada y salida de material, al encontrarse en las cercanías del acceso vehicular principal del proyecto.

No se pierden de vista gran cantidad de discrepancias entre lo planificado y lo realizado en la actividad de colocación de plástico, esto debido a complicaciones con las previstas a enterrar por parte de la obra electromecánica (no es parte de las actividades de estudio), además de sobreestimar la capacidad de la cuadrilla dedicada a esta actividad.

Como en casos anteriores, las actividades de mayor duración corresponden a las de armado, ya que se necesita de una cantidad de kilogramos de acero considerable para la construcción de los muros como de la losa de fundación.

De manera similar a lo estudiado previamente, en el Cuadro 26 se asigna una numeración de las distintas actividades, se detalla la cantidad de trabajo hecho, así como el rendimiento obtenido mediante los días y cantidad de obreros empleados en cada una de ellas.

**Cuadro 26. Resumen de actividades para Zona 5 y Zona 6 de Sótano**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Número de trabajadores	Días de Trabajo	Rendimiento obtenido en sitio
1	Colocación Plástico Z5	350m <sup>2</sup>	10	2	17.50 m <sup>2</sup> /per/día
2	Armadura Muros y Losa Z5	22655 kg	8	7	405.55 kg/per/día
3	Formaleta Losa Z5	45 m <sup>2</sup>	3	2	7.50 m <sup>2</sup> /per/día
4	Colado Losa Fundación Z5	148.25 m <sup>3</sup>	6	2	12.35 m <sup>3</sup> /per/día
5	Formaleta Muros Zona 5	313.74 m <sup>2</sup>	4	2	39.21 m <sup>3</sup> /per/día
6	Colado Muros Zona 5	28.37 m <sup>2</sup>	3	2	4.72 m <sup>3</sup> /per/día
7	Colocación Plástico Z6	360 m <sup>2</sup>	8	3	15 m <sup>2</sup> /per/día
8	Armadura Muros y Losa Z6	18670 kg	14	3	444.52 kg/per/día
9	Formaleta Losa Z6	48 m <sup>2</sup>	4	2	6 m <sup>2</sup> /per/día
10	Colado Losa Fundación Z6	152.24 m <sup>3</sup>	6	2	12.68 m <sup>3</sup> /per/día

En este caso se muestra que los rendimientos obtenidos tanto en la zona 5 como en la zona 6 tienen valores similares, esto se puede observar en la actividad de acero, por ejemplo, donde en zona 5 se tuvo un rendimiento de 405.55 kilogramos por persona por día y en Zona 6 de 444.52, de manera que existió una variación menor al 10%. Además, se ve que respecto al colado de losa de fundación que se realizaron 12.35 y 12.68 metros cúbicos por persona por día respectivamente.

Esto demuestra cómo después de la elaboración de todas las zonas de sótano se llega a un punto de la curva de aprendizaje, donde se estabilizan los rendimientos y se podrían tomar como referencia para encontrar un pulso o ritmo que constituya la planificación mediante la herramienta *Takt-Time*.

Para los tiempos muertos de este caso, se tiene la cuantificación de estos en el cuadro que se presenta a continuación.

**Cuadro 27. Tiempos muertos para Zona 5 y 6 con Sistema Último Planificador.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto (días)</b>	<b>Tiempo Muerto (H.H)</b>
Colado	7	420
Formaleta	7	280
Armadura	6	840
Plástico	10	800
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>2340</b>

En total se presentan 30 días de tiempo muertos entre las distintas cuadrillas, siendo la actividad de plástico la que mayor tiempo presenta con 10 días, esto debido a que en campo hubo un atraso en el inicio de la colocación de plástico de zona 6 debido a lo anteriormente mencionado. En términos de horas hombre, los tiempos muertos alcanzan las 2340 horas, lo cual es un valor muy alto que encarece el proyecto y lo llena de imprevistos debido a la variabilidad que genera la alta entrada y salida de personal.

### **Entrepiso +3.0 m Edificio B**

Finalizada la construcción del sótano del proyecto de estudio, la planificación cambió y se empezó a centrar en un enfoque por edificio y no por zona de proyecto. Esto debido a que los hitos principales, tal como se observó en los casos anteriores, eran los conformados por

las coladas de las losas de fundación por zona y en esta nueva programación los hitos a cumplir los constituyen las coladas, pero de todo el nivel de un edificio de apartamentos.

En este caso, que representa el último caso de estudio del proyecto, se analizó la confección del entrepiso del nivel +3.0 m, donde se hizo énfasis en las actividades de montaje de vigas, colocación de viguetas, colocación de bloques de entrepiso, armado de vigas, armado de entrepiso, formaleta de entrepiso y colado de entrepiso. Similar a los casos anteriores la obra electromecánica es descartada del estudio.

La colocación de andamios de carga para la colocación de vigas no se tomó en consideración, en razón a atrasos en la entrega de vigas, se tenían estos listos mucho antes de realmente ser necesarios, por lo que incluirlos en el análisis podría crear incongruencias con todo el resto de la programación. Estos atrasos en entrega de vigas, también se vieron reflejados en una larga extensión de las actividades relacionadas a vigas, así como en la cantidad de días totales para la programación que en este caso alcanzó los 26 días de trabajo para construir el entrepiso del primer nivel del Edificio B.

La colada de este nivel del Edificio B, se hizo en dos coladas: la primera colada corresponde a una zona similar a la de Zona 1 y 2 de Sótano y la segunda colada a una similar a las Zona 3 y 4 de sótano. Las actividades que correspondieron a la primera colada se denotaron como Zona 1 y la de segunda colada como Zona 2.

Al igual que en los casos anteriores, se procede a mostrar la planificación realizada mediante el Sistema del Último Planificador con ayuda de líneas de balance, las líneas continuas las actividades representan cómo se planificaron y las discontinuas cómo realmente se ejecutaron en sitio.

Asimismo, se representa también mediante líneas continuas los casos en los cuales se tiene que lo planificado se hizo así en el sitio de proyecto. Esto se puede notar con ayuda del Cuadro 28.

Mediante este cuadro se puede observar que, las actividades de la Zona 1 presentan grandes disconformidades entre lo planeado y lo realizado en sitio, esto debido a grandes problemas en cuanto al suministro de vigas, por lo que tuvieron que hacerse gran cantidad de cambios.

Diferente fue con la mayoría de las actividades de la Zona 2 de entepiso del Edificio B, se realizó en su gran mayoría respecto a lo planeado, permitiendo de alguna manera alcanzar el avance de la Zona 1, logrando colar la Zona 2, 3 días después de colar la Zona 1.

**Cuadro 28. Líneas de balance para actividades de Entepiso +3.0 m Edificio B**



Se observa también que las actividades de armado de vigas y colocación de entepiso son las que más tiempo tardaron, mientras que las de colado y formaleta son las que menos duraron en completarse.

Al igual que en los demás casos, se elaboró un resumen explicativo de la numeración de las actividades en la representación mediante líneas de balance, así como del número de obreros empleados, los días de trabajo y el rendimiento obtenido por persona por día.

En esta ocasión se muestra en el Cuadro 29, que la colocación de vigas fue una de las actividades de mayor duración, debido a que sufre severos atrasos por la entrega tardía de las mismas, por lo que esto se vio reflejado de manera negativa en cuanto a la duración de esta actividad. Además, se destaca que las actividades de menor duración correspondieron a las de formaleta y colado de losa de entepiso, ya que estas no conllevaron tanto trabajo por parte de las distintas cuadrillas y se mantuvo un rendimiento similar al visto en las coladas de losas de fundación.

**Cuadro 29. Resumen de actividades para Entrepiso +3.0 m Edificio B**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Número de trabajadores	Días de Trabajo	Rendimiento obtenido en sitio
1	Montaje Vigas Zona 1	285.52 ml	8	9	3.95 ml/per/día
2	Montaje Viguetas Zona 1	549.36 ml	8	8	8.58 ml/per/día
3	Bloques de entrepiso Zona 1	666.55 m2	4	9	18.50 m2/per/día
4	Armadura Vigas Zona 1	750.90kg	10	8	9.38 kg/per/día
5	Armadura Entrepiso Zona 1	1721.92 kg	10	4	43.025 kg/per/día
6	Formaleta Zona 1	105.45 m2	4	2	13.125 m2/per/día
7	Colado Zona 1	132 m3	6	2	11 m3/per/día
8	Montaje Vigas Zona 2	214.137 ml	8	8	3.34 ml/per/día
9	Montaje Viguetas Zona 2	432.28 ml	8	8	6.75 ml/per/día
10	Bloques de entrepiso Zona 2	482.7 m2	4	7	17.2 m2/perdía
11	Armadura Vigas Zona 2	600.72 kg	12	6	8.34 kg/per/día
12	Armadura Entrepiso Zona 2	1377.53 kg	12	3	38.26 kg/per/día
13	Formaleta Zona 2	75.76 m2	4	1	18.94 m2/per/día
14	Colado Zona 2	112 m3	6	2	9.33 m3/per/día

En esta ocasión se muestra en el cuadro anterior, que la colocación de vigas fue una de las actividades de mayor duración, debido a que sufre severos atrasos por la entrega tardía de las mismas, por lo que esto se vio reflejado de manera negativa en cuanto a la duración de esta actividad. Además, se destaca que las actividades de menor duración correspondieron a las de formaleta y colado de losa de entrepiso, ya que estas no conllevaron tanto trabajo por parte de las distintas cuadrillas y se mantuvo un rendimiento similar al visto en las coladas de losas de fundación.

En cuanto a tiempos muertos en este caso, con respecto en el Cuadro 30, se puede notar como se tiene una cantidad considerable de días ociosos de las diferentes cuadrillas, para un total de 9, siendo la cuadrilla con mayor tiempo ociosa la de colocación de bloques de entrepiso, con 4 días.

**Cuadro 30. Tiempos muertos para Entrepiso +3.0 m con Sistema Último Planificador.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto (días)</b>	<b>Tiempo Muerto (H.H)</b>
Colado	1	60
Formaleta	1	40
Armadura Entrepiso	1	120
Bloques Entrepiso	4	160
Colocación Viguetas	1	80
Armadura Vigas	0	0
Colocación Vigas	1	80
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>540</b>

En términos de horas hombre ociosas, se puede observar que los tiempos muertos alcanzan un total de 540 horas, donde se tienen 120 hora y 160 horas para las actividades de armadura de entrepiso y colocación de bloques de entrepiso respectivamente, como mayores generadoras de tiempos ociosos en la zona de trabajo.

Estos tiempos muertos deben evitarse ya que pueden representar costos asociados al pago de salarios a personal que no está aportando valor al proyecto, así como por incumplir con los principios *LEAN* referentes a aprovechar al máximo los recursos del proyecto y siempre buscar la manera de generar valor.

### 3.2.2. Propuesta mediante la aplicación de Takt-Time

La propuesta mediante *Takt-Time* de las actividades de estudio se realizó luego de obtener los resultados de planificación mediante la herramienta del Sistema del Último Planificador, con los rendimientos mostrados en campo con ayuda de esta programación.

Esto se realiza para cada uno de los casos que se mostraron en la sección anterior, iniciando el día 03 de setiembre con el paquete de actividades referentes a las losas de fundación de sótano.

#### Zona 2 y Zona 3 de Sótano

En cuanto a la alternativa de la programación mediante la herramienta del *Takt-Time* se buscó un balance de las líneas presentadas anteriormente en el caso de la aplicación del Sistema del Último Planificador, observándose la misma en el Cuadro 31.

**Cuadro 31. Planificación mediante Takt-Time de las zonas 2 y 3 de Sótano**

CAT	Descripción	27-Aug	28-Aug	29-Aug	30-Aug	31-Aug	1-Sep	2-Sep	3-Sep	4-Sep	5-Sep	6-Sep	7-Sep	10-Sep	11-Sep	12-Sep	13-Sep	14-Sep
	Losas de Fundación																	
B	Colado												4			10		11
B	Formaleta										3		8			9		
B	Armado							2		5			6		7			
B	Plástico								1									

Posteriormente se procedió a elaborar un cuadro resumen de esta representación gráfica mediante líneas de balance, con el objetivo de mostrar los resultados de número de trabajadores, según la cantidad de días que se obtuvo del cuadro anterior, el rendimiento sacado en campo en la aplicación de la planificación por medio el Sistema del Último Planificador y la cantidad de trabajo a realizar; tal y como se presenta en el Cuadro 32.

En el Cuadro 32 se puede observar que para el caso del *Takt-Time*, se obtuvieron nuevos números de trabajadores a emplear en las distintas actividades de los paquetes de labores estudiados. Por lo que en la sección siguiente de este informe de trabajo final de graduación se procedió a comparar la cantidad de mano de obra necesaria, por actividad, para estas en contraste con las obtenidas con la aplicación del Sistema del Último Planificador en solitario.

**Cuadro 32. Resumen planificación mediante Takt-Time para Zona 2 y Zona 3**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Rendimiento obtenido en sitio	Días de Trabajo	Número de trabajadores
1	Colocación Plástico Z3	385 m2	24.1 m2/per/día	3	5
2	Armado Losa y Muros Fundación Z2	18938 kg	1052.1 kg/per/día	2	9
3	Formaleta Losa Z2	60 m2	10.0 m2/per/día	2	3
4	Colado Losa Z2	182.5 m2	15.2 m3/per/día	2	6
5	Armado Muros Retención Zona 2	3955 kg	263.7 kg/per/día	2	8
6	Armado Losa y Muros Fundación Z3	21098 kg	586.1 kg/per/día	3	12
7	Armado Muros Retención Zona 3	4325 kg	432.5 kg/per/día	3	3
8	Formaleta Muros Zona 2	590 m2	24.6 m2/per/día	3	8
9	Formaleta Losa Zona 3	45 m2	5.6 m2/per/día	3	3
10	Colado de Muros Zona 2	87.1 m3	7.3 m3/per/día	5	2
11	Colado Losa Fundación Z3	173.6 m3	14.5 m3/per/día	2	6

Se hace notar que las actividades se programaron para durar entre 2 días y 5 días laborales, la actividad de colado de muros de zona 2 fue la que tuvo una mayor duración con 5 días- Además, se puede apreciar que el número de trabajadores empleados para las actividades variaron entre 2 y 12 trabajadores por actividad, la actividad de armado de losa y muros de fundación de zona 3 fue la que ocupa de más trabajadores, mientras que la de colado de muros de zona 2 la que necesitó de menos colaboradores para terminar en el tiempo determinado para ello.

Se destaca también el desorden administrativo que puede causar esta planificación al variar sus cuadrillas de manera constante. Como se observa en el cuadro anterior la cuadrilla de

armadura de losa pasa de 9 a 12 trabajadores de zona a zona, creando un cambio en la planilla que puede resultar complicado de manejar.

Finalmente, en cuanto a los tiempos muertos obtenidos a través de la planificación realizada con la herramienta *Takt-Time*, estos se presentan en el Cuadro a continuación:

**Cuadro 33. Tiempos muertos para Zona 2 y Zona 3 mediante Takt-Time.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto (días)</b>	<b>Tiempo Muerto (H.H)</b>
Colado	0	0
Formaleta	0	0
Armadura	0	0
Plástico	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

En este caso se puede apreciar como el *Takt-Time* es efectivo en la disminución de los tiempos muertos de las cuadrillas en un proyecto, al lograr con dicha herramienta un tiempo muerto de 0 días y 0 horas hombre para todas las cuadrillas, significando esto un trabajo continuo con menor variabilidad y por ende menos posibilidad de imprevistos que encarezcan la obra.

Esto buscando el seguimiento de los principios de la construcción flexible donde se busca una mayor estandarización del trabajo y una reducción de los tiempos muertos, que uno de los puntos principales que considera la metodología como pérdidas y que por ende se debe disminuir

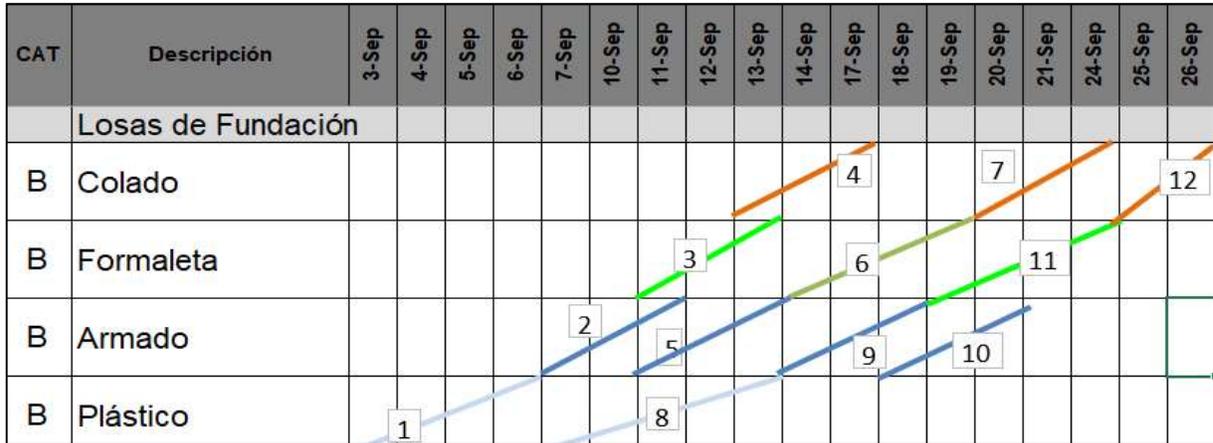
### **Zona 3 y Zona 4 de Sótano**

Para el caso de la zona 3 y zona 4 de sótano se puede observar en el Cuadro 34, que se plantea una alternativa de programación mediante la utilización de la herramienta de estudio de esta investigación, el *Takt-Time*.

Con esta nueva planificación se puede observar que la propuesta mediante *Takt-Time* permite una transición más marcada entre actividades, así como también evita el tener cuadrillas ociosas, ya que se observa cómo se tiene siempre trabajando a las diferentes cuadrillas. El caso de colado de concreto presenta momentos en los que tiene cuadrillas

ociosas, pero esto es debido a la naturaleza del subcontrato, donde la cuadrilla solo llega al proyecto los días que haya coladas.

**Cuadro 34. Planificación mediante Takt-Time de las zonas 3 y 4 de sótano**



Para el mejor entendimiento de esta planificación realizada con la herramienta de estudio, se presenta a continuación un resumen de las actividades, así como la nueva reasignación de recursos de mano de obra en el Cuadro 35. Como en el caso anterior este cuadro, se basó en los datos de rendimiento obtenidos mediante la planificación del Sistema del Último Planificador, para calcular la nueva cantidad de trabajadores por actividad necesarios.

En este cuadro se observa que los días de trabajo para las actividades planificadas ahora provienen de lo expuesto mediante las líneas de balance para las zonas 3 y 4 de sótano, en el Cuadro 34 donde se busca un equilibrio de las cargas de trabajo.

En este caso se puede apreciar que algunas actividades necesitan de gran cantidad de trabajadores como el armado de losa y muros de fundación donde se llegó hasta un total de 13 trabajadores por actividad para cumplir con el plan propuesto con la herramienta del *Takt-Time*.

Se nota, además, que la formaleta de las losas de fundación fueron las actividades que menos trabajadores ocuparían con la nueva planificación, ya que se obtienen valores de 2 o 3 trabajadores para las losas de fundación de la zona 3 y de la zona 4 de sótano respectivamente.

**Cuadro 35. Resumen de actividades mediante Takt-Time para zonas 3 y 4 de Sótano**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Rendimiento obtenido en sitio	Días de Trabajo	Número de trabajadores
1	Colocación Plástico Z3	385 m2	21.38 m2/per/día	4	5
2	Armado Losa y Muros Fundación Z3	21098 kg	586 kg/per/día	3	12
3	Formaleta Losa Z3	45m2	7.50 m2/per/día	3	2
4	Colado Losa Z3	173.635m3	14.47 m3/per/día	3	4
5	Armado Muros Retención Zona 3	4325kg	432.5 kg/per/día	3	3
6	Formaleta Muros Zona 3	468m2	11.70 m2/per/día	4	10
7	Colado Muros Zona 3	47 m3	5.88m3/per/día	3	3
8	Colocación Plástico Z4	405m2	13.50 m2/per/día	5	6
9	Armado Losa y Muros Fundación Z4	21100kg	527.50kg/per/día	3	13
10	Armado Muros Retención Zona 4	1650 kg	110 kg/per/día	3	5
11	Formaleta Losa Z4	53 m2	4.42 m2/per/día	4	3
12	Colado Losa Fundación Z4	179.3m3	14.94 m3/per/día	2	6

Respecto a los tiempos muertos obtenidos con esta herramienta, se observa en el Cuadro 36 como para casi todas las cuadrillas, se tiene un tiempo muerto de 0 días, solo el caso de la cuadrilla de colado se encuentra con 2 días de tiempo muerto (120 H.H), pero es un aspecto que no se pudo evitar del todo, debido a las necesidades del proyecto en esas zonas

**Cuadro 36. Tiempos muertos para Zona 3 y Zona 4 mediante Takt-Time.**

Actividad	Tiempo Muerto (días)	Tiempo Muerto (H.H)
Colado	2	120
Formaleta	0	0
Armadura	0	0
Plástico	0	0
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>120</b>

#### Zona 4 y 5 de Sótano

En cuanto al caso de la planificación propuesta para la construcción de las Zonas 4 y 5 de sótano con la herramienta del *Takt-Time*, esta se representa mediante líneas de balance en el Cuadro 37.

**Cuadro 37. Planificación mediante Takt-Time para las Zonas 4 y 5 de Sótano**

CAT	Descripción	10-Sep	11-Sep	12-Sep	13-Sep	14-Sep	17-Sep	18-Sep	19-Sep	20-Sep	21-Sep	24-Sep	25-Sep	26-Sep	27-Sep	28-Sep	1-Oct	2-Oct	3-Oct
	Losas de Fundación																		
B	Colado												5			7			11
B	Formaleta									4			6						
B	Armado					2			3				9						
B	Plástico		1							8									

Con ayuda de las líneas de balance se aprecia que las distintas actividades que constituyeron los paquetes de trabajo presentaron una transición más marcada entre estas y un paralelismo entre líneas en aras de conseguir un tiempo o pulso de trabajo que permitiera un mejor flujo de trabajo y eficiencia del mismo.

Además, se obtiene una planificación, que al igual que en el caso de la realizada a través del Sistema del Último Planificador, se programó para 18 días de trabajo, pero con la diferencia que se buscó promover el flujo continuo de trabajo y la aplicación de los principios básicos de la construcción flexible.

En este caso se presenta en el Cuadro 38, el cálculo de la cantidad de trabajadores necesarios para hacer frente a los requerimientos de esta programación gracias a la herramienta del *Takt-Time*. Esto basado en los rendimientos anteriormente obtenidos en el apartado anterior donde se analizó la programación mediante el Sistema del Último Planificador para estas dos zonas.

**Cuadro 38. Resumen de actividades mediante Takt-Time de Zona 4 y 5 de sótano**

<b>Número</b>	<b>Nombre de Actividad</b>	<b>Cantidad de trabajo a realizar</b>	<b>Rendimiento obtenido en sitio</b>	<b>Días de Trabajo</b>	<b>Número de trabajadores</b>
1	Colocación Plástico Z4	405m <sup>2</sup>	13.50 m <sup>2</sup> /per/día	4	8
2	Armado Losa y Muros Fundación Z4	21100kg	527.50 kg/per/día	4	10
3	Armado Muros de Retención Z4	1645 kg	182.78 kg/per/día	4	2
4	Formaleta Losa Z4	53 m <sup>2</sup>	4.42 m <sup>2</sup> /per/día	3	4
5	Colado Losa Fundación Z4	179.3m <sup>3</sup>	14.94 m <sup>3</sup> /per/día	2	6
6	Formaleta Muros Zona 4	468m <sup>2</sup>	39 m <sup>2</sup> /per/día	3	4
7	Colado Muros Zona 4	47 m <sup>3</sup>	5.88 m <sup>3</sup> /per/día	2	4
8	Colocación Plástico Z5	350m <sup>2</sup>	17.50 m <sup>2</sup> /per/día	4	5
9	Armadura Muros y Losa Z5	22655 kg	405.55 kg/per/día	4	14
10	Formaleta Losa Z5	45 m <sup>2</sup>	7.50 m <sup>2</sup> /per/día	3	2
11	Colado Losa Fundación Z5	148.25 m <sup>3</sup>	12.35 m <sup>3</sup> /per/día	2	6

En este caso se puede observar que, planificando el trabajo mediante los rendimientos obtenidos en el apartado anterior, las cuadrillas alcanzaron valores de 2 a 14 trabajadores, en el cual el caso donde se necesitaron menos trabajadores está conformado por la actividad de formaleta de losa de fundación de la zona 5. Mientras que la que presenta mayor necesidad de trabajadores está conformada por la actividad de armadura de muros y losa de fundación de la Zona 5.

En campo se vio un atraso debido a la actividad de armadura, por lo que en esta planificación se nota que para cumplir con las necesidades de programación las cuadrillas debieron aumentar hasta un valor de 14 personas.

Además, se hace ver que en ambos casos de colocación de concreto había una cuadrilla de 6 personas y se mantuvo la misma igual que en los casos anteriores. Por lo que se puede suponer que esta cuadrilla era la indicada para realizar la ejecución de estas actividades a lo largo del proyecto.

En este caso se vuelve a observar cambios drásticos de número de trabajadores en las cuadrillas entre zonas, por ejemplo, la cuadrilla de colocación de plástico pasa de 5 a 8 personas y la de armadura de 8 a 14, siendo complicado de manejar de manera

administrativa, ya que significan fluctuaciones muy altas de personal entre una semana y otra.

Finalmente, al igual que en los casos anteriores, se muestra la estimación de los tiempos muertos en el Cuadro 39, en donde se puede notar que los tiempos muertos son bastante reducidos, presentándose en el caso más crítico un valor de dos días, equivalente a 100 horas hombre, más específicamente para la cuadrilla de colocación de plástico.

**Cuadro 39. Tiempos muertos para Zona 4 y Zona 5 mediante Takt-Time.**

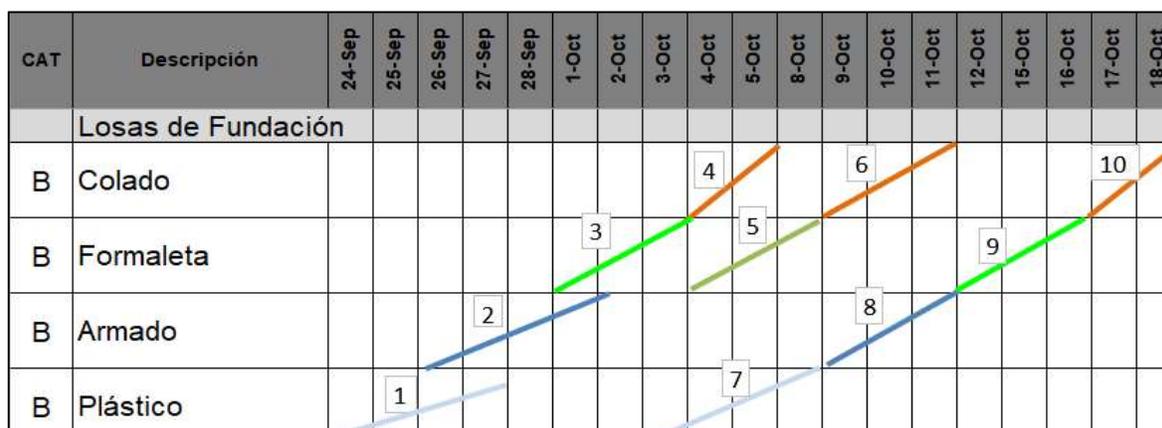
Actividad	Tiempo Muerto (días)	Tiempo Muerto (H.H)
Colado	1	60
Formaleta	0	0
Armadura	0	0
Plástico	2	100
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>160</b>

En el caso de las actividades de formaleta y de armadura se presenta un tiempo muerto de 0 días, lo que predice que estos datos se traducirían en una menor variabilidad y costos asociados al proyecto, como aspecto positivo a destacar a favor de la herramienta.

### Zona 5 y Zona 6 de Sótano

Con respecto al último caso de planificación, en cuanto a zonas de sótano se refiere, para la Zona 5 y Zona 6 de sótano se presenta la propuesta de programación de las actividades mediante líneas de balance en el Cuadro 40.

**Cuadro 40. Planificación mediante Takt-Time de Zona 5 y Zona 6 de Sótano**



Mediante las líneas de balance se encuentra un ritmo de trabajo que permite un flujo de trabajo más marcado, en el cual se pretende una transición más marcada y suave entre actividades, un cumplimiento mayor de los principios de la construcción flexible como la búsqueda del trabajo continuo, así como una estandarización del trabajo que se realiza.

Un aspecto a señalar consiste en que al observarse que había una separación grande entre las actividades de Zona 5 con las de Zona 6, se procedió a correr la fecha de colado de la losa de fundación de la Zona 5. Lo anterior para lograr una mejor equiparación de las cargas de trabajo, siempre respetando la fecha de colado de la losa de fundación de Zona 6 como hito a cumplir en el día establecido inicialmente.

Tampoco se debe perder de vista que la actividad de colocación de plástico de Zona 6 se inició antes para poder lograr encontrar un ritmo de trabajo que se equipare al de la Zona 5.

En este caso se presenta una disconformidad con los principios *Lean* al haber estado cuadrillas ociosas en varias ocasiones en la zona de trabajo, pero esto se produjo en razón de las necesidades de uso de personal en el proyecto, donde esas cuadrillas tenían esos días ocupadas en otras actividades como en la construcción de entrepisos como se verá a continuación.

Para este caso de estudio, al igual que en los casos anteriores, se procede a mostrar un resumen, en el Cuadro 41, con el cálculo de la cantidad de trabajadores necesarios para la programación mediante *Takt-Time*.

Para esta planificación se observa que la armadura de muros y losa de fundación de las Zonas 5 y 6 de sótano constituyeron las actividades donde había mayor cantidad de personal para la construcción de estas, en ambos casos se hace uso de 14 personas por actividad.

**Cuadro 41. Resumen de actividades mediante Takt-Time de Zona 5 y 6 de sótano**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Rendimiento obtenido en sitio	Días de Trabajo	Número de trabajadores
1	Colocación Plástico Z5	350m <sup>2</sup>	17.50 m <sup>2</sup> /per/día	4	5
2	Armadura Muros y Losa Z5	22655 kg	405.55 kg/per/día	4	14
3	Formaleta Losa Z5	45 m <sup>2</sup>	7.50 m <sup>2</sup> /per/día	3	2
4	Colado Losa Fundación Z5	148.25 m <sup>3</sup>	12.35 m <sup>3</sup> /per/día	2	6
5	Formaleta Muros Zona 5	313.74 m <sup>2</sup>	39.21 m <sup>2</sup> /per/día	3	3
6	Colado Muros Zona 5	28.37 m <sup>2</sup>	4.72 m <sup>3</sup> /per/día	3	2
7	Colocación Plástico Z6	360 m <sup>2</sup>	15 m <sup>2</sup> /per/día	4	6
8	Armadura Muros y Losa Z6	18670 kg	444.52 kg/per/día	3	14
9	Formaleta Losa Z6	48 m <sup>2</sup>	6 m <sup>2</sup> /per/día	3	3
10	Colado Losa Fundación Z6	152.24 m <sup>3</sup>	12.68 m <sup>3</sup> /per/día	2	6

Se puede ver que las actividades de formaleta de losa eran las que menos personal necesitaban, ya que para la Zona 5 y la Zona 6 se planteó el uso de 2 y 3 personas respectivamente.

En el caso de colocación de plástico las cuadrillas necesarias son de 5 y 6 personas, mientras que en el caso de colado de concreto se mantuvieron las 6 personas por actividad tal y como en las zonas de sótano anteriormente estudiadas.

En cuanto a tiempos muertos, se presenta en el Cuadro 42, como se tiene un valor alto de días muertos con la planificación mediante *Takt-Time*.

**Cuadro 42. Tiempos muertos para Zona 5 y Zona 6 mediante Takt-Time.**

Actividad	Tiempo Muerto (días)	Tiempo Muerto (H.H)
Colado	3	180
Formaleta	3	90
Armadura	5	700
Plástico	3	180
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>1150</b>

En este caso el total de tiempos muertos alcanza un valor de 20 días en total o 1150 horas hombre, esto debido a una gran separación entre la realización de la Zona 5 y la Zona 6, debido a factores anteriormente explicados, donde por necesidades de logística de sitio, la Zona 6 empezó su construcción con un ligero retraso y creo un intervalo de tiempo con las cuadrillas ociosas en esa zona de trabajo; viéndose reflejado también en el caso de aplicación de la herramienta de estudio.

### Entrepiso +3.0 m Edificio B

Para la programación propuesta mediante la utilización de la herramienta de la construcción flexible, *Takt-Time*, para el entrepiso +3.0 m del Edificio B, se tiene el Cuadro 43.

**Cuadro 43. Planificación mediante Takt-Time de Entrepiso +3.0m Edificio B**



En este enfoque de programación se puede observar que se buscó un paralelismo entre las líneas de balance de la Zona 1, con las de la Zona 2, para alcanzar un ritmo de trabajo que permitiera una mejor distribución de las cargas de trabajo y cumplir con el hito de colar cada zona en las fechas establecidas como hito para ello.

Se aprecia también mediante esta programación, a diferencia de la realizada con solo la utilización del Sistema del Último Planificador, que se planificó el trabajo para evitar la aparición de tiempos muertos, ya que todas las cuadrillas se encontraron siempre ocupadas desde el inicio de sus labores hasta el final de estas.

Un aspecto considerable a tomar en cuenta en relación a esta programación mediante *Takt-Time*, es que para la confección de esta se supone que los materiales arriban justo a tiempo, por lo que no se producirían atrasos debido al suministro de vigas y que los materiales estarían en el proyecto cuando se necesitan.

Para una mejor comprensión de la numeración de las actividades representadas con ayuda de líneas de balance y la obtención de la nueva cantidad de trabajadores con esta programación se presenta el Cuadro 44, con esta información.

**Cuadro 44. Resumen de actividades mediante Takt-Time de Entrepiso +3.0 m Edificio B**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Rendimiento obtenido en sitio	Días de Trabajo	Número de trabajadores
1	Montaje Vigas Zona 1	285.52 ml	3.95 ml/per/día	7	10
2	Montaje Viguetas Zona 1	549.36 ml	8.58 ml/per/día	6	11
3	Bloques de entrepiso Zona 1	666.55 m2	18.50m2/per/día	6	6
4	Armadura Vigas Zona 1	750.90kg	9.38 kg/per/día	7	11
5	Armadura Entrepiso Zona 1	1721.92 kg	43.02 kg/per/día	5	8
6	Formaleta Losa Zona 1	105.45 m2	13.12m2/per/día	2	4
7	Colado Zona 1	132 m3	7.33 m3/per/día	2	6
8	Montaje Vigas Zona 2	214.137 ml	3.34 ml/per/día	8	8
9	Montaje Viguetas Zona 2	432.28 ml	6.75 ml/per/día	6	11
10	Bloques de entrepiso Zona 2	482.7 m2	17.2 m2/perdía	6	5
11	Armadura Vigas Zona 2	600.725 kg	8.34 kg/per/día	6	12
12	Armadura Entrepiso Zona 2	1377.53 kg	38.26 kg/per/día	4	9
13	Formaleta Losa Zona 2	75.76 m2	18.94m2/per/día	2	2
14	Colado Zona 2	112 m3	9.33 m3/per/día	2	6

En esta programación mediante *Takt-Time* se hubiera reducido la duración de gran cantidad de actividades en relación a lo observado mediante la utilización en solitario del Sistema del Último Planificador, en este caso la actividad de montaje de vigas de zona 2 hubiera sido la de mayor duración con 8 días. Las actividades de menor duración hubieran sido las de colado y formaleta de ambas zonas con 2 días de duración.

En cuanto al tamaño de las cuadrillas a emplear, se observa que estas rondarían valores de 2 hasta 12 trabajadores, siendo la actividad de armadura de vigas de zona 2 la que mayor cantidad de trabajadores emplearía y la actividad de formaleta de entrepiso de zona 2 la que menor cantidad necesitaría.

Se observa también que, en ciertos casos, como en el de formaleta de la losa de zona 1 y 2, se tienen cuadrillas que varían bastante entre zonas, pasando de 4 a 2 trabajadores o en el montaje de vigas que se tiene para una zona 10 y para la siguiente 8. Esto siendo en la mayoría de los casos difícil de lograr, ya que esa variación drástica de personal puede ser complicada de gestionar administrativamente.

En este caso de estudio también es apreciable mediante el Cuadro 45, como los tiempos muertos con el uso de la herramienta *Takt-Time* refieren a números bajos, cercanos a 0 en su mayoría.

**Cuadro 45. Tiempos muertos para Entrepiso +3.0 m con Sistema Último Planificador.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto (días)</b>	<b>Tiempo Muerto (H.H)</b>
Colado	1	60
Formaleta	1	20
Armadura Entrepiso	0	0
Bloques Entrepiso	0	0
Colocación Viguetas	0	0
Armadura Vigas	0	0
Colocación Vigas	0	0
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>80</b>

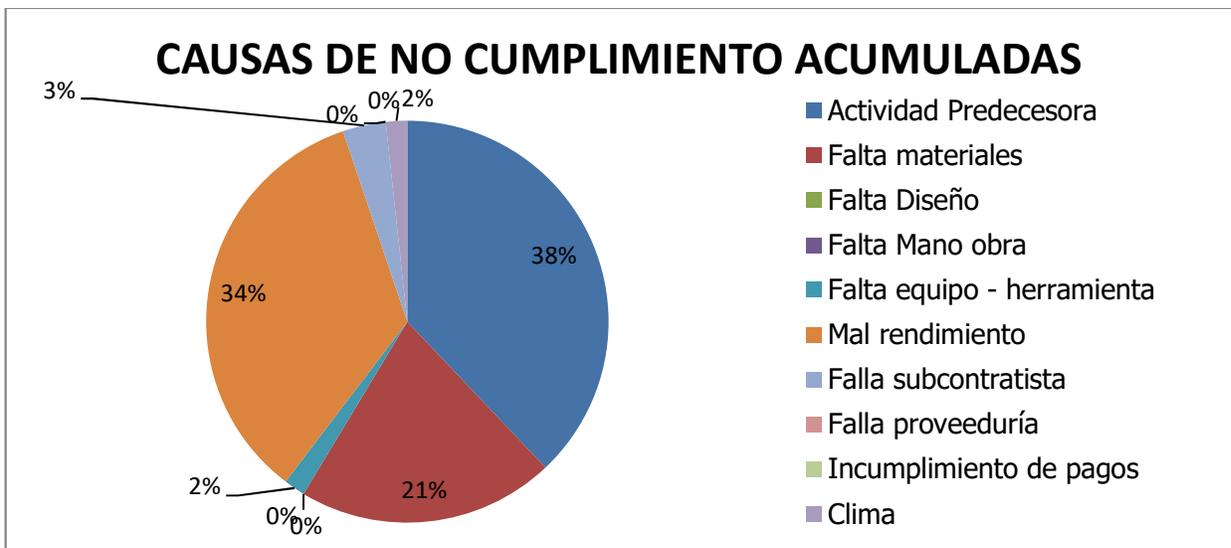
En dicho Cuadro se observa cómo solo para las cuadrillas de colado y formaleta se presenta un día en que estas se encontrarían sin trabajo; mientras que en el resto de casos se tendría trabajo continuo desde el inicio de su intervención en la zona de trabajo hasta el final.

Lo anterior promueve una menor incertidumbre en la planificación, un flujo continuo de trabajo, una estandarización de las labores a realizar y un menor costo asociado al no tener que pagar salarios a trabajadores que se encuentran sin trabajo en un punto dado del proyecto.

### 3.2.3. Otros resultados a tomar en cuenta

Además de los resultados obtenidos anteriormente, se considera pertinente también mostrar algunos resultados adicionales en cuanto a las planificaciones realizadas mediante el Sistema del Último Planificador, específicamente la evaluación acumulada de cuadrillas, así como las causas de no cumplimiento acumuladas del proyecto.

En cuanto a las causas de no cumplimiento acumuladas en el proyecto de estudio, respecto a la planificación semanal realizada con el Sistema del Último Planificador, estas se pueden observar en un gráfico que resume las mismas en la Figura 26.



**Figura 26. Causas de no cumplimiento acumuladas en el proyecto de estudio**

Con este gráfico se pueden identificar las tres principales causas de no cumplimiento en la planificación que corresponde a actividades predecesoras con un 38% (asociable también a las otras causas), mal rendimiento 34% y falta de materiales 21%. Esto para el periodo de estudio que corresponde a las semanas del 03 de setiembre de 2018 a la semana del 29 de octubre de 2018.

Los no cumplimientos, debidos a las actividades predecesoras y debido a mal rendimiento, representan una mala planificación por parte de los expertos que realizan la planificación semanal en la reunión del Sistema del Último Planificador. Esto se debe principalmente a que en dicha reunión las cargas de trabajo se distribuyen a criterio de los encargados de las actividades, es decir sin la utilización de rendimientos de mano de obra, cosa que sí se debe

hacer en la planificación que se realice mediante el *Takt-Time*, siendo un aspecto de mejora de la segunda herramienta conforme a la primera.

Asimismo, puede ser que el plazo planeado para dichas actividades sea el correcto, pero no se contempla a la hora de comprometer actividades, las actividades simultaneas que debe realizar una determinada cuadrilla. Por lo que la cantidad de actividades comprometidas puede exceder las posibilidades reales de trabajo de las cuadrillas.

Una mala planificación de una actividad crea un desbalance del flujo de trabajo, teniendo consecuencias sobre las actividades siguientes que cuentan con menos tiempo y mayor presión para culminar sus trabajos. Esta situación entorpece la calidad de las mismas y en reiteradas ocasiones crea atrasos. Esto se busca evitar mediante el balanceo de flujos y una mejor distribución de las cargas de trabajo de las actividades.

Además de lo anterior, el mal rendimiento de actividades puede ser dado por otras condiciones tales como una baja motivación del personal, transporte de materiales, tiempos muertos, incapacidad de la grúa torre de lidiar con todos los acarreos necesarios, mala comunicación, entre otros. Estos aspectos buscan ser eliminados mediante la metodología *LEAN*, que dentro de sus principios busca la disminución de las mudas y perdidas antes descritas.

Estas pérdidas deben preverse y ser disminuidas para que la aplicación del Sistema del Último Planificador sea correcta, y la de la herramienta del *Takt-Time* también. Ya que para que estas tengan éxito se debe tener la cultura *LEAN* interiorizada como organización y no ser utilizadas como métodos aislados en cuanto a la corriente de pensamiento de trabajo de la empresa.

La falta de materiales es otra causa que se debe de corregir para una correcta aplicación de las herramientas de la construcción flexible, ya que, en la colocación de vigas, principalmente fue un generador de atrasos y de esperas que de ser corregidas pudieron mejorar el rendimiento de las cuadrillas y seguir de acuerdo a la planificación estratégica el trabajo del proyecto. La cual para la última semana de estudio de investigación presentaba un retraso en cuanto a cronograma maestro de 2 semanas.

Por otra parte, también se obtiene la evaluación de cuadrillas acumulada en el Cuadro 46, que representa el porcentaje de cumplimiento de las actividades comprometidas por los distintos subcontratistas del proyecto.

**Cuadro 46. Evaluación de cuadrillas acumuladas del proyecto.**

Cuadrilla	% CUMPLIMIENTO												
	13-Aug	20-Aug	27-Aug	3-Sep	10-Sep	17-Sep	24-Sep	1-Oct	8-Oct	15-Oct	22-Oct	29-Oct	ACUMULADO
Obra Gris	84%	50%	67%	80%	100%	50%	100%	33%	25%	80%	60%	100%	69%
Armadura	50%	50%	100%	100%	80%	60%	75%	67%	40%	100%	100%	60%	74%
Formaleta		100%	67%	60%	78%	86%	100%	100%	75%	100%	83%	71%	84%
Incomel	67%	100%	100%	100%	100%	33%	75%	80%	67%	75%	100%	100%	83%
<b>PROYECTO</b>	<b>67%</b>	<b>75%</b>	<b>84%</b>	<b>85%</b>	<b>90%</b>	<b>57%</b>	<b>88%</b>	<b>70%</b>	<b>52%</b>	<b>89%</b>	<b>86%</b>	<b>83%</b>	<b>77%</b>

En dicho cuadro, se puede observar el porcentaje de cumplimiento de las actividades comprometidas por semana y acumulado hasta la semana del 29 de octubre de 2018, de las cuatro cuadrillas que se encargaron de las actividades de estudio.

Se puede observar que la cuadrilla de "obra gris" (encargada de actividades como trazos, rellenos y colocación de plástico), es la que menor porcentaje de actividades cumplidas presenta con un 69%, seguido por la cuadrilla de armadura con 74%. Por su parte las cuadrillas de formaleta y de obra electromecánica son las que mejor rendimiento presenta con valores de 84% y 83% respectivamente.

Esto para un ponderado de proyecto de 77% de actividades cumplidas respecto a lo planificado con el Sistema del Último Planificador, lo que hace ver que casi un cuarto de las actividades que se planean es realizado de manera deficiente en cuanto a plazo.

El valor de 23% de actividades no completadas conforme a la planificación semanal, no representa tampoco un valor preocupante para el desempeño de un proyecto ya que se considera un desempeño medio de la planificación cuando se tienen valores entre 70 y 85%. Además, para algunos planificadores al interno de la organización, valores en el rango de 75% y 90% son resultados buenos, ya que valores mayores pueden significar que la planificación que se presenta es muy sencilla de cumplir por parte de los subcontratistas.

Estos porcentajes se pueden comprender de mejor manera con ayuda de las causas de no cumplimiento presentadas anteriormente, ya que los principales atrasos en la planificación se dan debido al atraso de la primera cuadrilla en trabajar que es la que se denota como obra gris, ya que es la encargada de colocación de plástico, rellenos, zanjeo entre otras, que como se muestra en los resultados de la sección anterior presenta gran variabilidad entre lo planificado y lo realizado en sitio.

Lo anterior se refleja luego en el trabajo de los demás subcontratistas que, aunque realicen sus actividades en el tiempo que se solicitó, y al ya estar atrasados por actividades predecesoras, presentan incumplimientos en sus labores comprometidas.

Los subcontratos de formaleta y obra electromecánica presentan mejores porcentajes de cumplimiento porque dependen en menor medida de actividades predecesoras. Esto a pesar de que la actividad de formaleta se ve afectada en la parte final del plazo de estudio debido a que son los encargados de la colocación de vigas y bloques de entrepiso que como se mencionó anteriormente presentaron atrasos en su llegada.

Este aspecto anterior es difícil de controlar en la planificación, ya que muchas veces surgen por problemas de último momento, pero debe de ser disminuido para lograr un mejor porcentaje de cumplimiento. Esto se logra mediante una interiorización mayor de la metodología de construcción flexible en las empresas donde se disminuyen los tiempos de espera y se tiene un suministro de materiales adecuado.

La herramienta del *Takt-Time* es una alternativa a estos aspectos, dado que busca una disminución de la variabilidad en el trabajo, ya que, al incorporar rendimientos a su método de planificación, permite una mejor cuantificación de los recursos de mano de obra necesarios para completar las actividades y por ende una mejor planificación y un porcentaje más alto de porcentaje de actividades completadas.

### 3.3. Análisis de resultados

#### 3.3.1. Resumen comparativo de resultados

Con los resultados de cantidad de trabajadores necesarios por actividad en los casos de la planificación mediante el Sistema del Último Planificador y con ayuda de la herramienta *Takt-Time*, se realizó una comparación y análisis de los resultados en cuanto a mano de obra empleada mediante cada método y se inició con la planificación de las zonas 2 y 3 de sótano.

#### Zona 2 y 3 de Sótano

En el siguiente cuadro se presenta la comparación de trabajadores para las distintas alternativas de planificación planteadas en esta investigación, en el caso de las zonas 2 y 3 de sótano.

**Cuadro 47. Comparativa de trabajadores entre planificaciones para las zonas 2 y 3 de Sótano.**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Número de trabajadores sin Takt-Time	Número de trabajadores Takt-Time	%Diferencia
1	Colocación Plástico Z3	385 m <sup>2</sup>	8	5	-33.33%
2	Armado Losa y Muros Fundación Z2	18938 kg	9	9	0.00%
3	Formaleta Losa Z2	60 m <sup>2</sup>	3	3	0.00%
4	Colado Losa Z2	182.5 m <sup>3</sup>	6	6	0.00%
5	Armado Muros Retención Zona 2	3955 kg	5	8	50.00%
6	Armado Losa y Muros Fundación Z3	21100 kg	9	12	33.33%
7	Armado Muros Retención Zona 3	4325 kg	5	3	-33.33%
8	Formaleta Muros Zona 2	590 m <sup>2</sup>	6	8	33.33%
9	Formaleta Losa Zona 3	45 m <sup>2</sup>	4	3	-33.33%
10	Colado de Muros Zona 2	87.1 m <sup>3</sup>	4	2	-40.00%
11	Colado Losa Fundación Z3	173.6 m <sup>3</sup>	6	6	0.00%

Se puede notar en este análisis comparativo que, para dichas zonas de estudio, la actividad con mayor porcentaje de reducción de cantidad de trabajadores al implementar el *Takt-Time* corresponde a la actividad de colado de muros de Zona 2, mientras que la actividad que contaría con un mayor porcentaje de aumento de trabajadores consistiría en el armado de muros de retención de la zona 2, que alcanza un valor de 50% de desmejora en comparación a la no utilización de la herramienta.

En cuanto a la comparación de los tiempos muertos, se puede apreciar esta mediante el Cuadro 48.

**Cuadro 48. Comparativa de tiempos muertos para las zonas 2 y 3 de Sótano.**

Actividad	Tiempo Muerto sin Takt-Time (días)	Tiempo Muerto Takt-Time (días)	%Diferencia
Colado	1	0	-100.00%
Formaleta	2	0	-100.00%
Armadura	0	0	N/A
Plástico	2	0	-100.00%
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>-100.00%</b>

Se puede notar como para este caso, los tiempos muertos se reducen en un 100% con la aplicación de la herramienta *Takt-Time* por lo que, para este primer caso de estudio, esta herramienta es de gran utilidad para la reducción de los tiempos muertos en el proyecto, aspecto que se traduce en un mejor flujo de trabajo y menor variabilidad del trabajo, al encontrarse las cuadrillas trabajando de manera constante. Viéndose de igual forma reflejado en la comparativa mediante horas hombre en el siguiente Cuadro.

**Cuadro 49. Comparativa de tiempos muertos H.H para las zonas 2 y 3 de Sótano.**

Actividad	Tiempo Muerto sin Takt-Time (H.H)	Tiempo Muerto Takt-Time (H.H)	%Diferencia
Colado	60	0	-100.00%
Formaleta	80	0	-100.00%
Armadura	0	0	N/A
Plástico	0	0	N/A
<b>Total</b>	<b>140</b>	<b>0</b>	<b>-100.00%</b>

Esta reducción total de los tiempos muertos también se traduce en menores costos, ya que no se debe asignar recursos económicos a personal que no está generando valor al proyecto en esos días que se encuentran ociosos.

### Zona 3 y 4 de Sótano

Se continúa con la comparativa en la planificación mediante las diferentes herramientas utilizadas (Sistema Último Planificador en solitario y *Takt-Time*), en el Cuadro 50 se cotejaron los recursos de mano de obra para estas para el caso de las distintas programaciones para las Zonas 3 y 4 de Sótano en el proyecto de estudio; esto a través de porcentajes de diferencia.

**Cuadro 50. Comparativa de trabajadores entre planificaciones para las zonas 3 y 4 de Sótano**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Número de trabajadores sin Takt-Time	Número de trabajadores Takt-Time	%Diferencia
1	Colocación Plástico Z3	385 m2	6	5	-24.97%
2	Armado Losa y Muros Fundación Z3	21098 kg	9	12	33.35%
3	Formaleta Losa Z3	45m2	3	2	-33.33%
4	Colado Losa Z3	173.635m3	6	4	-33.34%
5	Armado Muros Retención Zona 3	4325kg	5	3	-33.33%
6	Formaleta Muros Zona 3	468m2	8	10	25.00%
7	Colado Muros Zona 3	47 m3	4	3	-33.39%
8	Colocación Plástico Z4	405m2	6	6	0.00%
9	Armado Losa y Muros Fundación Z4	21100kg	8	13	66.67%
10	Armado Muros Retención Zona 4	1650 kg	3	5	66.67%
11	Formaleta Losa Z4	53 m2	6	3	-50.00%
12	Colado Losa Fundación Z4	179.3m3	6	6	0.00%

En este caso es notable como la actividad con mejor porcentaje de mejora se puede observar la actividad de formaleta de losa de fundación de Zona 4, que presentaría un porcentaje de mejora en cuanto a recursos de mano de obra del 50%. Esto en función de que la actividad

de formaleta de losa de fundación de zona 4 era una actividad que tenía una corta duración en la planificación mediante el Sistema del Último Planificador, al implementar el *Takt-Time* pasaría a tener una mayor duración, significando esto una cuadrilla menor, debido a las nuevas necesidades de trabajo.

Mientras que las actividades que tendrían mayores porcentajes de desmejora corresponden a las actividades de armadura de losa y muros de fundación de la zona 4, así como el de armado de muros de retención de la misma zona, ya que constituyen las actividades a las que más se les reduce su duración en aras de cumplir con un flujo constante de trabajo definido por la herramienta de estudio de esta investigación. Además de este análisis, se realiza la comparativa de tiempos muertos en el cuadro a continuación.

**Cuadro 51. Comparativa de tiempos muertos para las zonas 3 y 4 de Sótano.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto sin Takt-Time (días)</b>	<b>Tiempo Muerto Takt-Time (días)</b>	<b>%Diferencia</b>
Colado	5	2	-60.00%
Formaleta	1	0	-100.00%
Armadura	0	0	N/A
Plástico	2	0	-100.00%
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>-75.00%</b>

Para este caso se tiene también una reducción bastante considerable de los tiempos muertos, al reducirse los mismos en un 75 %. En cuanto a cada cuadrilla, se puede ver cómo solo para la cuadrilla de colado se presentan tiempos muertos, para las demás el valor de tiempos muertos es de 0 días. Este análisis también se realiza en términos de horas hombre en el siguiente cuadro, donde se observa una reducción idéntica de 75 %.

**Cuadro 52. Comparativa de tiempos muertos H.H para las zonas 3 y 4 de Sótano.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto sin Takt-Time (H.H)</b>	<b>Tiempo Muerto Takt-Time (H.H)</b>	<b>Diferencia</b>
Colado	300	120	-60.00%
Formaleta	60	0	-100.00%
Armadura	0	0	N/A
Plástico	120	0	-100.00%
<b>Total</b>	<b>480</b>	<b>120</b>	<b>-75.00%</b>

Una mejora en los tiempos muertos por parte de la herramienta *Takt-Time* representa un incentivo para su aplicación, ya que mejora los flujos de trabajo al tener una continuidad del trabajo y una menor variabilidad al presentarse menos imprevistos en el proyecto con la utilización de la herramienta, así también evitando la salida y reingreso del personal, que causa aumentos en los costos y variabilidad de los proyectos.

#### **Zona 4 y Zona 5 de Sótano**

Pasando a la programación de la Zona 4 y 5 de Sótano gracias a la herramienta del *Takt-Time* y sin la misma, se compara la mano de obra empleada para los dos casos de programación. Esta se muestra en el Cuadro 53, donde se hace un contraste entre la cantidad de trabajadores que se emplearían para el caso de la utilización del *Takt-Time* como herramienta de programación de actividades, así como el caso donde no se hace uso de esta herramienta; se presenta mediante un porcentaje de diferencia donde negativos representaría disminuciones del tamaño de las cuadrillas al utilizar *Takt-Time*.

**Cuadro 53. Comparativa de trabajadores entre planificaciones para las zonas 4 y 5 de Sótano**

<b>Número</b>	<b>Nombre de Actividad</b>	<b>Cantidad de trabajo a realizar</b>	<b>Número de trabajadores sin Takt-Time</b>	<b>Número de trabajadores Takt-Time</b>	<b>%Diferencia</b>
1	Colocación Plástico Z4	405m2	6	8	25.00%
2	Armado Losa y Muros Fundación Z4	21100kg	8	10	25.00%
3	Armado Muros de Retención Z4	1645 kg	3	2	-25.00%
4	Formaleta Losa Z4	53 m2	4	4	0.00%
5	Colado Losa Fundación Z4	179.3m3	6	6	0.00%
6	Formaleta Muros Zona 4	468m2	4	4	0.00%
7	Colado Muros Zona 4	47 m3	4	4	0.00%
8	Colocación Plástico Z5	350m2	10	5	-50.00%
9	Armadura Muros y Losa Z5	22655 kg	8	14	75.00%
10	Formaleta Losa Z5	45 m2	3	2	-33.33%
11	Colado Losa Fundación Z5	148.25 m3	6	6	0.00%

En particular para este caso, se puede observar que el mayor porcentaje de aumento en la cantidad de trabajadores en las cuadrillas, entre ambos enfoques de planificación, sería la actividad de armadura de muros y losa de fundación de la Zona 5, esto debido a que en campo fue mal planificada, al sobreestimarse la capacidad de las cuadrillas, generándose atrasos, los cuales se verían ven compensados en la planificación mediante el *Takt-Time* al aumentar la cuadrilla en 4 personas.

En el caso de la colocación de plástico de la zona 5, se puede observar el mayor porcentaje de disminución de trabajadores por cuadrilla, con un 50% de disminución. Esto dado a que el tiempo necesario para la realización de esta actividad se aumenta al doble con la utilización del *Takt-Time*, de lo que se presentó con la utilización de la programación base en el proyecto.

Además, se presenta también la comparativa de los tiempos muertos para el estudio de las zonas 4 y 5 en el siguiente cuadro.

**Cuadro 54. Comparativa de tiempos muertos para las zonas 4 y 5 de Sótano.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto sin Takt-Time (días)</b>	<b>Tiempo Muerto Takt-Time (días)</b>	<b>%Diferencia</b>
Colado	1	1	0.00%
Formaleta	1	0	-100.00%
Armadura	1	0	-100.00%
Plástico	5	2	-60.00%
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>-62.50%</b>

Se aprecia como los tiempos muertos en este caso se reducen sustancialmente con la aplicación del *Takt-Time*, pasando el total de estos de 8 a 3 días, representado un 62.50% de mejora.

En el caso de las cuadrillas de armadura y formaleta se reduce los tiempos muertos completamente, es decir, a 0 días, mientras que en el caso de la colocación de plástico se pasa de 5 a 2 días. Para la cuadrilla de colado, no se logró, al menos para este caso en particular, disminuir los tiempos muertos, manteniéndose en 1 día la cuadrilla ociosa tanto

con la planificación mediante el Sistema del Último Planificador como con el uso del *Takt-Time*.

Estos tiempos muertos, representados como horas hombre ociosas, se puede observar en el siguiente cuadro, dónde se muestra como el valor disminuye aún más en estos términos, ya que se tiene una diferencia del 76.12 %, ya que el *Takt-Time* en su reacomodo de cargas de trabajo, disminuyo el tamaño de las cuadrillas con mayores tiempos muertos.

**Cuadro 55. Comparativa de tiempos muertos H.H para las zonas 4 y 5 de Sótano.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto sin Takt-Time (H.H)</b>	<b>Tiempo Muerto Takt-Time (H.H)</b>	<b>Diferencia</b>
Colado	60	60	0.00%
Formaleta	30	0	-100.00%
Armadura	80	0	-100.00%
Plástico	500	100	-80.00%
<b>Total</b>	<b>670</b>	<b>160</b>	<b>-76.12%</b>

### **Zona 5 y Zona 6 de Sótano**

En el caso de las zona finales de sótano que completan la fundación en la que se encuentran los edificios de apartamentos que constituyen el proyecto de estudio, se procede a presentar en el Cuadro 56, la comparativa de tamaños de cuadrillas, entre los dos métodos de planificación utilizados, el Sistema del Último Planificador en solitario y con el uso de la herramienta de estudio, el *Takt-Time*.

Analizando a detalle, se observa que las actividades con mayores porcentajes de disminución de tamaños de cuadrilla, corresponderían a las relacionadas con labores de formaleta, ya que a estas se les brindaría mayor tiempo para realizarse. De igual forma, las tareas de plástico verían disminuidas su tamaño de cuadrilla en buena medida debido a la misma razón, al iniciar la construcción de la Zona 6 antes que lo planificado a través el Sistema del Ultimo Planificador y dar más tiempo a la confección de la Zona 5.

**Cuadro 56. Comparativa de trabajadores entre planificaciones para las zonas 5 y 6 de Sótano.**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Número de trabajadores sin Takt-Time	Número de trabajadores Takt-Time	%Diferencia
1	Colocación Plástico Z5	350m2	10	5	-50.00%
2	Armadura Muros y Losa Z5	22655 kg	8	14	74.57%
3	Formaleta Losa Z5	45 m2	3	2	-33.33%
4	Colado Losa Fundación Z5	148.25 m3	6	6	0.00%
5	Formaleta Muros Zona 5	313.74 m2	4	3	-33.32%
6	Colado Muros Zona 5	28.37 m2	3	2	-33.22%
7	Colocación Plástico Z6	360 m2	8	6	-25.00%
8	Armadura Muros y Losa Z6	18670 kg	14	14	0.00%
9	Formaleta Losa Z6	48 m2	4	3	-33.33%
10	Colado Losa Fundación Z6	152.24 m3	6	6	0.00%

La única actividad que presentaría realmente un aumento de la cantidad de trabajadores con el *Takt-Time* sería la actividad de armadura de la zona 5, esto debido a que en campo fue realizado durante 7 días y con la propuesta mediante esta herramienta se haría en 4, por lo que necesitaría de mayor cantidad mano de obra para lograr esto, específicamente un 73%.

Respecto a la comparación de tiempos muertos obtenidos mediante el *Takt-Time* y el Sistema de Último Planificador, se puede apreciar la misma en el siguiente cuadro. En este caso, se observa una disminución de los tiempos muertos no tan acentuado como la de los casos anteriores, de 33.33%, lo que no deja de ser un valor bastante considerable tomando en cuenta que representa 10 días menos de cuadrillas ociosas.

**Cuadro 57. Comparativa de tiempos muertos para las zonas 5 y 6 de Sótano.**

Actividad	Tiempo Muerto sin Takt-Time (días)	Tiempo Muerto Takt-Time (días)	%Diferencia
Colado	7	3	-57.14%
Formaleta	7	3	-57.14%
Armadura	6	5	-16.67%
Plástico	10	3	-70.00%
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>-33.33%</b>

Las cuadrillas en todos los casos disminuyen sus tiempos muertos, por lo que se aprecia que el *Takt-Time*, presenta una capacidad bastante considerable para la disminución de los tiempos muertos en la planificación de la construcción de proyectos de obra civil. Esto también se observa en términos de horas hombre en el Cuadro 58.

**Cuadro 58. Comparativa de tiempos muertos H.H para las zonas 5 y 6 de Sótano.**

Actividad	Tiempo Muerto sin Takt-Time (H.H)	Tiempo Muerto Takt-Time (H.H)	Diferencia
Colado	420	180	-57.14%
Formaleta	280	90	-67.86%
Armadura	840	700	-16.67%
Plástico	800	180	-77.50%
<b>Total</b>	<b>2340</b>	<b>1150</b>	<b>-50.85%</b>

Mediante las horas hombre ociosas, se puede observar un mayor porcentaje de diferencia que en la comparación hecha mediante días, ya que, a disminuirse los tamaños de cuadrilla en las actividades con mayores tiempos muertos, esta disminución de los tiempos ociosos de trabajo se ve más acentuada.

### **Entrepiso +3.0 m Edificio B**

En cuanto al entrepiso del nivel +3.0 m del Edificio B, en el Cuadro 59 se realiza la comparación entre la cantidad de trabajadores por actividad empleados para la programación mediante la herramienta *Takt-Time* y la hecha con el Sistema del Último Planificador en solitario.

En busca de mejora en los flujos de trabajo y una disminución de los tiempos muertos en los proyectos, se tiene que el *Takt-Time* varía la duración de las actividades con respecto a lo planificado con el Sistema del Último Planificador, y con esto también el tamaño de las cuadrillas, en busca de un tiempo o pulso de trabajo que permita lograr este fin. Esto siendo reflejado en el Cuadro presentado a continuación.

**Cuadro 59. Comparativa de trabajadores entre planificaciones para Entrepiso + 3.0 m Edificio B**

Número	Nombre de Actividad	Cantidad de trabajo a realizar	Número de trabajadores sin Takt-Time	Número de trabajadores Takt-Time	%Diferencia
1	Montaje Vigas Zona 1	285.516 ml	8	10	29.08%
2	Montaje Viguetas Zona 1	549.36 ml	8	11	33.39%
3	Bloques de entrepiso Zona 1	666.55 m2	4	6	50.00%
4	Armadura Vigas Zona 1	750.90kg	10	11	14.22%
5	Armadura Entrepiso Zona 1	1721.92 kg	10	8	-19.96%
6	Formaleta Zona 1	105.45 m2	4	4	0.00%
7	Colado Zona 1	132 m3	6	6	0.00%
8	Montaje Vigas Zona 2	214.137 ml	8	8	0.00%
9	Montaje Viguetas Zona 2	432.28 ml	8	11	33.42%
10	Bloques de entrepiso Zona 2	482.7 m2	4	5	16.93%
11	Armadura Vigas Zona 2	600.725 kg	12	12	0.00%
12	Armadura Entrepiso Zona 2	1377.53 kg	12	9	-25.02%
13	Formaleta Zona 2	75.76 m2	4	2	-50.00%
14	Colado Zona 2	112 m3	6	6	0.00%

La actividad que mayor aumento en la cantidad de trabajadores tendría al utilizar la herramienta de estudio, sería en la programación de este nivel de entrepiso la de bloques de entrepiso de zona 1 con un 50% de porcentaje de diferencia, mientras que la actividad que presentaría una mayor disminución con esta nueva programación sería la de formaleta

de zona 2, con un 50% de menor cantidad de recurso de mano de obra necesaria para ser completada.

Finalmente, para el caso de este entrepiso se muestra en el siguiente cuadro la comparativa de los tiempos muertos obtenidos mediante cada alternativa de planificación.

**Cuadro 60. Comparativa de tiempos muertos para Entrepiso +3.0 m Edificio B.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto sin Takt-Time (días)</b>	<b>Tiempo Muerto Takt-Time (días)</b>	<b>% Diferencia</b>
Colado	1	1	0.00%
Formaleta	1	1	0.00%
Armadura Entrepiso	1	0	-100.00%
Bloques Entrepiso	4	0	-100.00%
Colocación Viguetas	1	0	-100.00%
Armadura Vigas	0	0	N/A
Colocación Vigas	1	0	-100.00%
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>-77.78%</b>

Se hace notar como la mejora en cuanto a la disminución de los tiempos por parte del *Takt-Time* es bastante elevada, con un porcentaje de mejora de 77.78 % para el caso de estudio del Entrepiso +3.0 m del Edificio B.

Los tiempos muertos para la planificación mediante *Takt-Time* alcanzarían el valor de 0 para todas las cuadrillas excepto para la de colado y formaleta, que verían ociosas su cuadrilla solamente un día. Esto crea un flujo de trabajo continuo que disminuye la variabilidad del trabajo y posibles costos asociados a los imprevistos que son los generadores de estos tiempos muertos. Esto anterior también se ve reflejada mediante la comparación de tiempos muertos en términos de horas hombre para esta zona de trabajo en el cuadro que se muestra a continuación.

**Cuadro 61. Comparativa de tiempos muertos en H.H para Entrepiso +3.0 m Edificio B.**

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Muerto sin Takt-Time (H.H)</b>	<b>Tiempo Muerto Takt-Time (H.H)</b>	<b>% Diferencia</b>
Colado	60	60	0.00%
Formaleta	40	20	-50.00%
Armadura Entrepiso	120	0	-100.00%
Bloques Entrepiso	160	0	-100.00%
Colocación Viguetas	80	0	-100.00%
Armadura Vigas	0	0	N/A
Colocación Vigas	80	0	-100.00%
<b>Total</b>	<b>540</b>	<b>80</b>	<b>-85.19%</b>

En este cuadro se observa aún una disminución de tiempos mayor, a lo obtenido mediante la comparación en días, esto debido a que las cuadrillas ociosas para el caso del *Takt-Time* disminuyeron su tamaño, debido a aumentar su tiempo de duración con el fin de iniciar antes y tener un flujo continuo de trabajo.

### **3.3.2. Análisis de la comparación entre Takt-Time y Sistema del Último Planificador**

En primer lugar, es importante retomar el resultado obtenido con el ejercicio de cálculo de horas hombre en la sección 3.1.3 de este documento, donde se observa que para completar las zonas de trabajo y de mantenerse el rendimiento constante se utilizaría la misma cantidad de horas de trabajo ya sea con la utilización del Sistema del Último Planificador o con la incorporación del *Takt-Time* en dicha planificación. Esto demostrando que la utilización del Sistema del Último Planificador en solitario o con el uso del *Takt-Time* brindarían resultados de cantidad de trabajadores necesarios similares para ambos casos.

Por tanto, la programación mediante *Takt-Time* busca una mejora de la eficiencia de los recursos de mano de obra, no mediante la disminución de la cantidad de trabajadores; sino a través de un mejor balance de las cargas de trabajo al planificar las actividades en base a un tiempo o pulso que deberían seguir para completar un hito establecido.

En la misma línea argumentativa, la herramienta buscaría un mayor cumplimiento de los principios *LEAN*, ya que además de balancear las cargas, pretendería que las cuadrillas siempre estuvieran ocupadas, que la producción se realizara justo lo que se necesita (ni más ni menos) y una mejor interrelación en el trabajo entre cuadrillas.

Haciendo esta herramienta hincapié principalmente en la reducción de los tiempos muertos, lo que a su vez reduce la entrada y salida de personal de la obra, hecho que se puede observar mediante el Cuadro 62, donde se comparan los obtenidos para la herramienta del *Takt-Time*, en contraste con los presentados con la no utilización de la herramienta.

**Cuadro 62. Resumen de comparación de mejora en tiempos muertos al utilizar Takt-Time**

<b>Caso</b>	<b>Tiempos Muertos sin Takt-Time (días)</b>	<b>Tiempos Muertos Takt-Time (días)</b>	<b>% Diferencia</b>
Zona 2 y 3	9	0	-100.00%
Zona 3 y 4	8	2	-75.00%
Zona 4 y 5	8	3	-62.50%
Zona 5 y 6	30	20	-33.33%
Entrepiso +3.0 m	9	2	-77.78%
<b>Total</b>	<b>64</b>	<b>27</b>	<b>-57.81%</b>

En total se obtuvo una mejora de 57.81%, al reducirse los tiempos muertos de 64 días a 27 en el proyecto de estudio en los casos anteriormente descritos, pudiendo constarse la capacidad de la herramienta en la disminución de los tiempos en los que las cuadrillas se encuentran ociosas.

Este análisis también se presenta en términos de horas hombre, ya que constituye una mejor medida de comparación de la reducción de los tiempos muertos, debido a que luego es más sencillo de determinar luego un costo asociado a estos tiempos muertos. Esto se presenta en el siguiente Cuadro.

**Cuadro 63. Resumen de comparación de mejora en tiempos muertos al utilizar Takt-Time**

<b>Caso</b>	<b>Tiempos Muertos sin Takt-Time (H.H)</b>	<b>Tiempos Muertos Takt-Time (H.H)</b>	<b>% Diferencia</b>
Zona 2 y 3	140	0	-100.00%
Zona 3 y 4	480	120	-75.00%
Zona 4 y 5	670	160	-76.12%
Zona 5 y 6	2340	1150	-50.85%
Entrepiso +3.0 m	540	80	-85.19%
<b>Total</b>	<b>4170</b>	<b>1510</b>	<b>-63.79%</b>

En términos de horas hombre se observa una mejora aún mayor que la realizada en la comparación mediante días muertos, de 63.79% esto debido a que el *Takt-Time* optimiza los recursos de mano de obra al disminuir la cantidad de personal de las actividades que mayores tiempos muertos presentan, ya que busca que inicien antes aumentando su duración.

Esta mejora conlleva también una mejora del flujo de trabajo, ya que permite una continuidad de las labores, así como una disminución de los imprevistos que generan atrasos y pérdidas económicas en los proyectos de construcción.

De manera análoga, para comprender en cuáles actividades la aplicación del *Takt-Time* disminuye el tamaño de cuadrillas necesarias, se muestra el Cuadro 64, donde se presenta para cada caso de estudio de esta investigación, la actividad con mayor disminución en la cantidad de trabajadores , con su respectivo porcentaje de diferencia.

**Cuadro 64. Actividades con mayor porcentaje de disminución de tamaño de cuadrilals , aplicando Takt-Time**

Caso	Actividad	% Diferencia
Zona 2 y 3	Colado de Muros Zona 2	-40.00%
Zona 3 y 4	Formaleta Zona 4	-50.00%
Zona 4 y 5	Colocación Plástico Zona 5	-50.00%
Zona 5 y 6	Colocación Plástico Zona 5	-50.00%
Entrepiso +3.0 m	Formaleta Zona 2 Entrepiso	-50.00%

Mediante el cuadro anterior se puede apreciar que las actividades que más se repiten en cuanto a disminución de tamaños de cuadrillas, son las actividades referentes a formaleta de losa de fundación y entrepiso y la colocación de plástico (en específico la de zona 5 para dos casos de aplicación), estas con un porcentaje de mejora de 50%, así mismo en el primer caso se observa que la actividad de mayor mejora sería la de colado de muros de zona 2.

Estas actividades por lo general podrían presentar mayor porcentaje de aumento de disminución de cantidad de trabajadores debido a que son labores de corta duración, que para adaptarse al ritmo de *Takt-Time* tardarían más y por ende presentarían una disminución del recurso de mano de obra necesario.

En cuanto a las actividades con mayor aumento en la cantidad de recursos de mano de obra con la aplicación de la herramienta de estudio, estas se presentan en el Cuadro 65.

**Cuadro 65 Actividades con mayor porcentaje de aumento de tamaño de cuadrillas, aplicando Takt-Time**

Caso	Actividad	% Diferencia
Zona 2 y 3	Armadura Muros Retención Zona 2	50.00%
Zona 3 y 4	Armadura Muros y Losa Zona 4	66.67%
Zona 4 y 5	Armadura Muros y Losa Zona 5	75.00%
Zona 5 y 6	Armadura Muros y Losa Zona 5	75.00%
Entrepiso +3.0 m	Bloques de Entrepiso Zona 1	50.00%

Se puede apreciar que las actividades de armadura son las que se repiten más veces con porcentajes de diferencia de 50 % a 75% de aumento en la cantidad de trabajadores

empleados por actividad, asimismo en el caso del entrepiso +3.0 m del Edificio B se tendría un porcentaje de aumento de 50% en cuanto a recurso de mano de obra empleado.

Estas actividades presentarían un mayor porcentaje de aumento en el tamaño de sus cuadrillas, debido a que por lo general son las actividades de mayor duración de las programaciones, por lo que para adaptarse al *Takt-Time* se tendría que reducir su duración y por ende aumentar el número de trabajadores por actividad.

Finalmente es importante destacar que esta herramienta no es un procedimiento mecánico y que distintos planificadores pueden llegar a diferentes programaciones sin una estar correcta o incorrecta, ya que se puede abordar una semana de trabajo de diferentes maneras según las necesidades del proyecto y experiencia del planificador.

Este trabajo final de graduación presenta una forma de aplicar el *Takt-Time* en un proyecto de construcción, pero no significa que sea la única manera de abordar su uso, por lo que no se debe considerar la metodología empleada en este trabajo como una manera estricta de aplicación de la herramienta. Los datos obtenidos en este trabajo vienen ligados a la forma en la que se aplicó el *Takt-Time* y pueden variar con otras formas de aplicar dicha herramienta de planificación.

## CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- La forma en que se planifica al usar el Sistema del Último Planificador se expone a errores que no son necesariamente propias de la herramienta, ya que se basa en el criterio de un experto que suele equivocarse. Además, esta herramienta no logra predecir condiciones climáticas, malos rendimientos del personal u otros acontecimientos fuera de lo que puede controlar el programador.
- Se crea un mapa conceptual que permite un primer acercamiento a la herramienta del *Takt-Time* aplicado a la industria de la construcción.
- La herramienta *Takt-Time* permite una programación más apegada a la realidad, que toma en cuenta los rendimientos de mano de obra de las diferentes cuadrillas y la correcta distribución de los recursos de mano de obra. Para poder aplicarla, se debería contar con rendimientos ya obtenidos de estudios anteriores adecuados para este fin.
- Las condiciones necesarias para la implantación del *Takt-Time* implican un control importante del recurso de mano de obra de los proyectos, aspecto que en las formas tradicionales de programación de obra no es común.
- La industria de la construcción tiene alta variabilidad en cuanto al tiempo necesario para la producción de sus bienes finales, ya que se pueden presentar gran cantidad de factores externos que entorpezcan las planificaciones, por lo que la aplicación del *Takt-Time* no se ajusta de una manera adecuada a la planificación en diversas ocasiones, al este necesitar un cumplimiento de todos los principios de la construcción flexible, sin la aparición de estos factores externos.
- El *Takt-Time* es el último peldaño de planificación en construcción mediante la metodología de construcción flexible y en razón de esto, requiere en primera instancia la eliminación de los desperdicios de esta metodología antes de la aplicación del *Takt-Time*. Esto implica un suministro de materiales y mano de obra, con una mejor distribución de las cargas de trabajo y disminución de los tiempos muertos.

- La herramienta de estudio no prescinde de la utilización del Sistema del Último Planificador, sino que busca hacer uso de este y mejorar las planificaciones que se realizan con esta segunda herramienta.
- El *Takt-Time* no constituye un procedimiento mecánico de planificación, por lo que, como el Sistema del Último Planificador, depende de la experiencia de los planificadores que lo utilizan y la capacidad de implementar las herramientas provenientes de la construcción flexible. Es decir, usar la misma herramienta no implica que dos planificadores llegarán al mismo resultado de planificación y no necesariamente una u otra programación será mejor que la otra.
- Usar el Sistema del Último Planificador o el *Takt-Time* es indiferente en cuanto a cantidad de horas hombre necesarias para completar un plan de trabajo, ya que la segunda representa solamente una redistribución de las mismas horas de trabajo de la primera herramienta.
- La utilización de la herramienta de estudio puede encontrar barreras administrativas, ya que es complicado lograr aumentar y reducir el tamaño de las cuadrillas en lapsos cortos de tiempo, como esta lo plantea.
- En cuanto a la disminución de tiempos muertos, se observó una disminución general de 63.79% de los tiempos muertos (en horas hombre) con la aplicación del *Takt-Time*, observándose hasta una mejora del 100% en uno de los casos de estudio.
- Las actividades de formaleta y colocación de plástico son las actividades que mayor porcentaje de mejora presentan en cuanto a recurso de mano de obra utilizado, con porcentajes de mejora de 50%. Por su lado, las de armadura producen mayores necesidades de trabajadores por actividad al utilizar el *Takt-Time*.
- El *Takt-Time* sí mejora la eficiencia de los recursos de mano de obra en un proyecto de construcción, ya que representa una herramienta con la capacidad de disminuir de una manera sustancial los tiempos muertos en los proyectos, logrando una reducción en la variabilidad de estos y una posible disminución en los costos.
- Se observa al el *Takt-Time* como una forma de distribuir mejor las cargas de trabajo de las diferentes actividades y disminuir los tiempos muertos, lo que podría mejorar el rendimiento de las actividades y la productividad de las cuadrillas, por lo que se abre la posibilidad a otra investigación de verificar esto mediante la aplicación de la planificación mediante esta herramienta en otro proyecto de construcción.

## 4.2. Recomendaciones

- Llevar un control más estricto en los proyectos que permita un mejor control de los recursos de mano de obra y las actividades a las cuales son asignados, ya que estos dependen principalmente de los subcontratistas.
- Inculcar una cultura de mejoramiento continuo y cooperación no solo a lo interno de la empresa, sino también a los subcontratistas que sean parte de los proyectos
- Crear una base de rendimientos que permita la aplicación correcta del *Takt-Time* en los proyectos de construcción por parte de las distintas empresas constructoras en el mercado nacional.
- Si se quiere una mayor estandarización de los procesos constructivos, para de esta manera aplicar de mejor manera las herramientas de la construcción flexible, se debe de buscar tener un mejor suministro de materiales para evitar tiempos muertos debido a este problema, así como se debe buscar trabajar con los mismos subcontratistas en la medida de lo posible, para poder tener una base de rendimientos base para la planificación de proyectos.
- Asimismo, aunado a lo anterior, se recomienda al menos para la empresa de estudio, tener más información de los rendimientos, dado que esta organización no cuenta con una base de datos que permita realizar planificaciones más acertadas.
- Promover la utilización de herramientas informáticas como *TouchPlan*<sup>®</sup>, misma que permite llevar un control más sencillo para el usuario de las planificaciones realizadas mediante el Sistema del Último Planificador.
- Hacer mayor énfasis en el estudio de las herramientas de planificación útiles derivadas de la metodología *LEAN*, como el Sistema del Último Planificador y las líneas de balance, en los cursos brindados por la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, en razón de que no son abordadas en detalle durante los mismos y constituyen herramientas altamente utilizadas en las empresas constructoras nacionales al planificar sus proyectos.
- Asimismo, se recomienda incentivar la apertura de un curso por parte de la Escuela de Ingeniería Civil sobre la construcción flexible, sus principios y herramientas para los estudiantes que desean especializarse en dicha forma de planificación de proyectos de construcción.

- Utilizar la herramienta del Sistema del Último Planificador como una metodología de planificación y no como un método mecánico de planificar proyectos, ya que para que esta tenga éxito debe buscarse cumplir con la cultura en la que se fundamenta la herramienta.
- Se recomienda la utilización del *Takt-Time*, ya que puede lograr una mejor distribución de las cargas de trabajo, promoviendo un flujo continuo, donde se eviten tiempos muertos.
- Utilizar el *Takt-Time*, al menos de la forma que se aplicó en esta investigación, no como una herramienta destinada para la disminución de los recursos de mano de obra en los proyectos, sino como una forma de mejorar la eficiencia de estos, a la herramienta constituir una forma planificación de proyectos que promueve la mejora de flujos de trabajo, una disminución de los tiempos muertos y el balance de las cargas de trabajo.
- Realizar un estudio o investigación que ponga en marcha el *Takt-Time* en sitio, en un proyecto de construcción, para validar los resultados obtenidos en este Trabajo Final de Graduación.

## 5. Fuentes de Consulta

- Abdelhamid, T. (2007). *Lean Construction Principles*. Michigan, Estados Unidos: Michigan State.
- Aguilar, C. (2010). *Balance de Cargas de Trabajo Mediante el Principio del Takt Time*. Guatemala: Universidad de San Carlos.
- Alarcón, L. (2017). *Camino a la Excelencia en la Gestión de Proyectos*. Chile: Universidad Pontificia Católica de Chile.
- Arias, D. (2015). *Estudio de la aplicación del sistema el último planificador a la construcción de un edificio vertical*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Arivoli, A., & Ravichandran, V. (2015). *Reduction of manufacturing Cycle Time using Line Balancing*. Combaitore, India: PSG College of Technology.
- Ballard, G. (2014). *Productivity: A Lean Perspective*. Trondheim: Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología.
- Biotto, C., Kagioglu, M., Koskela, L., & Tzortzopoulos, P. (2017). *COMPARING PRODUCTION DESIGN ACTIVITIES AND LOCATION-BASED PLANNING TOOLS*. Huddersfield: University of Huddersfield.
- Brioso, X. (2015). *El análisis de la construcción sin pérdidas (LEAN Construction)*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Cisneros, J. (2009). *Los 7 desperdicios mortales de LEAN y la Teoría de las Restricciones*. Mejora Continua.
- Díaz, D. (2007). *Aplicación del sistema de planificación "Last Planner" a la construcción de un edificio habitacional*. Santiago: Universidad de Chile.
- Ducharme, C., & Ruddick, T. (2004). *Takt-Time Module 8.1*. Recuperado el 10 de Febrero de 2018, de Takt-Time Module 8.1: [https://ocw.mit.edu/courses/engineering-systems-division/esd-60-lean-six-sigma-processes-summer-2004/lecture-notes/8\\_1assembly\\_op.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/engineering-systems-division/esd-60-lean-six-sigma-processes-summer-2004/lecture-notes/8_1assembly_op.pdf)

- Formoso, C. (2017). *Futuro de LEAN en Gestión de Proyectos*. Universidad Pontificia Católica de Chile.
- Frandsen, A., & Tommelein, I. (2014). *Development of a Takt-Time Plan*. California: University of California.
- Frandsen, A., Berghede, K., & Tommelein, I. (2014). "Takt-Time Planning and The Last Planner". Oslo.
- García, J. (11 de Octubre de 2013). *Takt Time. Tiempo de Ciclo*. Recuperado el 5 de Febrero de 2018, de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=QOBsOGgN0xU>
- Ghosh, S. (2017). *roduction Planning Using Location Based Management and 'Takt' Time: A Postmortem and Premortem*. Oklahoma: University of Oklahoma.
- Gómez, A., Quintana, N., & Ávila, J. (2014). *Simulación de eventos discretos y líneas de balance, aplicadas al mejoramiento del proceso constructivo de la cimentación de un edificio*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Gutierrez, A. (2011). *Los 11 principios brevemente explicados*. Construcción Lean.
- Hashem, M. (2015). *Lean Construction Principles Past and Present – A Business Model Consistency*. Colorado: Colorado State University.
- Hernández, J. C., & Vizán, A. (2013). *Lean Manufacturing: Conceptos y técnicas*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2018). *Índice de Precios de la Construcción*. San José: INEC.
- Jimenez, J. (2007). *Diagnostico de la efectividad de la planificación de obras civiles*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Kenley, R., & Seppanen, O. (2009). *Location-Based Management for Construction Plannig Schedule*. Australia: Swinburne University.
- Koskela, L. (2000). *Aplication if new philosophy to construction*. Stanford: Stanford University.

- Layeequddin, K., & Khatoon, S. (2017). *Application of Value Stream Mapping on Infrastructure Project*. Hyderabad, India: International Journal of Engineering Trends and Technology.
- LCI. (2014). *Target Value Design*. Estados Unidos: Lean Construction Institute.
- Liker, J. (2006). *The Toyota Way*. New York: McGrae- Hill.
- Linnik, M. (2014). *Lean and Takt Time Planning at Hospital Project in San Francisco*. San Francisco: Herrero Bolt.
- Lopez, M., Martinez, G., Quiros, A., & Sosa, J. (2011). *Balanceo de líneas de balance, usando herramientas de manufactura esbelta*. Mexico: Revista El Buzón de Pacioli.
- Orihuela, P. (2011). *Sistema de gestión integrado de proyectos*. Santiago: Universidad Pontificia Catolica de Chile.
- Padoano, E., & Vilmer, F. (2015). *Production Engineering and Managment*. Trieste, Italia: Universita da Trieste.
- Peréz, I. (2017). *Qué es el IPD - Integrated Project Delivery*. España: Zigurat.
- Pons, J. (2014). *Introducción a Lean Construction*. Madrid: Fundación Laboral de la Construcción.
- Pons, J. (19 de Noviembre de 2017). *Takt-Time Plannig en Construcción*. Recuperado el 30 de Enero de 2018, de LinkedIn: <https://es.linkedin.com/pulse/takt-time-planning-en-construccion-juan-felipe-pons-achell>
- Porras, H., Sanchez, O., & Galvis, J. (2014). *Filosofía LEAN Construction para la gestión de proyectos de construcción*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Quiles, A. (2014). *MEJORA DE UN PROCESO PRODUCTIVO DEL SECTOR AERONÁUTICO MEDIANTE EL USO DE LA FILOSOFÍA LEAN*. Sevilla: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS.

- Rajenthirakumar, D. (2011). *Process Cycle Efficiency Improvement Through Lean: A Case Study*. India : Lean Thinking.
- Reed, D. (2017). *Evolución de Lean desde la manufactura*. Estados Unidos: DPR.
- Sacks, R. (2017). *Evolución de Lean desde la manufactura hacia la gestión de proyectos*. Israel: Technion.
- Seppanen, O., Ballard, G., & Pesonen, S. (2010). *The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System*. Australia: Lean Construction Journal.
- Tommelien, I. (2017). *¿What is Lean?* California: Universidad de Berkley.
- Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean thinking*. Estados Unidos: TESCO.
- Yassine, T., Saleh, M., Fayek, F., & Hamzeh, F. (2014). *"Implementing Takt-Time Planning in Construction to Improve Work Flow"*. Beirut.
- Zander, D. (2011). *Análisis de la aplicación de Construcción Flexible a las diferentes fases del proyecto*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Zimmer, L. (2000). *Get Lean to Boost Profits*. Columbus, Ohio: Manufacturing Engineering.

## 6. Anexos

### 6.1. Programación Estratégica

**Cuadro 66. Programación Estratégica del proyecto de estudio**

**Programación estratégica**  
**Código: R-CO-3.3.1**

Aug-18

Hitos de Proyecto Actividad	Fecha	
	Programa	Real
A9010-10 Trazo	7/6/2018	
G1070-20 Movimiento de Tierras	7/20/2018	
G3010-30 Tanque de Incendio	8/20/2018	
G3010-10 Tanque bombeo agua pluvial	8/21/2018	
G3020-40 Planta de tratamiento	10/1/2018	
A4020-00 Losa de Fundación	10/3/2018	
A2010-10 Muros de Retención del sótano	10/19/2018	
C2030-10 Tratamiento de pisos	10/19/2018	
G3010-10 Tanque de agua potable	11/14/2018	
G2010-10 Mejoras media vía	11/19/2018	
B1010-10 Muros, columnas y vigas entrepiso	12/5/2018	
B1010-20 Losa de entrepiso	12/11/2018	
B1020-20 Losa de azotea	12/28/2018	
B1080-10 Obra gris escaleras	1/8/2019	
B1020-10 Muros, columnas y vigas azotea	1/10/2019	
G3030-10 Tanque agua pluvial	1/10/2019	
B2080-50 Muertes de balcones y barandas	1/17/2019	
C2030-20 Enchapes de piso	1/23/2019	
B2010-20 Cerramientos externos livianos	1/30/2019	
G1050-40 Cuarto de basura	1/30/2019	
B2010-10 Repellos, resanes y estructuras metálicas secundarias	1/31/2019	
B2050-10 Puertas exterior	2/5/2019	
B2050-90 Cerrajería de puertas exteriores	2/5/2019	
B2020-10 Ventanería	2/11/2019	
B3010-10 Cubierta de techo y hojalatería	2/11/2019	
D5020-10 Sistema eléctrico	2/14/2019	
D7010-10 Control de acceso	2/14/2019	
E2050-90 Otros acabados de madera	2/14/2019	
F1050-10 Piscina	2/15/2019	
F1060-00 Gimnasio	2/15/2019	
C1010-10 Cerramientos internos livianos	2/20/2019	
G2020-20 Bordillos y canales de estacionamientos	2/20/2019	
C2010-10 Enchapes de pared	2/21/2019	

G2020-40 Topes de parqueos	2/26/2019	
C2010-10 Enchapes de piso	2/27/2019	
C1090-40 Loza Sanitaria	2/27/2019	
G2060-80 Caseta de guarda	2/27/2019	
G2010-10 Demarcación parqueos	2/28/2019	
C1030-10 Puertas interiores	3/1/2019	
C1030-90 Cerrajería de puertas interiores	3/1/2019	
G2030-10 Acera pública	3/6/2019	
G2080-20 Jardinería	3/6/2019	
E2010-30 Mobiliario	3/7/2019	
D1010-10 Elevador	3/13/2019	
D1050-60 Ductos de basura	3/13/2019	
G2060-20 Cerramientos perimetrales	3/19/2019	
C1090-20 Rotulación de emergencia	3/21/2019	
C1070-20 Cielos de gypsum	3/29/2019	
D2060-30 Sistema sanitario	3/29/2019	
D2060-30-Sistema de gas	3/29/2019	
D3050-50 Extracción y A/C	3/29/2019	
C2010-70 Pintura	4/15/2019	
Entrega	4/30/2019	

## 6.2. Planificación Semanal

### 6.2.1. Planificación planteada por semana

**Cuadro 67. Planificación Semanal, semana 03/09/2018**

Task Description	Days	Crew Size	Planned Start	Planned Finish	Actual Finish	Project Role	Week Of Mon Sep 03						
							03	04	05	06	07	08	
Agapanthus	299		2018-07-02	2019-04-26			14	14	16	12	10		
Edificio Principal Apartamentos	54		2018-08-27	2018-10-19			14	14	16	12	10		
Armadura Losa de Fundación 2	2	1	2018-09-03	2018-09-04		642- Bicho							
Armadura Muros de Retención Zona 2	2	1	2018-09-03	2018-09-04		642- Bicho							
Armadura Muros de Fundación Zona 2	3	2	2018-09-03	2018-09-05		642- Bicho							
Armadura Losa de Fundación 3 --30%	2	1	2018-09-06	2018-09-07		642- Bicho							
Formaleta Muros Zona 1	4	1	2018-09-03	2018-09-06		642- Camilo							
Fondo de losa de techo PTAR	2	1	2018-09-03	2018-09-04		642- Camilo							
Formaleta Losa de Fundación 2	2	1	2018-09-04	2018-09-05		642- Camilo							
Formaleta Zona 3	1	1	2018-09-05	2018-09-05		642- Camilo							
Colado Muros de Fundación Zona 1	3	1	2018-09-05	2018-09-07		642- Camilo							
Previstas Muros y Columnas Zona 1	4	1	2018-09-03	2018-09-06		642- Incomel							
Previstas enterradas Zona 3	1	1	2018-09-03	2018-09-03		642- Incomel							
Planta de Tratamiento	3	1	2018-09-03	2018-09-05		642- Incomel							

Muros de Retención Zona 2	3	1	2018-09-05	2018-09-07		642- Incomel									
Colocación Plástico Zona 3	3	1	2018-09-03	2018-09-05		642- José Ca...									
Relleno PTAR	3	1	2018-09-05	2018-09-07		642- José Ca...									
Colado Losa de Fundación 2	2	1	2018-09-05	2018-09-06		642- José Ca...									
Relleno Tanque de Incendio	2	1	2018-09-06	2018-09-07		642- José Ca...									
Relleno Zona 4	4	1	2018-09-07	2018-09-12		642- José Ca...									

**Cuadro 68. Planificación Semanal, Semana 10-09-2018**

Task Description	Days	Crew Size	Planned Start	Planned Finish	Actual Finish	Project Role	Week Of Mon Sep 10								
							10	11	12	13	14	15	16		
Agapanthus	299		2018-07-02	2019-04-26											
Edificio Principal Apartamentos	5		2018-09-10	2018-09-14											
Armadura Losa de Fundación 3	2	1	2018-09-10	2018-09-11		642- Bicho									
Armadura Muros de Fundación Zona 2	2	2	2018-09-10	2018-09-11		642- Bicho									
Armadura Muros de Retención Zona 3	2	1	2018-09-11	2018-09-12		642- Bicho									
Armadura Losa de techo planta de tratamiento	2	2	2018-09-13	2018-09-14		642- Bicho									
Armadura Losa de Fundación 4 ~20%	1	2	2018-09-14	2018-09-14		642- Bicho									
Formaleta Muros Zona 2	3	1	2018-09-10	2018-09-12		642- Camilo									
Colado Muros Zona 2	1	1	2018-09-10	2018-09-10		642- Camilo									
Fondo de losa PTAR	3	1	2018-09-11	2018-09-13		642- Camilo									
Formaleta Losa de Fundación 3	2	1	2018-09-11	2018-09-12		642- Camilo									
Fondo de losa Incendio	3	1	2018-09-12	2018-09-14		642- Camilo									
Apuntalamiento y andamios de carga	3	1	2018-09-12	2018-09-14		642- Camilo									
Colado Muros Zona 2	1	1	2018-09-12	2018-09-12		642- Camilo									





**Cuadro 70. Planificación Semanal, Semana 24/09/2018**

Task Description	Project Role	Week Of Mon Sep 24				
		24	25	26	27	28
Agapanthus		21	26	35	44	40
Edificio Principal Apartamentos		21	26	35	44	40
Armadura Vigas Z1-Z2 50%	642- Bicho					
Armadura Losa de Fundación Zona 5	642- Bicho					
Armadura Muros de Fundación Zona 5	642- Bicho					
Armadura Muros de Retención Zona 5	642- Bicho					
Formaleta Losa de Fundación 4	642- Camilo					
Colocación de vigas Zona 2	642- Camilo					
Andamios de carga Zona 3	642- Camilo					
Formaleta Muros Zona 4	642- Camilo					
Colado Muros Zona 4	642- Camilo					
Montaje de viguetas	642- Camilo					
Formaleta Losa de Fundación 5 30%	642- Camilo					
Montaje de entrepiso	642- Camilo					
Previstas muros zona 4	642- Incomel					
Previstas enterradas Zona 6	642- Incomel					
Muros de Retención Zona 4	642- Incomel					
Previstas muros zona 5	642- Incomel					
Colocación Plástico Zona 5	642- José Castro					
Colado Losa de Fundación 4	642- José Castro					
Relleno Zona 6 50 %	642- José Castro					

**Cuadro 71. Planificación Semanal, Semana 01/10/2018**

Task Description	Project Role	Week Of Mon Oct 01				
		01	02	03	04	05
Agapanthus		20	28	31	32	21
Edificio Principal Apartamentos		20	28	31	32	21
Losa de fundación y muros Zona 5	642- Bicho					
Armadura Vigas Z1-Z2	642- Bicho					
Armadura Entrepiso Zona 1/40 %	642- Bicho					
Montaje de Vigas Zona 2	642- Camilo					
Andamios de carga Zona 3	642- Camilo					
Formaleta Losa de Fundación 5 70% restante	642- Camilo					
Bloques Entrepiso Zona 1	642- Camilo					
Formaleta Muros Zona 5	642- Camilo					
Colado Muros Zona 5	642- Camilo					
Montaje de Vigas Zona 3	642- Camilo					
Previstas muros zona 5	642- Incomel					
Previstas enterradas Zona 6	642- Incomel					
Previstas acometida eléctrica	642- Incomel					
Muros de Retención Zona 5	642- Incomel					
Piscina	642- Incomel					
Relleno Zona 6 restante	642- José Castro					
Colado Losa de Fundación 5	642- José Castro					
Colocación Plástico Zona 6	642- José Castro					

**Cuadro 72. Planificación Semanal, Semana 08-10-2018**

Task Description	Project Role	Week Of Mon Oct 08				
		08	09	10	11	12
Agapanthus		27	40	40	17	15
Edificio Principal Apartamentos		27	40	40	17	15
Armadura Entrepiso B-F/12-7	642- Bicho					
Armadura Losa Piscina	642- Bicho					
Armadura Vigas X-F/12-6	642- Bicho					
Armadura Muros y Losa Zona 6/70%	642- Bicho					
Armadura Entrepiso 16-12/ A-D /40%	642- Bicho					
Montaje de vigas Ejes D-J / 16-12	642- Camilo					
Bloques Entrepiso 16-12/ A-D	642- Camilo					
Montaje de viguetas 23-42	642- Camilo					
Andamios de carga Zona 4	642- Camilo					
Piscina	642- Incomel					
Previstas enterradas Zona 6	642- Incomel					
Previstas entrepiso Zona 1 y 2	642- Incomel					
Resane Muros de Retención	642- José Castro					
Relleno Zona 6	642- José Castro					
Cajas de registro	642- José Castro					
Colocación Plástico Zona 6	642- José Castro					

**Cuadro 73. Planificación Semanal, Semana 15/10/2018**

Task Description	Project Role	Week Of Mon Oct 15				
		15	16	17	18	19
Agapanthus		19	25	29	38	36
Edificio Principal Apartamentos		19	25	29	38	36
Armadura Muros Fundación y Losa Zona 6	642- Bicho					
Armadura Vigas A-D 12-16	642- Bicho					
Armadura Entrepiso X-E/16-7	642- Bicho					
Armadura Vigas D-J/ 12-16	642- Bicho					
Armadura Muros Retención Zona 6/50%	642- Bicho					
Montaje de Vigas Edificio B	642- Camilo					
Formaleta Losa de Fundación 6	642- Camilo					
Fondo de losa y nodos Ejes J-D/10-16	642- Camilo					
Montaje de Viguetas Zona 4	642- Camilo					
Bloques Entrepiso	642- Camilo					
Andamios de Carga Zona 5	642- Camilo					
Formaleta Muros Fundación Zona 6	642- Camilo					
Previstas entrepiso Ejes X-E /12-16	642- Incomel					
Muros de Retención	642- Incomel					
Previstas muros Zona 6	642- Incomel					
Previstas entrepiso Ejes E-K /12-16	642- Incomel					
Tubo con Cuartilla 10-B	642- José Castro					
Trazado livianos	642- José Castro					
Colado Losa de Fundación Zona 6	642- José Castro					
Puntos para formaleta muros	642- José Castro					
Trazado Muros Zona 6	642- José Castro					

**Cuadro 74. Planificación Semanal, Semana 22/10/2018**

Task Description	Project Role	Week Of Mon Oct 22				
		22	23	24	25	26
Agapanthus		20	28	39	31	24
Edificio Principal Apartamentos		20	28	39	31	24
Armadura Vigas D-J/ 12-16	642- Bicho					
Armadura Muros Retención Zona 6/50%	642- Bicho					
Armadura Vigas D-G/ 12-6	642- Bicho					
Armadura Entrepiso D-J/ 12-6	642- Bicho					
Colado Muros Fundación Zona 6	642- Camilo					
Corte chorrea entrepiso/ Ejes D-X/6-16	642- Camilo					
Colocación de Vigas	642- Camilo					
Formaleta Muros Retención Zona 6	642- Camilo					
Fondo de losa y nodos Ejes J-D/10-6	642- Camilo					
Colocación de Viguetas 63-70	642- Camilo					
Colado Muros Retención Zona 6	642- Camilo					
Andamios de Carga Zona 5	642- Camilo					
Bloques Entrepiso 62-70	642- Camilo					
Formaleta Muros Piso 1 Ejes X-D 12-6	642- Camilo					
Colado Muros Piso 1 Ejes X-D 12-6	642- Camilo					
Corte chorrea entrepiso/ Ejes D-J/6-16	642- Camilo					
Previstas entrepiso restante Edificio B	642- Incomel					
Muros de Retención	642- Incomel					
Resane Muros de Retención	642- José Castro					
Tubo con Cuartilla B-B	642- José Castro					
Colado Losa de Entrepiso EB Ejes C-X/ 16-6	642- José Castro					
Puntos para formaleta muros	642- José Castro					
Trazado Muros Entrepiso Nivel 1	642- José Castro					

**Cuadro 75. Planificación Semanal, Semana 29/09/2018**

Task Description	Project Role	Week Of Mon Oct 29				
		29	30	31	01	02
Agapanthus		26	22	19	14	15
Edificio Principal Apartamentos		26	22	19	14	15
Armadura Vigas J-N/ 12-6	642- Bicho					
Armadura Entrepiso J-N/ 12-6	642- Bicho					
Armadura Columnas Sobre +3.0m D-J/ 12-6	642- Bicho					
Armadura Vigas D-J/ 1-6	642- Bicho					
Armadura Entrepiso E-J/ 1-6	642- Bicho					
Andamios de Carga Zona 6	642- Camilo					
Fondo de losa y nodos Ejes N-D/10-5	642- Camilo					
Formaleta Muros Sobre +3.0 m Edificio B	642- Camilo					
Colado Muros Sobre + 3.0 m Edificio B	642- Camilo					
Colocación de Vigas +3.0 m Edificio A	642- Camilo					
Montaje de Viguetas +3.0 m	642- Camilo					
Bloques Entrepiso	642- Camilo					
Previstas Entrepiso 12-6 D-J	642- Incomel					
Previstas Muros 12-6 D-J	642- Incomel					
Tubo con Cuartilla hasta eje Y	642- José Castro					
Colado Entrepiso Sótano Edificio B Ejes C-J/6-12	642- José Castro					
Puntos para formaleta muros	642- José Castro					
Trazado Muros Entrepiso Nivel 1 Ejes 6-16 D-J	642- José Castro					

## 6.2.2. Planificación realizada en campo por semana

**Cuadro 76. Planificación realizada en campo, Semana 03/09/2018**

Task Description	Days	Crew Size	Planned Start	Planned Finish	Actual Finish	Project Role	Week Of Mon Sep 03							
							03	04	05	06	07	08		
Agapanthus ↕	299		2018-07-02	2019-04-26										
Edificio Principal Apartamentos ↕	5		2018-09-03	2018-09-07										
Armadura Losa de Fundación 2	2	14	2018-09-03	2018-09-04	2018-09-04	642- Bicho								
Armadura Muros de Fundación Zona 2	2	14	2018-09-03	2018-09-04	2018-09-04	642- Bicho								
Armadura Muros de Retención Zona 2	3	14	2018-09-03	2018-09-05	2018-09-05	642- Bicho								
Armadura Losa de Fundación 3 -30%	2	14	2018-09-06	2018-09-07	2018-09-07	642- Bicho								
Formaleta Muros Zona 1	4	8	2018-09-03	2018-09-06	2018-09-06	642- Camilo								
Formaleta Losa de Fundación 2	2	4	2018-09-04	2018-09-05	2018-09-05	642- Camilo								
Colado Muros de Fundación Zona 1	3	8	2018-09-04	2018-09-06	2018-09-06	642- Camilo								
Formaleta Zona 3	1	1	2018-09-05	2018-09-05	2018-09-05	642- Camilo								
Fondo de losa de techo PTAR /// no se realiza dicha semana	2	1	2018-09-06	2018-09-07	2018-09-07	642- Camilo								
Previstas Muros y Columnas Zona 1	4	1	2018-09-03	2018-09-06	2018-09-06	642- Incomel								
Previstas enterradas Zona 3	3	1	2018-09-03	2018-09-05	2018-09-05	642- Incomel								
Planta de Tratamiento	3	1	2018-09-03	2018-09-05	2018-09-05	642- Incomel								
Muros de Retención Zona 2	3	1	2018-09-05	2018-09-07	2018-09-07	642- Incomel								
Colocación Plástico Zona 3	2	8	2018-09-05	2018-09-06	2018-09-06	642- José Ca...								
Relleno PTAR	3	4	2018-09-05	2018-09-07	2018-09-06	642- José Ca...								
Colado Losa de Fundación 2	2	6	2018-09-05	2018-09-06	2018-09-06	642- José Ca...								
Relleno Tanque de Incendio	2	4	2018-09-06	2018-09-07	2018-09-07	642- José Ca...								
Relleno Zona 4	1	7	2018-09-07	2018-09-07	2018-09-07	642- José Ca...								

**Cuadro 77. Planificación realizada en campo, Semana 10/09/2018**

Task Description	Days	Crew Size	Planned Start	Planned Finish	Actual Finish	Project Role	Week Of Mon Sep 10							
							10	11	12	13	14			
Agapanthus	299		2018-07-02	2019-04-26										
Edificio Principal Apartamentos	5		2018-09-10	2018-09-14										
Armadura Losa de Fundación 3	2	1	2018-09-10	2018-09-11	2018-09-11	642- Bicho								
Armadura Muros de Fundación Zona 2	2	2	2018-09-10	2018-09-11	2018-09-11	642- Bicho								
Armadura Muros de Retención Zona 3	2	1	2018-09-11	2018-09-12	2018-09-12	642- Bicho								
Armadura Losa de Fundación 4 –20%	2	2	2018-09-13	2018-09-14	2018-09-14	642- Bicho								
Armadura Losa de techo planta de tratamiento// no se hizo	2	2	2018-09-13	2018-09-14	2018-09-14	642- Bicho								
Formaleta Muros Zona 2	4	1	2018-09-10	2018-09-13	2018-09-13	642- Camilo								
Formaleta Losa de Fundación 3	2	4	2018-09-11	2018-09-12	2018-09-12	642- Camilo								
Colado Muros Zona 2	1	1	2018-09-12	2018-09-12	2018-09-12	642- Camilo								
Colado Muros Zona 2	1	1	2018-09-12	2018-09-12	2018-09-12	642- Camilo								
Fondo de losa PTAR ////	2	1	2018-09-13	2018-09-14	2018-09-14	642- Camilo								
Fondo de losa Incendio	2	1	2018-09-13	2018-09-14	2018-09-14	642- Camilo								
Apuntalamiento y andamios de carga	2	1	2018-09-13	2018-09-14		642- Camilo								
Colado Muros Zona 2	1	1	2018-09-14	2018-09-14		642- Camilo								
Formaleta Muros Zona 3 30%	1	1	2018-09-14	2018-09-14		642- Camilo								
Previstas enterradas Zona 4	3	1	2018-09-10	2018-09-12	2018-09-12	642- Incomel								
Previstas Muros y Columnas Zona 2	4	1	2018-09-11	2018-09-14	2018-09-14	642- Incomel								
Muros de Retención Zona 3	3	1	2018-09-12	2018-09-14	2018-09-14	642- Incomel								
Previstas enterradas Zona 5	2	1	2018-09-13	2018-09-14	2018-09-14	642- Incomel								
Relleno Zona 4	3	1	2018-09-12	2018-09-14	2018-09-14	642- José Ca...								
Colocación Plástico Zona 4	3	1	2018-09-12	2018-09-14	2018-09-14	642- José Ca...								
Colado Losa de Fundación 3	2	6	2018-09-12	2018-09-13	2018-09-13	642- José Ca...								
Relleno Zona 5	2	1	2018-09-13	2018-09-14	2018-09-14	642- José Ca...								

**Cuadro 78. Planificación realizada en campo, Semana 17/09/2018**

Task Description	Days	Crew Size	Planned Start	Planned Finish	Actual Finish	Project Role	Week Of Mon Sep 17							
							17	18	19	20	21	22		
Agapanthus ⇅	299		2018-07-02	2019-04-26										
Edificio Principal Apartamentos ⇅	5		2018-09-17	2018-09-21										
Armadura Losa de Fundación Zona 4 80% restante	3	2	2018-09-17	2018-09-18	2018-09-19	642- Bicho								
Armadura Muros de Fundación Zona 4	3	14	2018-09-17	2018-09-19	2018-09-19	642- Bicho								
Armadura Muros de Retención Zona 4	3	14	2018-09-18	2018-09-20	2018-09-20	642- Bicho								
Armadura Losa de techo PTAR// NO SE HACE	2	1	2018-09-20	2018-09-21	2018-09-21	642- Bicho								
Formaleta Muros Zona 3	4	12	2018-09-17	2018-09-20	2018-09-20	642- Camilo								
Fondo de Losa PTAR	1	1	2018-09-17	2018-09-17	2018-09-17	642- Camilo								
Apuntalamiento y andamios de carga Zona 1 y Zona 2	3	1	2018-09-17	2018-09-19	2018-09-19	642- Camilo								
Colado Muros Zona 3	1	1	2018-09-19	2018-09-19	2018-09-19	642- Camilo								
Formaleta Losa de Fundación 4 // NO SE HACE	1	1	2018-09-20	2018-09-20	2018-09-21	642- Camilo								
Colado Muros Zona 3	1	1	2018-09-21	2018-09-21	2018-09-21	642- Camilo								
Montaje de vigas entrega 1	1	1	2018-09-21	2018-09-21	2018-09-21	642- Camilo								
Previstas enterradas Zona 5	2	1	2018-09-17	2018-09-18	2018-09-18	642- Incomel								
Muros de Retención Zona 4	2	1	2018-09-19	2018-09-20	2018-09-20	642- Incomel								
Limpieza Zona 1 para Andamios	2	1	2018-09-17	2018-09-18	2018-09-18	642- José Ca...								
Relleno Tanques	2	4	2018-09-17	2018-09-18	2018-09-18	642- José Ca...								
Relleno Zona 5	2	1	2018-09-19	2018-09-20	2018-09-21	642- José Ca...								
Colocación de Plástico Zona 5// no se hizo	2	1	2018-09-20	2018-09-21	2018-09-21	642- José Ca...								

**Cuadro 79. Planificación realizada en campo, Semana 24/09/2018**

Task Description	Days	Crew Size	Planned Start	Planned Finish	Actual Finish	Project Role	Week Of Mon Sep 24							
							24	25	26	27	28			
Agapanthus	299		2018-07-02	2019-04-26										
Edificio Principal Apartamentos	5		2018-09-24	2018-09-28										
Armadura Vigas Z1-Z2 50%// no se hace	5	2	2018-09-24	2018-09-28	2018-09-28	642- Bicho								
Armadura Losa de Fundación Zona 5/ 70%	5	2	2018-09-24	2018-09-27	2018-09-28	642- Bicho								
Armadura Muros de Fundación Zona 5/70 %	4	2	2018-09-25	2018-09-27	2018-09-28	642- Bicho								
Armadura Muros de Retención Zona 5/70%	3	2	2018-09-26	2018-09-28	2018-09-28	642- Bicho								
Formaleta Losa de Fundación 4	1	4	2018-09-24	2018-09-24	2018-09-24	642- Camilo								
Montaje de Vigas Zona 2	5	4	2018-09-24	2018-09-28	2018-09-28	642- Camilo								
Andamios de carga Zona 3	3	4	2018-09-25	2018-09-27	2018-09-27	642- Camilo								
Formaleta Muros Zona 4	3	6	2018-09-26	2018-09-28	2018-09-28	642- Camilo								
Colado Muros Zona 4	2	4	2018-09-27	2018-09-28	2018-09-28	642- Camilo								
Montaje de viguetas Zona 1 y 2	2	4	2018-09-27	2018-09-28	2018-09-28	642- Camilo								
Montaje de entrepiso	1	4	2018-09-28	2018-09-28	2018-09-28	642- Camilo								
Previstas muros zona 4	2	1	2018-09-24	2018-09-25	2018-09-25	642- Incomel								
Muros de Retención Zona 4	2	1	2018-09-26	2018-09-27	2018-09-27	642- Incomel								
Previstas enterradas Zona 6	2	1	2018-09-27	2018-09-28	2018-09-28	642- Incomel								
Previstas muros zona 5	2	1	2018-09-27	2018-09-28	2018-09-28	642- Incomel								
Colocación Plástico Zona 5	2	6	2018-09-24	2018-09-25	2018-09-25	642- José Ca...								
Colado Losa de Fundación 4	2	6	2018-09-24	2018-09-25	2018-09-25	642- José Ca...								
Relleno Zona 6 50 %	4	6	2018-09-25	2018-09-28	2018-09-28	642- José Ca...								

**Cuadro 80. Planificación realizada en campo, Semana 01/10/2018**

Task Description	Project Role	Week Of Mon Oct 01					
		01	02	03	04	05	06
Agapanthus		23	31	31	33	40	
Edificio Principal Apartamentos		23	31	31	33	40	
Losa de fundación y muros Zona 5	642- Bicho						
Armadura Vigas Z1/ no se hace	642- Bicho						
Armadura Entrepiso Ejes B-F/12-7	642- Bicho						
Fondo Losa Piscina	642- Camilo						
Montaje de Viguetas Zona 2	642- Camilo						
Andamios de carga Zona 3	642- Camilo						
Formaleta Losa de Fundación 5 70% restante	642- Camilo						
Bloques Entrepiso Zona 2,4,5,6,3,8,1	642- Camilo						
Formaleta Muros Fundación Zona 5	642- Camilo						
Montaje de viguetas 7-22	642- Camilo						
Colado Muros Fundación Zona 5	642- Camilo						
Montaje de Vigas D-J / 16-12	642- Camilo						
Previstas muros zona 5	642- Incomel						
Previstas acometida eléctrica	642- Incomel						
Muros de Retención Zona 5	642- Incomel						
Piscina	642- Incomel						
Previstas enterradas Zona 6/no se hace	642- Incomel						
Colado Losa de Fundación 5	642- José Castro						
Colocación Plástico Zona 6/ NO SE HACE	642- José Castro						

**Cuadro 81. Planificación realizada en campo, Semana 08/10/2018**

Task Description	Project Role	Week Of Mon Oct 08					
		08	09	10	11	12	13
Agapanthus		31	27	37	37	27	
Edificio Principal Apartamentos		31	27	37	37	27	
Armadura Entrepiso B-F/12-7//// NO SE HACE	642- Bicho						
Armadura Losa Piscina	642- Bicho						
Armadura Vigas X-F/12-6	642- Bicho						
Armadura Entrepiso 16-12/ A-D /40%/// no se hace	642- Bicho						
Armadura Muros de Fundación y Losa Zona 6/70%//// no se hizo	642- Bicho						
Montaje de vigas Ejes D-J / 16-12	642- Camilo						
Bloques Entrepiso 16-12/ A-D	642- Camilo						
Formaleta Muros de Retención 5	642- Camilo						
Colado de Muros	642- Camilo						
Montaje de viguetas 23-42	642- Camilo						
Andamios de carga Zona 4	642- Camilo						
Previstas enterradas Zona 6	642- Incomel						
Previstas entrepiso Zona 1 y 2	642- Incomel						
Piscina	642- Incomel						
Resane Muros de Retención	642- José Castro						
Relleno Zona 6	642- José Castro						
Cajas de registro	642- José Castro						
Colocación Plástico Zona 6	642- José Castro						

**Cuadro 82. Planificación realizada en campo, Semana 15/10/2018**

Task Description	Days	Crew Size	Planned Start	Planned Finish	Actual Finish	Project Role	Week Of Mon Oct 15								
							15	16	17	18	19	20			
Agapanthus	299		2018-07-02	2019-04-26											
Edificio Principal Apartamentos	5		2018-10-15	2018-10-19											
Armadura Muros Fundación y Losa Zona 6	2	2	2018-10-15	2018-10-16	2018-10-15	642- Bicho									
Armadura Vigas A-D 12-16	2	2	2018-10-16	2018-10-17	2018-10-17	642- Bicho									
Armadura Entrepiso X-E/16-7	3	2	2018-10-17	2018-10-19	2018-10-19	642- Bicho									
Armadura Vigas D-J/ 12-16	3	2	2018-10-17	2018-10-19	2018-10-19	642- Bicho									
Armadura Muros Retención Zona 6/50%	1	2	2018-10-19	2018-10-19	2018-10-19	642- Bicho									
Montaje de Vigas Edificio B	2	4	2018-10-15	2018-10-16	2018-10-16	642- Camilo									
Formaleta Losa de Fundación 6	2	1	2018-10-16	2018-10-17	2018-10-17	642- Camilo									
Fondo de losa y nodos Ejes J-D/10-16	4	1	2018-10-16	2018-10-19	2018-10-19	642- Camilo									
Montaje de Viguetas Zona 4	1	4	2018-10-18	2018-10-18	2018-10-18	642- Camilo									
Bloques Entrepiso	2	4	2018-10-18	2018-10-19	2018-10-19	642- Camilo									
Andamios de Carga Zona 5	2	4	2018-10-18	2018-10-19	2018-10-19	642- Camilo									
Formaleta Muros Fundación Zona 6	1	1	2018-10-19	2018-10-19	2018-10-19	642- Camilo									
Previstas entrepiso Ejes X-E /12-16	2	1	2018-10-15	2018-10-16	2018-10-16	642- Incomel									
Muros de Retención	3	1	2018-10-16	2018-10-18	2018-10-18	642- Incomel									
Previstas muros Zona 6	4	1	2018-10-16	2018-10-19	2018-10-19	642- Incomel									
Previstas entrepiso Ejes E-K /12-16	3	1	2018-10-17	2018-10-19	2018-10-19	642- Incomel									
Tubo con Cuartilla 10-B	5	6	2018-10-15	2018-10-19	2018-10-19	642- José Ca...									
Trazado livianos	3	6	2018-10-15	2018-10-17	2018-10-17	642- José Ca...									
Colado Losa de Fundación Zona 6	2	6	2018-10-17	2018-10-18	2018-10-18	642- José Ca...									
Puntos para formaleta muros	2	6	2018-10-18	2018-10-19	2018-10-19	642- José Ca...									
Trazado Muros Zona 6	1	6	2018-10-19	2018-10-19	2018-10-19	642- José Ca...									

**Cuadro 83. Planificación realizada en campo, Semana 22/10/2018**

Task Description	Project Role	Week Of Mon Oct 22					
		22	23	24	25	26	27
Agapanthus							
		20	28	39	31	25	
Edificio Principal Apartamentos							
		20	28	39	31	25	
Armadura Vigas D-J/ 12-16	642- Bicho						
Armadura Muros Retención Zona 6/50%	642- Bicho						
Armadura Vigas D-G/ 12-6	642- Bicho						
Armadura Entrepiso D-G/ 12-6	642- Bicho						
Colado Muros Fundación Zona 6	642- Camilo						
Corte chorrea entrepiso/ Ejes D-X/6-16	642- Camilo						
Colocación de Vigas D-G/12-6	642- Camilo						
Formaleta Muros Retención Zona 6	642- Camilo						
Fondo de losa y nodos Ejes J-D/10-6	642- Camilo						
Colocación de Viguetas 63-70	642- Camilo						
Colado Muros Retención Zona 6	642- Camilo						
Andamios de Carga Zona 5	642- Camilo						
Bloques Entrepiso 62-70	642- Camilo						
Formaleta Muros Sobre +3.0 m Edificio B	642- Camilo						
Colado Muros Piso 1 Ejes X-D 12-6 // NO SE HACEN TODOS	642- Camilo						
Corte chorrea entrepiso/ Ejes D-J/6-16	642- Camilo						
Previstas entrepiso restante Edificio B	642- Incomel						
Muros de Retención	642- Incomel						
Resane Muros de Retención	642- José Castro						
Tubo con Cuartilla B-B	642- José Castro						
Colado Losa de Entrepiso EB Ejes C-X/ 16-6	642- José Castro						
Puntos para formaleta muros	642- José Castro						
Trazado Muros Entrepiso Nivel 1	642- José Castro						

**Cuadro 84. Planificación realizada en campo, Semana 29/10/2018**

Task Description	Project Role	Week Of Mon Oct 29				
		29	30	31	01	02
Agapanthus		26	22	19	14	15
Edificio Principal Apartamentos		26	22	19	14	15
Armadura Vigas J-N/ 12-6	642- Bicho					
Armadura Entrepiso J-N/ 12-6	642- Bicho					
Armadura Columnas Sobre +3.0m D-J/ 12-6	642- Bicho					
Armadura Vigas D-J/ 1-6	642- Bicho					
Armadura Entrepiso E-J/ 1-6	642- Bicho					
Andamios de Carga Zona 6	642- Camilo					
Fondo de losa y nodos Ejes N-D/10-5	642- Camilo					
Formaleta Muros Sobre +3.0 m Edificio B	642- Camilo					
Colado Muros Sobre + 3.0 m Edificio B	642- Camilo					
Colocación de Vigas +3.0 m Edificio A	642- Camilo					
Montaje de Viguetas +3.0 m	642- Camilo					
Bloques Entrepiso	642- Camilo					
Previstas Entrepiso 12-6 D-J	642- Incomel					
Previstas Muros 12-6 D-J	642- Incomel					
Tubo con Cuartilla hasta eje Y	642- José Castro					
Colado Entrepiso Sótano Edificio B Ejes C-J/6-12	642- José Castro					
Puntos para formaleta muros	642- José Castro					
Trazado Muros Entrepiso Nivel 1 Ejes 6-16 D-J	642- José Castro					

### 6.3. Planificación Intermedia

**Cuadro 85. Planificación Intermedia 03/09/2018**

Categoría	Descripción	6 wks ahead						Análisis de restricciones									
		10	11	12	13	14	15	Diseño	Submetales	Materiales	Mano de obra	Equipos	Subcontrato	Certificación BNS	Prefesora	Estado final	
Tanque de incendio	Losas de techo	█						OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Impermeabilizante							OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	NO		RESTRINGIDO
Planta de Tratamiento	Muros y Columnas	█	█					OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		Libre
	Losas de techo		█	█	█			OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Impermeabilizante				█	█		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
Tanque bombeo agua pluvial	Losas de techo	█						OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		Libre
	Impermeabilizante							OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	NO		RESTRINGIDO
Losas de Fundación	Ejes E-X7-13	█						OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		Libre
	Ejes E-X13-16		█					OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Ejes E-W13-16			█				OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Ejes E-W7-13				█	█		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Ejes E-W1-7					█	█	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
Muros de Retención del sótano	Oeste Eje 7-16	█						OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		Libre
	Sur Eje X-M		█					OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Este Eje 16-7			█				OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Oeste Eje 7-1				█	█		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Este Eje 7-1					█	█	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Norte Eje E-N						█	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
Tratamiento de placa	Sótano (Lujado y Rayado)	█	█	█	█	█	█	OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	NO		RESTRINGIDO
Muros, columnas vigas entreplazo	Muros y columnas sótano ejes 7-12X-E	█	█					OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Muros y columnas sótano ejes 12-16X-E		█	█				OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Muros y columnas sótano ejes 12-16E-M				█			OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Muros y columnas sótano ejes 12-7E-M					█	█	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Muros y columnas sótano ejes 4-7E-N						█	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Vigas +3,0m Eje 7-12X-E		█	█				OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Vigas +3,0m Eje 12-16X-E			█	█			OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Vigas +3,0m Eje 12-16E-M					█	█	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
Vigas +3,0m Eje 12-7E-M						█	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO	
Losas de entreplazo	Nivel +3,0 m Ejes E-X7-13					█	█	NO	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
	Nivel +3,0 m Ejes E-X13-16						█	NO	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO		RESTRINGIDO
Otros	Piscina				█	█	█	OK	OK	OK	NO	NO	NO	NO	NO		RESTRINGIDO

**Cuadro 86. Planificación Intermedia 10/09/2018**

Categoría	Descripción	6 wks ahead						Análisis de restricciones								
		10-Sep	11-Sep	12-Sep	13-Oct	14-Oct	15-Oct	Diseño	Submittals	Materiales	Mano de obra	Equipos	Subcontrato	Certificación INS	Predcesora	Estado final
Tanque de Incendio	Losa de techo							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Impermeabilizante							OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	NO	RESTRINGIDO
Planta de Tratamiento	Losa de techo							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Impermeabilizante							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Tanque bombeo agua pluvial	Losa de techo							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Impermeabilizante							OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	NO	RESTRINGIDO
Losa de Fundación	Ejes E-X/13-16							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Ejes E-M/13-16							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Ejes E-M/7-13							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Ejes E-M/1-7							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Muros de Retención del sótano	Sur Eje X-M							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Este Eje 16-7							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Oeste Eje 7-1							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Este Eje 7-1							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Norte Eje E-N							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Tratamiento de pisos	Sótano (Lujado y Rayado)							OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	NO	RESTRINGIDO
Muros, columnas vigas entrepiso Sótano	Muros y columnas sótano ejes 7-12/X-E							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Muros y columnas sótano ejes 12-16/X-E							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Muros y columnas sótano ejes 12-16/E-M							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Muros y columnas sótano ejes 12-7/E-M							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Muros y columnas sótano ejes 4-7/E-N							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Vigas +3,0m Eje 7-12/X-E							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Vigas +3,0m Eje 12-16/X-E							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Muros, columnas vigas entrepiso 1er nivel	Vigas +3,0m Eje 12-16/E-M							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Vigas +3,0m Eje 12-7/E-M							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Vigas +3,0m Eje 4-7/E-N							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Muros y Columnas +3.0m Ejes 7-15/ A-F							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Losa de entrepiso	Nivel +3,0 m Ejes E-X/7-13							NO	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO
Nivel +3,0 m Ejes E-X/13-16								NO	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Nivel +3,0 m Ejes E-M/13-16								NO	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Tanque Agua Potable	Losa de piso							NO	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Muros y columnas Tanque							NO	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Otros	Piscina							OK	OK	OK	NO	NO	NO	NO	NO	RESTRINGIDO

**Cuadro 87. Planificación Intermedia 17/09/2018**

Categoría	Descripción	6 wks ahead						Análisis de restricciones								
		10	11	12	13	14	15	Diseño	Submittals	Materiales	Mano de obra	Equipos	Subcontrato	Certificación INS	Predecesora	Estado final
		17-Sep	24-Sep	1-Oct	8-Oct	15-Oct	22-Oct									
Tanque de Incendio	Losa de techo							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Impermeabilizante							OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	NO	RESTRINGIDO
Planta de Tratamiento	Losa de techo							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Impermeabilizante							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Tanque bombeo agua pluvial	Losa de techo							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Impermeabilizante							OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	NO	RESTRINGIDO
Losa de Fundación	Ejes E-M/7-13							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Ejes E-M/1-7							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Muros de Retención del sótano	Este Eje 16-7							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Oeste Eje 7-1							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Este Eje 7-1							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Norte Eje E-N							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Tratamiento de pisos	Sótano (Lujado y Rayado)							OK	OK	NO	OK	NO	NO	OK	NO	RESTRINGIDO
Muros, columnas vigas entrepiso Sótano	Muros y columnas sótano ejes 12-16/X-E							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Libre
	Muros y columnas sótano ejes 12-16/E-M							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Muros y columnas sótano ejes 12-7/E-M							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Muros y columnas sótano ejes 4-7/E-N							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Muros y columnas sótano ejes 1-4/E-N							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Vigas +3,0m Eje 7-12/X-E							NO	OK	NO	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Vigas +3,0m Eje 12-16/X-E							NO	OK	NO	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Vigas +3,0m Eje 12-16/E-M							NO	OK	NO	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Vigas +3,0m Eje 12-7/E-M							NO	OK	NO	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Vigas +3,0m Eje 4-7/E-N							NO	OK	NO	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Muros, columnas vigas entrepiso 1er nivel	Muros y Columnas +3.0m Ejes 7-15/ A-F							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Muros y Columnas +3.0m Ejes 12-16/F-J							OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Vigas + 6.0m Ejes 7-15/ A-F							NO	OK	NO	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Losa de entrepiso	Nivel +3,0 m Ejes E-X/7-13							NO	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Nivel +3,0 m Ejes E-X/13-16							NO	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Nivel +3,0 m Ejes E-W/13-16							NO	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
	Nivel +3,0 m Ejes E-W/7-13							NO	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	RESTRINGIDO
Otros	Piscina							NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	RESTRINGIDO