



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

“EVALUACIÓN DE UNA NUEVA METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA”

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

YOSHIAKI GABRIEL TSUTSUMI CONCHA

PROFESOR GUÍA:

AUGUSTO HOLMBERG FUENZALIDA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

DAVID SILVA SAAVEDRA

EDGARDO GONZÁLEZ LIZAMA

SANTIAGO DE CHILE

2017

EVALUACIÓN DE UNA NUEVA METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA

La finalidad del presente trabajo es evaluar la aplicabilidad de un nuevo enfoque para estimar los niveles de productividad de la de obra ahondando en tres líneas de acción. La primera es cuestionar el enfoque actual y proponer un marco teórico alternativo, basado en un valor de “productividad óptima” que sea más objetivo que los obtenidos de la comparación con datos históricos o *benchmarking*. A esta línea de acción le llamaremos “cambio en el enfoque actual”. La segunda es investigar sobre las técnicas y tecnologías utilizadas para estimar y medir la productividad de la mano de obra. A esta línea de acción le llamaremos “intervención a través de la medición”. La tercera es ahondar en el uso de la técnica de simulación de eventos discretos en el área de la construcción. A esta línea de acción le llamaremos “contribución de la modelación”. Cada una de las líneas de acción propuestas tienen una forma de aportar en el objetivo de poder evaluar y medir la productividad de la mano de obra.

En relación a la primera línea de acción propuesta, se implementó la metodología de 2-frentes en un proyecto de edificación de viviendas de hormigón armado en extensión para analizar la aplicabilidad en obra de esta innovadora metodología. En relación a la segunda línea de acción propuesta, se realizó una revisión crítica de antecedentes bibliográficos de las distintas técnicas y tecnologías disponibles para la medición de la productividad de la mano de obra, con el fin de revisar el estado del arte en esta materia. Finalmente, en relación a la tercera línea de acción propuesta, con la ayuda de un software especializado en la simulación de eventos discretos, se modeló la secuencia constructiva implementada en obra de alguna operación de un proyecto de edificación, con el objetivo de analizar cuáles son los aportes de esta técnica en el análisis y predicción de los niveles de productividad que se obtendrían en dicha operación.

Se concluyó que la metodología de 2-frentes es un enfoque alternativo con gran potencial en el planteamiento de cómo enfrentar la evaluación de productividad de la mano de obra de una operación de un proyecto de construcción con carácter cíclico. Con la implementación de la metodología en terreno se pudo determinar que el nivel de productividad óptimo para la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso” fue de 29,72 [m²/hombre-día]. También, se concluyó que los sistemas de reconocimiento de actividades (SRA) son más efectivos en el propósito de medir en forma automatizada la productividad de los trabajadores y que la fácil implementación de sistemas tecnológicos aun no es posible, por lo que, para el presente trabajo de memoria, se optó por implementar un sistema manual y más sencillo para las mediciones de datos de terreno. Finalmente, se concluyó que el principal aporte de la técnica de modelación de eventos discretos se encuentra en la etapa de planificación de un proyecto de construcción.

DEDICATORIA

Para toda mi familia y personas que me quieren y estiman.

Para mi abuelita Rosa Guerra y mi tío Guillermo Concha que ya no están con nosotros, pero que sé que estarían muy felices y orgullosos con mis logros.

Para mi ahijado, José Pablo Barros Tsutsumi, que desde que nació que me ha inundado de amor y mucha felicidad, sobre todo en los momentos de estrés y frustración.

Para mis hermanos menores, Yoshiro, Yoshie y Yoshimi, espero haber sido y seguir siendo un buen hermano mayor.

Y, especialmente para mis padres, Mynor Tsutsumi y Cecilia Concha, el esfuerzo de todos estos años ha valido la pena. Sé que siempre estarán orgullosos de mí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al profesor Augusto Holmberg, por haber aceptado y guiado tan bien este trabajo de memoria. Realmente fue un privilegio contar con su apoyo. A los profesores David Silva y Edgardo González por haber aportado en esta memoria con sus acertados comentarios.

Agradezco la colaboración de sr. Alfonso Álvarez y sr. Luis Pérez, administrador de obra y jefe de terreno, respectivamente, de la obra Conjunto Habitacional Buin/Villaseca por haberme permitido realizar las mediciones en el proyecto que tenían a cargo. A los demás integrantes de la jefatura de la obra y trabajadores por haberme recibido y tratado tan bien durante el mes que estuve yendo a la obra y por las pichangas que jugamos después de terminada la jornada.

Agradezco a mis amigos y compañeros beauchefianos, con los que en todos estos años nos esforzamos y apoyamos mutuamente, con los que en más de una ocasión pasamos de largo estudiando y con los que también compartí más allá de la universidad. Cristian Ramos, José Zolezzi, Paulina Génova, Felipe Sánchez, Jaime Vio y todos los demás.

Agradezco también a todos mis familiares, a mis abuelas, tíos y tías, primos y primas, que siempre me han deseado lo mejor y me han hecho saber lo mucho que me quieren y esperan de mí. Agradecer en especial a mi tía Yesika Tsutsumi, por haber hecho todo lo que estuvo a su alcance para facilitarme lo más posible el desarrollo de esta memoria.

Agradezco a Pía Billa, por aguantarme en mis momentos de estrés y frustración, por darme ánimos cuando lo necesite, por haberme ayudado en varias partes de esta memoria colaborando en todo lo que se pudo, y especialmente por quererme tanto.

Agradezco también a mis hermanos, Yoshiro, Yoshie, Yoshimi, porque junto con nuestros padres hemos sido siempre una familia unida y que nos apoyamos el uno al otro por sobre todas las cosas. El apoyo familiar en mi desarrollo académico siempre fue uno de mis principales pilares.

Y finalmente, les agradezco a mis padres, Mynor Tsutsumi y Cecilia Concha, por tantos años de esfuerzo y dedicación en mi crianza y la de mis hermanos, siempre han puesto nuestro bienestar y el deseo de brindarnos la mejor educación posible como sus prioridades. Sin su constante apoyo ninguno de mis logros académicos habrían sido posibles.

Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	<i>Motivación</i>	1
1.2	<i>Objetivos</i>	2
1.2.1	Generales	2
1.2.2	Específicos	2
1.3	<i>Metodología</i>	3
1.3.1	Revisión Bibliográfica	3
1.3.2	Implementación en Obra	3
1.3.3	Análisis de la Información	4
1.4	<i>Resultados Obtenidos</i>	4
1.5	<i>Estructura de la Memoria</i>	4
2	MARCO TEÓRICO	6
2.1	<i>Revisión Bibliográfica: Productividad en la Construcción</i>	6
2.1.1	Productividad Laboral en la Construcción	7
2.2	<i>Marco Económico General</i>	8
2.3	<i>Enfoques para Evaluar y Mejorar la Productividad en Construcción</i>	15
2.3.1	Enfoque Tradicional	15
2.3.2	Enfoque Lean Construction	16
2.3.3	Reingeniería de Procesos	17
2.3.4	Metodología de 2-Frentes	18
2.3.5	Sistemas de Medición	19
2.3.6	Modelación de Procesos Constructivos	20
3	CAMBIO DEL ENFOQUE ACTUAL: METODOLOGÍA DE 2-FRENTES	21
3.1	<i>Marco Conceptual</i>	21
3.2	<i>Metodología de 2-Frentes</i>	23
3.2.1	Enfoque De-Abajo-Hacia-Arriba	24
3.2.1.1	Determinación de la Productividad Actual	26
3.2.1.2	Estimación de las Ineficiencias Operacionales: Simulación de Eventos Discretos (DES)	26
3.2.2	Enfoque De-Arriba-Hacia-Abajo	27
3.2.2.1	Determinación de la Productividad Frontera	28
3.2.2.2	Estimación de las Ineficiencias del Sistema: Modelo Cualitativo de Factores (QFM)	30
3.2.3	Estimación de la Productividad Óptima	31

4	MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD LABORAL EN OBRA	33
4.1	<i>Técnicas de Medición de Productividad de la Mano de Obra.....</i>	33
4.1.1	Sistemas de Reconocimiento de Actividades [SRA].....	34
4.1.1.1	Muestreo del Trabajo.....	35
4.1.1.2	Estudios de Tiempo.....	36
4.1.1.3	Reconocimiento de Patrones de Movimiento.....	37
4.1.2	Sistemas de Localización en Tiempo-Real [SLTR].....	38
4.1.2.1	Punto de Acceso Más Cercano al Terminal.....	39
4.1.2.2	Triangulación.....	39
4.1.2.3	Trilateración.....	40
4.1.2.4	Multilateración (TDOA).....	41
4.1.2.5	Intensidad de Señal.....	42
4.2	<i>Principales Tecnologías Empleadas en la Medición Automatizada de Datos de Terreno... ..</i>	42
4.2.1	Identificación por Radio-Frecuencia (RFID).....	43
4.2.2	Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	45
4.2.3	Banda Ultra-Ancha (UWB).....	46
4.2.4	Sistemas de Video.....	46
4.2.5	Red Inalámbrica LAN (WLAN).....	47
4.2.6	Ultrasonido.....	48
4.2.7	Infrarrojo (IR).....	48
4.2.8	Acelerómetros (SMEM).....	49
4.3	<i>Descripción General del Sistema de Recolección de Datos Aplicado en Terreno.....</i>	50
5	MODELACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS.....	51
5.1	<i>Simulación en Construcción.....</i>	51
5.2	<i>Simulación de Eventos Discretos.....</i>	53
5.3	<i>Software de Simulación de Eventos Discretos: ARENA®.....</i>	56
6	ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD EN OBRA: CONJUNTO HABITACIONAL BUIN / VILLASECA.....	57
6.1	<i>Obra de Construcción: Conjunto Habitacional Buin/Villaseca.....</i>	57
6.2	<i>Ciclo de Montaje de Paneles de Moldaje para el Hormigonado de Casas de Hormigón Armado.....</i>	62
6.3	<i>Sistema de Recolección de Datos.....</i>	69
6.4	<i>Implementación de la Metodología con Enfoque de 2-Frentes.....</i>	72
6.4.1	Estimación de la Productividad Actual.....	72
6.4.2	Estimación de las Ineficiencias Operacionales.....	73
6.4.3	Estimación de la Productividad Frontera.....	78

6.4.4	Estimación de las Ineficiencias del Sistema.....	79
6.4.5	Estimación de la Productividad Óptima.....	81
6.5	<i>Análisis Crítico Condiciones de la Obra.....</i>	82
7	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	85
7.1	<i>Datos Recolectados.....</i>	85
7.2	<i>Análisis de Datos Recolectados.....</i>	86
7.2.1	Duraciones Cronológicas.....	86
7.2.2	Tiempos Efectivos.....	88
7.2.3	Análisis Complementarios.....	91
7.2.3.1	Proporción de Tiempo entre Tipos de Trabajo.....	91
7.2.3.2	Dispersión en los Tiempos.....	92
7.2.3.3	Dotación de Personal.....	93
7.3	<i>Resultados: Metodología de 2-Frentes.....</i>	95
7.3.1	Productividad Actual.....	95
7.3.2	Ineficiencias Operacionales.....	95
7.3.3	Productividad Frontera.....	98
7.3.4	Ineficiencias del Sistema.....	99
7.3.5	Productividad Óptima.....	101
8	CONCLUSIONES.....	103
8.1	<i>Implementación en Obra.....</i>	103
8.2	<i>Resultados.....</i>	106
8.3	<i>Líneas de Acción.....</i>	107
8.3.1	Cambio en el Enfoque Actual.....	107
8.3.2	Intervención a través de la Medición.....	108
8.3.3	Contribución de la Modelación.....	109
8.4	<i>Recomendaciones para Futuras Investigaciones.....</i>	110
9	BIBLIOGRAFÍA.....	111
ANEXO A: Descripción de las Tareas y Acciones que componen la Operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso”.....		
		114
ANEXO B: Detalle Registros de Datos de Terreno.....		
		134
ANEXO C: Detalle Duraciones Cronológicas.....		
		172
ANEXO D: Detalle Tiempos Efectivos.....		
		177
ANEXO E: Detalle Dispersión de Tiempos.....		
		179
ANEXO F: Detalle Encuestas.....		
		186

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación.

Hoy en día, uno de los pilares de la economía chilena es la construcción. En el programa de productividad y construcción sustentable del gobierno, “Construye 2025”, se afirma que “la construcción es un sector relevante de la economía global. En Chile representa el 7,8% del PIB; el 8,4% del empleo; y cuenta con 30.000 empresas (CChC, 2014), que en su mayoría son PYMEs. Asimismo, aporta el 55% de la inversión total del país, de este porcentaje un tercio corresponde a edificaciones de carácter comercial, público y residencial, lo que equivale a una inversión cercana a los US\$ 10.000 millones al año.” (Construye 2025, 2016).

El gran número de empresas ligado al rubro de la construcción genera un elevado nivel de competencia a la hora de licitarse los distintos proyectos. Esto ha llevado a las empresas constructoras a implementar planes de mejora que les permitan ser más eficientes en las distintas licitaciones. En este contexto, se tiene que “la productividad es una de las variables más importantes e influyentes en actividades de producción económica (Tangen, S. 2005)” (Kisi, P. K., Mani, N., et al. 2016). “Altos niveles de productividad permiten a las empresas constructoras aumentar su rentabilidad, mejorar su competitividad y pagar mejores sueldos a sus trabajadores (Rojas, E. M., 2008)” (Kisi, P. K., 2015).

En particular, “la productividad de la mano de obra es un factor primordial en el análisis de la productividad de un proyecto de construcción, ya que la productividad en la construcción depende principalmente del esfuerzo y desempeño humano (Jarkas, A. M., 2012)” (Mani, N., et al 2014). Es por esto que, para las empresas constructoras, determinar de forma precisa la productividad de la mano de obra toma gran relevancia a la hora de planificar sus actividades y evaluar su desempeño.

En este sentido, “las prácticas actuales para la planificación y estimación de las operaciones de construcción se basan en juicios personales, datos publicados de productividad y datos históricos de operaciones similares (Song, L. y AbouRizk, S. M., 2008)” (Kisi, P. K., 2015). Estas prácticas se traducen muchas veces en rendimientos que no se ajustan a los observados en terreno, afectando los plazos comprometidos, y esto, a su vez, se traduce en mayores gastos que las constructoras deben asumir. Kisi, P. K. (2015) asegura que, en un intento de evaluar la eficiencia de las operaciones de construcción, los administradores de obra típicamente comparan la productividad obtenida con datos históricos para operaciones equivalentes. De acuerdo con lo anterior, Kisi, P. K., (2015) afirma que este enfoque solo proporciona una comparación relativa para la eficiencia y puede inducir a caracterizar operaciones como objetivamente eficiente cuando en realidad son solamente comparablemente eficientes.

Es por este motivo que encontrar un nuevo enfoque que pueda ayudar a determinar la productividad de la mano de obra y sus rendimientos, y, que éstos se ajusten a la realidad, puede

significar una enorme ventaja sobre las demás empresas constructoras, pudiendo hacer la diferencia a la hora de planificar correctamente los plazos de ejecución del proyecto, disminuir los costos en mano de obra y adjudicarse una licitación o propuesta de un proyecto de construcción.

En este trabajo de título se propone evaluar la aplicabilidad de un nuevo enfoque para la evaluación y medición de la productividad de la mano de obra siguiendo tres líneas de acción. La primera línea de acción la llamaremos “cambio en el enfoque actual”. Se propone cuestionar el enfoque actual y se plantea un marco teórico alternativo, a fin de compararse con un valor de productividad que sea más objetivo que los obtenidos de la comparación con datos históricos o *benchmarking*. Este nuevo enfoque se implementó a un caso real de una secuencia constructiva de un proyecto de edificación de viviendas de hormigón en extensión, lo que permitió evaluar la aplicabilidad de este nuevo enfoque. La segunda línea de acción la llamaremos “intervención a través de la medición”. Se propone una revisión crítica de antecedentes bibliográficos sobre las técnicas y tecnologías utilizadas para estimar y medir la productividad de la mano de obra, esto permitió revisar el estado del arte de los sistemas empleados en la medición automatizada de datos de terreno para la medición de la productividad de la mano de obra. La tercera línea de acción la llamaremos “contribución de la modelación”. Se indaga en el uso de la técnica de simulación de eventos discretos en el área de la construcción, modelando una operación de construcción para un caso real, con lo cual se pudo sacar conclusiones que permitieron determinar el aporte de esta técnica a la evaluación de la productividad de la mano de obra.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Generales.

Evaluar la aplicabilidad en una obra de edificación en extensión de un nuevo enfoque para la estimación de la productividad de la mano de obra.

1.2.2 Específicos.

- Entender qué es la productividad de la mano de obra y qué incidencia tiene en un proyecto de construcción. Además, mostrar la realidad chilena respecto de los niveles de productividad de la industria interna respecto a la industria internacional.
- Estudiar y aplicar la metodología de 2-frentes (Kisi, K. P., et al. 2015) a un caso real de edificación en extensión para la estimación de la productividad óptima de la mano de obra.
- Realizar una revisión crítica basada en antecedentes bibliográficos de técnicas y tecnologías disponibles para la medición automática de datos de terreno relevantes para la estimación de la productividad de la mano de obra.
- Estudiar y aplicar a un caso real la técnica de modelación de eventos discretos, aplicada a una secuencia constructiva de un proyecto de edificación de viviendas en extensión.

1.3 Metodología.

El desarrollo de la presente memoria consideró la metodología que se indica a continuación.

1.3.1 Revisión Bibliográfica.

Se realizó una revisión crítica de artículos, investigaciones y trabajos de distintos autores relacionados con temas de productividad de la mano de obra.

El objetivo fue determinar el marco teórico sobre el cual se basará este trabajo, pudiendo definir de forma clara qué se entiende por productividad de la mano de obra. Además, se indagó en la propuesta innovadora de Kisi, P.K., Mani, N, et al. (2015), la metodología de 2-frentes, en la cual se plantea un nuevo enfoque para evaluar y determinar la productividad de la mano de obra de una operación de construcción. También, se investigó sobre distintos dispositivos y sistemas tecnológicos que pueden ser aplicados en la recolección de datos para la medición de la productividad de la mano de obra en terreno. Finalmente, se revisaron publicaciones sobre la modelación de eventos discretos aplicada en operaciones de construcción para determinar el aporte de esta técnica en la evaluación de los niveles de productividad de la mano de obra.

1.3.2 Implementación en Obra.

Luego de haber ahondado en las tres líneas de acción propuestas, se implementó la metodología de 2-frentes en un proyecto de edificación de viviendas de hormigón armado en extensión para realizar un estudio de productividad de una operación determinada. En esta obra estaban presentes los tres insumos más comunes de las construcciones chilenas: m² de moldaje, kg de acero y m³ de hormigón. Se realizaron algunas pequeñas modificaciones a la metodología original, considerando factores como: la fácil implementación, costos, correcta obtención de resultados, tiempo de implementación, entre otros. Se realizaron las mediciones de datos en terreno y se aplicó la técnica de modelación de eventos discretos a una operación de montaje de moldajes. Ya que la fácil implementación de un sistema de medición automatizado no fue posible, se diseñó un sistema de medición sencillo y manual para la recolección de los datos de terreno usados en el estudio de productividad realizado.

Al haber recolectado datos de terreno para la implementación de la metodología de 2-frentes en un proyecto de edificación se buscó obtener información que permitiera evaluar la aplicabilidad de la metodología en operaciones de construcción para la estimación de los niveles de productividad de la mano de obra. Además, con la modelación de la operación, se pudo establecer el aporte de la técnica de modelación de eventos discretos para la evaluación y determinación de los niveles de productividad de la mano de obra.

1.3.3 Análisis de la Información.

Con la investigación realizada y la posterior implementación en obra, se analizaron los resultados obtenidos identificando cuales fueron las principales dificultades que se observaron. Se proponen recomendaciones para superar los inconvenientes encontrados. Con la implementación de la metodología de 2-frentes se logró determinar el nivel de productividad óptimo de la mano de obra para la operación estudiada.

Finalmente, se determinó la factibilidad de implementar la metodología de 2-frentes en operaciones de construcción de un proyecto de edificación en extensión. Además, se evaluó el aporte de la técnica de modelación de eventos discretos en la evaluación de los niveles de productividad de la mano de obra.

1.4 Resultados Obtenidos.

1. De la investigación realizada se obtuvo: una revisión bibliográfica sobre el concepto de productividad de la mano de obra, un análisis comparativo de los niveles de productividad de la industria de la construcción a nivel global e interno, una metodología alternativa e innovadora para evaluar la productividad de la mano de obra, una revisión crítica sobre dispositivos y sistemas tecnológicos para obtener datos de terreno para evaluar y medir la productividad de la mano de obra, información sobre la modelación y simulación de eventos discretos para evaluar la productividad de la mano de obra de una operación constructiva.
2. Se determinó la factibilidad de la metodología implementada en obra para evaluar la productividad de la mano de obra.
3. Se revisó el estado del arte de los sistemas empleados en la medición automatizada de datos de terreno para la medición de la productividad de la mano de obra.
4. Se determinó la factibilidad, beneficios e inconvenientes de implementar la modelación de eventos discretos en el campo de la construcción a la hora de evaluar la productividad de la mano de obra.

1.5 Estructura de la Memoria.

CAPÍTULO 1. Introducción.

En este capítulo se introduce el trabajo realizado explicando las motivaciones que incentivaron la realización de esta memoria, los objetivos planteados, la metodología a usar en el desarrollo del trabajo y los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 2. Marco Teórico.

En este capítulo se explican conceptos y fundamentos que son necesarios aclarar y entender para la buena comprensión, realización y desarrollo de esta memoria. Además, se realiza un análisis comparativo de los niveles de productividad de la mano de obra de la industria de la construcción a nivel global y nacional.

CAPÍTULO 3. Cambio del Enfoque Actual: Metodología Innovadora.

Este capítulo da cuenta de una forma alternativa de determinar la productividad de la mano de obra mediante la implementación de la metodología de 2-frentes, proponiendo un valor más objetivo de comparación y cómo obtener este valor. Es así que se propone un cambio en el enfoque actual planteando una nueva metodología con una visión distinta a la actual. En este capítulo se indagará en la primera línea de acción propuesta: “cambio del enfoque actual”.

CAPÍTULO 4. Medición de la Productividad de la Mano de Obra.

En este capítulo se sintetiza la información recabada respecto a los distintos sistemas y dispositivos usados para la medición de la productividad de la mano de obra, describiendo cuáles son sus ventajas y desventajas. En este capítulo se indaga en la segunda línea de acción propuesta: “intervención a través de la medición”.

CAPÍTULO 5. Modelación de Eventos Discretos.

En este capítulo se indaga en la técnica de modelación de eventos discretos relacionada al área de la construcción. Se explica en que consiste y cuál es el uso que se le ha dado para la evaluación y determinación de los niveles de productividad en operaciones de construcción. En este capítulo se ahonda en la tercera línea de acción propuesta: “contribución de la modelación”.

CAPÍTULO 6. Estudio de Productividad en Obra: Conjunto Habitacional Buin/Villaseca.

En este capítulo se explican los detalles de la implementación en obra de la metodología de 2-frentes. Además, se mencionan las dificultades que se presentaron. Luego del estudio de productividad realizado se pudo determinar el nivel de productividad de la mano de obra de la operación estudiada.

CAPÍTULO 7. Análisis de los Resultados.

En este capítulo se explican los análisis realizados a partir del estudio de productividad. Además, se detallan los resultados obtenidos de la implementación de la metodología de 2-frentes a la operación estudiada.

CAPÍTULO 8. Conclusiones.

A partir de la revisión bibliográfica realizada, de la experiencia adquirida con la implementación en obra, y una vez analizados los resultados obtenidos, se concluyó acerca de la aplicabilidad de la metodología de 2-frentes. Se concluyó sobre los sistemas tecnológicos disponibles para la medición de datos de terreno en forma automatizada para la medición de la productividad de los trabajadores. Además, se concluyó sobre el aporte de la modelación de eventos discretos en la evaluación de la productividad de una operación de construcción.

2 MARCO TEÓRICO

La productividad es una de las variables más importantes e influyentes que determina el nivel de actividad de la producción económica. Una alta productividad laboral puede aumentar de manera significativa la rentabilidad, la competitividad, y mejorar los sueldos de los trabajadores sustantivamente. Mientras que una baja en ésta puede afectar de manera directa el PIB y, por lo tanto, el crecimiento económico del país (McKinsey, 2015).

2.1 Revisión Bibliográfica: Productividad en la Construcción.

La EANPC (en inglés, *European Association of National Productivity Centres*) define la productividad como “que tan eficiente y eficaz los productos y servicios son producidos”. Siguiendo esta misma línea, el concepto de eficiencia se puede relacionar con la frase “hacer las cosas bien”, es decir, la correcta utilización de recursos para obtener los resultados esperados. A su vez, el concepto de eficacia puede relacionarse con “hacer las cosas correctas”, lo que se refiere a cumplir con los requerimientos del cliente o con lo esperado (Kisi, K. P., 2015). En este sentido, se dice que un país o sector económico es productivo si es capaz de producir más con los mismos recursos o producir lo mismo con menos recursos.

Cabe señalar que es muy fácil confundir los términos de productividad (*productivity*), rentabilidad (*profitability*) y desempeño (*performance*). La productividad está relacionada a procesos reales que requieren de esfuerzo físico, mientras que la rentabilidad considera aspectos monetarios. El desempeño los abarca a ambos en sus aspectos operacionales y económicos.

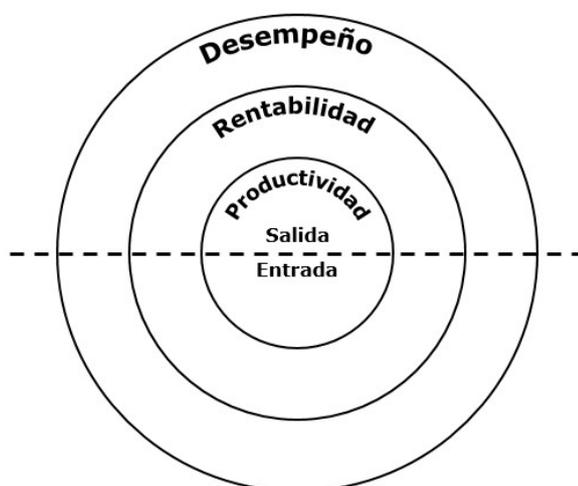


Figura 1: Relación entre Performance, Rentabilidad y Productividad.
(Adaptado de Pekuri et al., 2011).

En el informe técnico de la Comisión Nacional de Productividad (2016) se considera a la productividad como “una medida de cuántos bienes y servicios se producen con un número determinado de factores productivos, por ejemplo: trabajo y capital”. Se puede medir así la productividad de una empresa, un sector o incluso un país. Una de las maneras que se tiene para calcularla es a través de la relación de las variables de salida con las de entrada, (en inglés, *outputs*

e *inputs*, respectivamente). Las salidas se refieren a resultados específicos y/o avances, mientras que las entradas pueden ser uno o varios elementos. Dependiendo del número de variables de entrada se habla de un “Factor de Productividad Total” o FPT (varios factores) o de un “Factor de Productividad Parcial” o FPP (un solo factor).

Algunos ejemplos de FPT:

$$FPT = \frac{\textit{Total Producido}}{\textit{Mano de Obra + Materiales + Equipos + Energía + Capital}} \quad (1)$$

$$FPT = \frac{\textit{Dinero de Salidas}}{\textit{Dinero de Entradas}} \quad (2)$$

Algunos ejemplos de FPP:

$$FPP = \frac{\textit{m}^2 \textit{ Construidos}}{\textit{Mano de Obra + Materiales + Equipos}} \quad (3)$$

$$FPP = \frac{\textit{m}^3 \textit{ Producidos}}{\textit{Gastos}} \quad (4)$$

Dependiendo de los requisitos, las variables de entrada pueden variar (Kisi, P. K., 2015).

2.1.1 Productividad Laboral en la Construcción.

El rendimiento de los obreros o productividad de la mano de obra, también se conoce como la productividad laboral. En construcción, la productividad laboral depende principalmente del esfuerzo y del rendimiento humano, por lo que, para poder medirla, se hace uso de varios conceptos como la tasa de desempleo, la tasa de producción, la unidad [hora-hombre], entre otros. Dozzi, S. P. y AbouRizk, S. M. (1993) señalan que para poder calcular la productividad laboral en construcción se deben tener en cuenta dos medidas como las más importantes: la efectividad con que se realiza el trabajo en el proceso de construcción, y la eficiencia relativa del trabajo.

Según Thomas y Mathews (1985), la productividad en una obra puede ser medida de la siguiente manera:

$$\textit{Productividad Laboral} = \frac{\textit{Salidas}}{\textit{Horas Trabajadas por Individuo}} \quad (5)$$

$$\textit{Productividad Laboral} = \frac{\textit{Salidas}}{\textit{Costo Mano de Obra}} \quad (6)$$

Para calcular y estimar la productividad laboral usaremos la siguiente ecuación:

$$Productividad Laboral = \frac{Resultados Físicos Esperados}{Horas de Trabajo Requeridas} \quad (7)$$

Se usará e interpretará:

- Salidas: cualquier cantidad instalada.
- Entradas: horas de trabajo requeridas por la mano de obra para terminar de producir cierto avance.

En las ecuaciones (5) y (6) anteriores se utiliza dos tipos de entrada al sistema: la hora-hombre y el costo. La primera se centra únicamente en el trabajo y en las operaciones intensivas en mano de obra, mientras que la segunda combina todos los efectos. Así, la productividad de una operación puede ser medida y comparada con los valores estimados y acorde a su presupuesto (Dozzi, S. P. y AbouRizk, S. M., 1993).

2.2 Marco Económico General.

A nivel global, la productividad es considerada como una de las principales herramientas que tienen los países para alcanzar el desarrollo, ya que, potenciando una mayor productividad laboral, se incrementa el PIB y por consecuencia, se estimula el crecimiento económico del país.

En un diagnóstico realizado por la Consultora McKinsey (2015), en el que se midió el impacto de la productividad en el crecimiento del PIB, se establece que la Productividad Total de los Factores (PTF) es relevante para explicar el crecimiento tanto para países con alto nivel de crecimiento como para países ya desarrollados. Como se puede ver en la figura 2, del desglose del crecimiento del PIB entre los años 1990-2014 en países con un alto nivel de crecimiento como, la PTF aportó un 29% al crecimiento de China, lo que se repite en India en donde la PTF aportó un 25%, en Singapur un 19% y en Corea un 52%. Lo mismo ocurre en países con alto nivel de desarrollo y competitividad como lo son Hong Kong, EE. UU., Suecia, Finlandia y Japón.

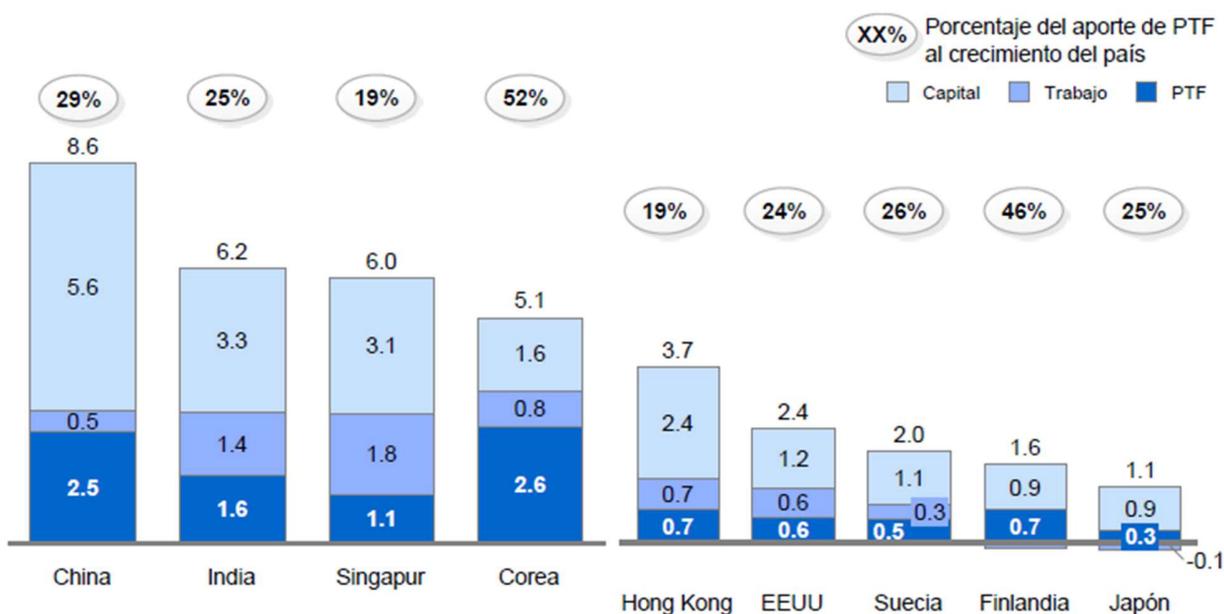


Figura 2: Desglose de Crecimiento desde 1990 a 2014 de Países con Alto Nivel de Crecimiento (izquierda) y Países con Alto Nivel de Desarrollo (derecha).
 Contribución en puntos porcentuales al crecimiento del PIB real anualizado.
 (Fuente: McKinsey, 2015).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en el documento “Impulsando la Productividad y el Crecimiento Inclusivo en Latinoamérica”, se refiere a la situación en específico de América Latina y como la baja en su productividad afecta de manera directa el crecimiento de los países. Pese a que durante las últimas décadas la mayoría de estos países y el Caribe han experimentado un crecimiento económico sólido, en el año 2012 este crecimiento de la región sufrió una desaceleración gradual, el que eventualmente se tornó en negativo en el año 2015. La mayor parte de este bajo crecimiento puede ser explicado por las diferencias en el comportamiento de la productividad entre América Latina y otras economías avanzadas (OCDE, 2014).

El país con mayor productividad por hora trabajada es Noruega, alcanzando un nivel de US\$ 68,9 de PIB por hora trabajada, mientras que el con menor nivel de productividad es Brasil, con solo un US\$ 16,9 de PIB por hora trabajada.

En relación a nuestro país, según un estudio encargado por la comisión de productividad de la Confederación de la Producción y del Comercio (CPC) a la consultora McKinsey (2015), el trabajador chileno produce menos de la mitad de lo que se produce en Estados Unidos (59% menos), y solo un poco más de la mitad de lo que producen en promedio los trabajadores de los países desarrollados (OCDE). Lo antes descrito se puede observar en la figura 3.

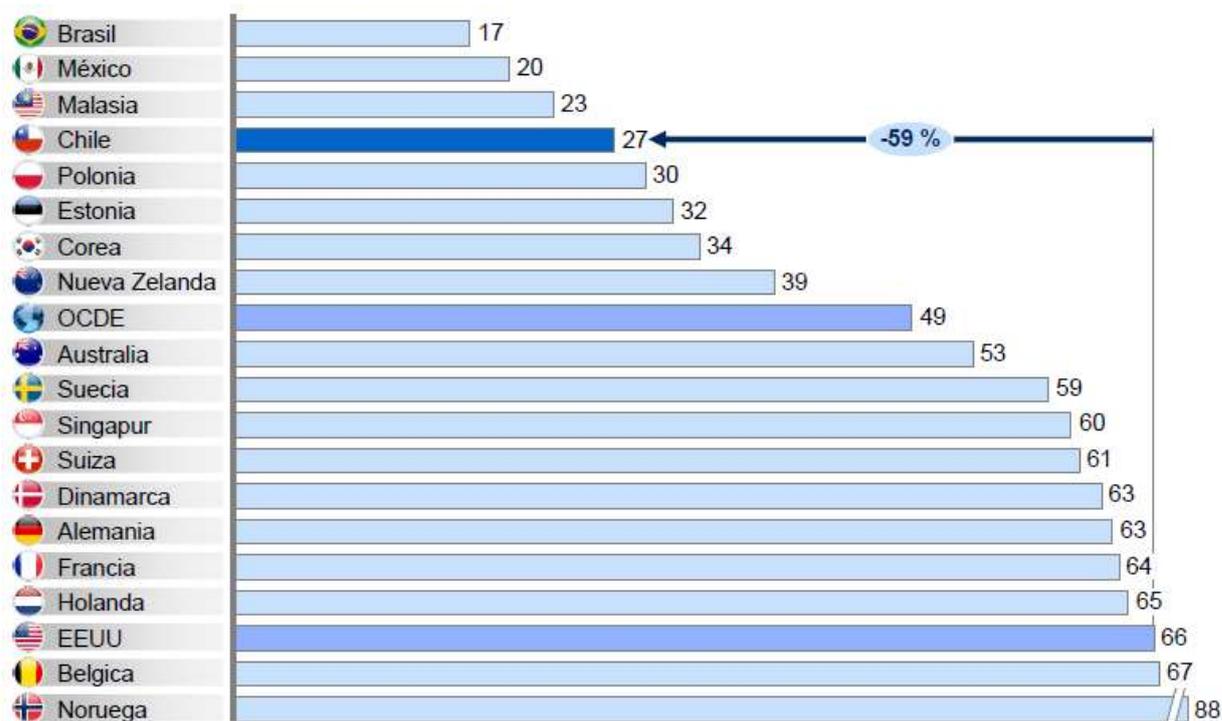


Figura 3: Productividad por Hora Trabajada (PIB US\$ por hora trabajada, 2014).
(Fuente: The Conference Board Economic Total Database; McKinsey, 2015.).

En Chile, la productividad laboral no aporta al crecimiento del país desde hace una década. El estudio encargado por la CPC a la consultora McKinsey arrojó como resultado que en los últimos años el aporte de la productividad laboral al crecimiento del país ha disminuido considerablemente.

Cómo se puede ver en la figura 4, la contribución de la productividad laboral al PIB del país ha ido disminuyendo de manera progresiva, en el período entre 1990-1999 se tenía una contribución de un 4,2%, entre los años 2000-2009 de un 1,7%, llegando a un 1,0% entre los años 2010 y 2014. El aumento en la contribución al crecimiento del PIB desde el segundo al tercer período se debería a una mayor participación laboral, lo que reafirmaría la idea de que una mayor participación laboral no se traduce necesariamente en una mayor productividad laboral.

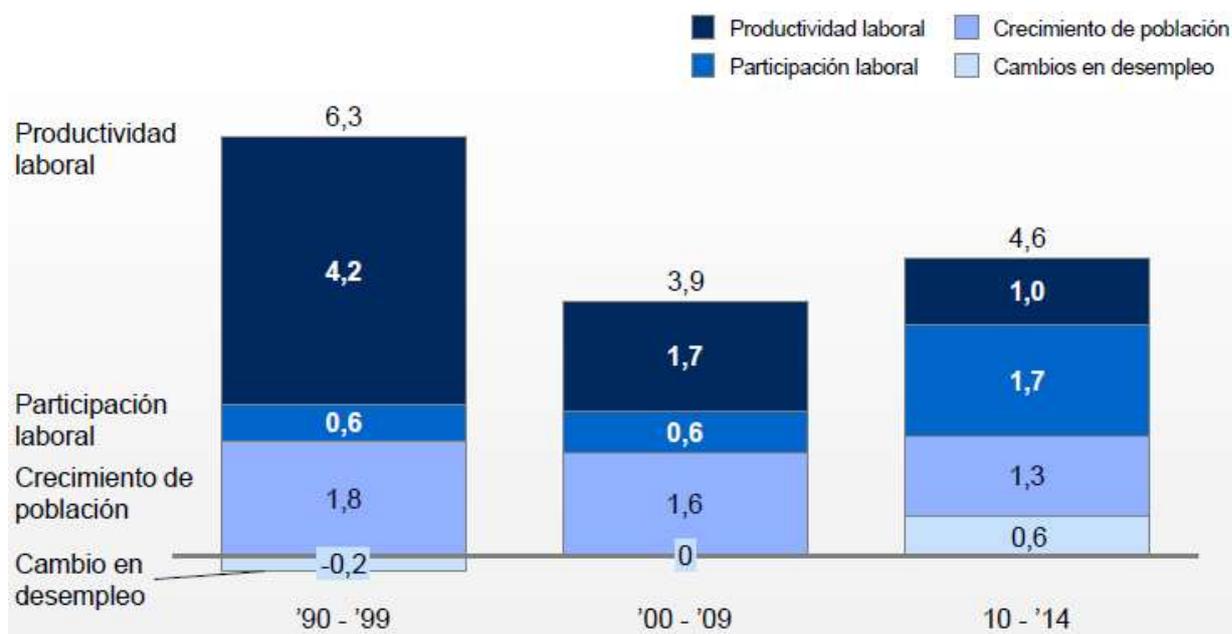


Figura 4: Contribución del Empleo y Productividad al Crecimiento del PIB real en Chile.
 % contribución al crecimiento del PIB real anualizado.
 (Fuente: McKinsey, 2015).

En el Informe Anual del año 2016 de la Comisión Nacional de Productividad de Chile (CNP), en el que se hace un balance sobre los niveles de productividad que ha tenido el país en comparación con otros países, se señala que en Chile se produce mucho menos que en los países desarrollados. En las figuras 5 y 6, se puede ver comparaciones realizadas por la CNP, donde se ilustra la razón del PIB per cápita de Chile y del PIB por trabajador de Chile, en relación al PIB per cápita y PIB por trabajador de Australia y Estados Unidos. En el informe se muestra que, si bien en los últimos 30 años se ha reducido la brecha de estos dos indicadores respecto a Australia y Estados Unidos, bajo un análisis más exhaustivo se puede decir que no se está mucho mejor que hace 60 años, ya que en el período comprendido entre los años 2010-2016 el PIB per cápita, y entre 2008-2016 el PIB por trabajador, tienen niveles similares a años pasados.

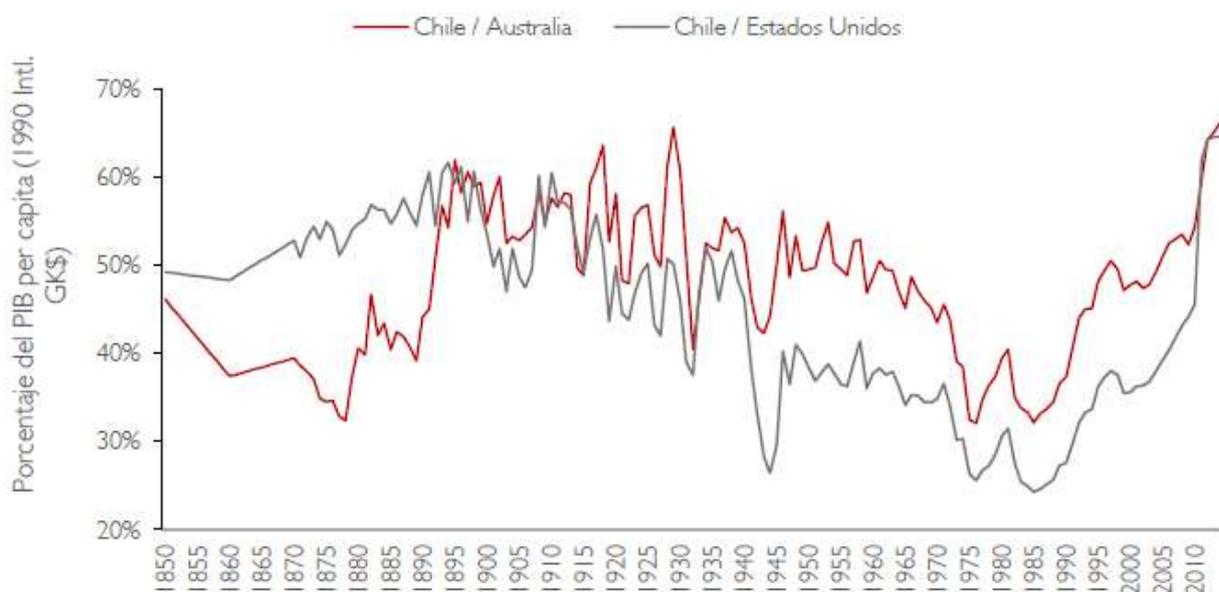


Figura 5: Razón entre PIB per Cápita de Chile y PIB per cápita de Australia y Estados Unidos.

(Fuente: Comisión Nacional de Productividad, con datos de Penn World Tables, Feenstra et al, 2015, y de Madison, Bolt y van Zanden, 2014).

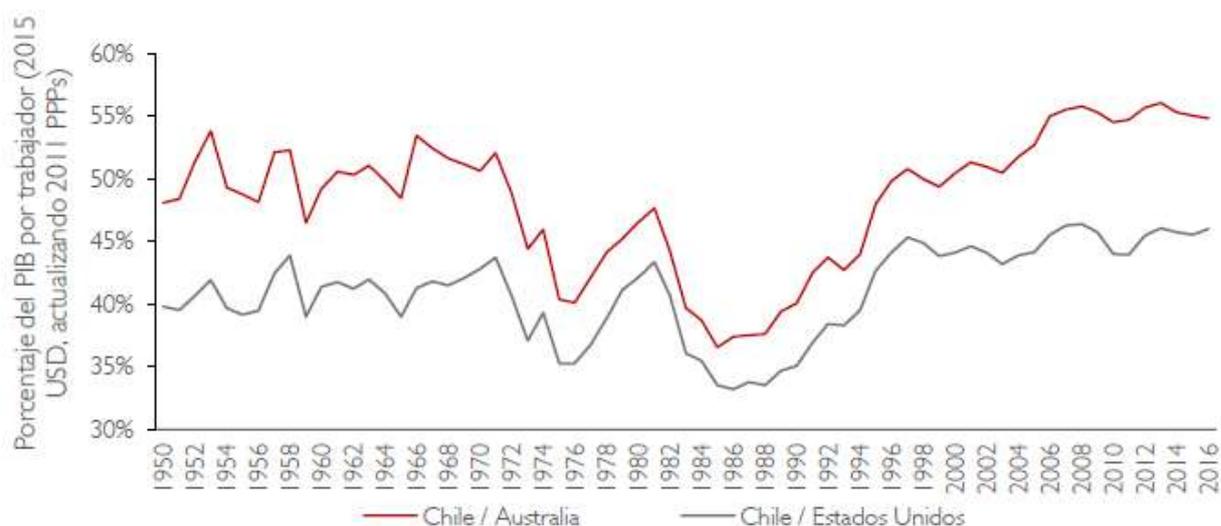


Figura 6: Razón entre PIB por Trabajador de Chile y PIB por Trabajador de Australia y Estados Unidos.

(Fuente: Comisión Nacional de Productividad, con datos de Penn World Tables, Feenstra et al, 2015, y de Madison, Bolt y van Zanden, 2014).

El área de la construcción es un sector relevante en la economía global. En Chile, este sector representa el 7,8% del PIB, es el 8,4% del empleo, y cuenta con 30.000 empresas (CChC, 2014), la mayoría PYMEs. En su aporte económico, el sector de la construcción aporta el 55% de la inversión total del país, donde un tercio de este porcentaje corresponde a edificaciones de carácter comercial, público y residencial, lo que en total equivale a una inversión cercana a los US\$ 10.000 millones al año (Programa “Construye 2025”, 2016).

La Cámara Chilena de la Construcción en el Informe Macroeconomía y Construcción (CChC, 2016), realizó un estudio sobre las fuentes del crecimiento del PIB, entre los años 1986-2015, donde se revisaron cuatro dimensiones: (1) las medidas tradicionales de los factores (sin

ajustar por calidad e intensidad de uso), (2) empleo de la construcción, ajustado por horas trabajadas y años de educación, (3) capital corregido por la intensidad de uso, y (4) capital ajustado por las desviaciones de los despachos industriales como instrumento alternativo de ajuste por intensidad de uso del factor.

Períodos	Crecimiento PIB	Contribución Capital	Contribución Trabajo	Contribución PTF
(i) Capital y trabajo				
1986-1991	7,47%	-1,19%	10,89%	-2,23%
1992-1997	10,14%	2,50%	5,34%	2,30%
1998-2003	-0,37%	-0,18%	0,59%	-0,79%
2004-2009	4,61%	1,43%	2,61%	0,57%
2010-2015	4,09%	2,19%	4,27%	-2,37%
1986-2015	5,11%	1,02%	4,53%	-0,44%
(ii) Capital y trabajo ajustado por horas y educación				
1986-1991	7,47%	-1,19%	11,44%	-2,78%
1992-1997	10,14%	2,50%	5,99%	1,65%
1998-2003	-0,37%	-0,18%	0,86%	-1,05%
2004-2009	4,61%	1,43%	3,00%	0,17%
2010-2015	4,09%	2,19%	4,28%	-2,38%
1986-2015	5,11%	1,02%	4,90%	-0,81%
(iii) Capital ajustado por cemento y trabajo ajustado por horas y educación				
1986-1991	7,47%	-1,21%	11,44%	-2,76%
1992-1997	10,14%	2,42%	5,99%	1,73%
1998-2003	-0,37%	-0,04%	0,86%	-1,20%
2004-2009	4,61%	1,32%	3,00%	0,29%
2010-2015	4,09%	2,27%	4,28%	-2,46%
1986-2015	5,11%	1,03%	4,90%	-0,82%
(iii) Capital ajustado por despachos industriales y trabajo ajustado por horas y educación				
1986-1991	7,47%	-1,25%	11,44%	-2,72%
1992-1997	10,14%	2,45%	5,99%	1,69%
1998-2003	-0,37%	-0,06%	0,86%	-1,18%
2004-2009	4,61%	1,22%	3,00%	0,39%
2010-2015	4,09%	2,09%	4,28%	-2,29%
1986-2015	5,11%	0,97%	4,90%	-0,75%

Figura 7: Fuentes del Crecimiento del PIB de la Construcción en Chile, varios sub-períodos de 1986-2015. (Fuente: Informe Macroeconomía y Construcción. CChC, 2016).

En la figura 7, se puede ver que, en el período comprendido entre 1986-2015, la contribución de la productividad total de factores (PTF) al crecimiento del PIB sectorial es negativa. Cabe señalar que en el informe se hace referencia a que el resultado es por la fuerte caída de la productividad durante los períodos que incluyen la crisis asiática y la crisis *subprime*. La contribución de la productividad al crecimiento del PIB resultó positiva entre los años 1992-1997, lo que coincide con el crecimiento del sector (10.1% anual) Según lo que se señala en el informe, durante el período 1986-2015, el crecimiento de largo plazo experimentado por el sector ha tenido pocas mejoras de productividad, lo que podría ser alarmante para el futuro desempeño del área.

La baja en la productividad laboral en el país, y en este sector en específico, ha encarecido las edificaciones y afectado de manera negativa la economía y el desarrollo social. Según lo señalado en el Programa Estratégico “Construye 2025” del gobierno de Chile, esta baja se debe mayoritariamente a las fallas de coordinación y planificación, la baja estandarización y prefabricación industrializada, y la escasa preparación del capital humano. Lo que lleva a que la productividad promedio del país, medida en m² construidos/trabajador sea la mitad de la de Estados Unidos.

En el informe técnico de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT, 2013), sobre la productividad en obras de edificación en Chile, se llega a la conclusión que esta baja en la productividad en el sector podría ser explicada por la escasez de mano de obra en construcción. En el informe se señala que la alta demanda de mano de obra en el sector, producto de la gran actividad y el explosivo aumento de los requerimientos de mano de obra por el sector minero, han hecho que los proyectos de edificación hayan tenido que reestructurar sus procesos y asumir tener que avanzar a ritmos menores de los esperados.

Siguiendo esta línea, en este informe técnico, la CDT tomó a modo de ejemplo una empresa evaluada por Asesorías CDT, en la que se revisó la evolución del rendimiento real en la partida de hormigonado, moldaje y enfierradura entre los años 2005 y 2011. Como se puede ver en las figuras 8, 9 y 10, el rendimiento en las tres partidas ha ido disminuyendo de manera progresiva. Pese a que se ve una estabilización entre los años 2007 y 2010, en el año 2011 se muestra un fuerte descenso, siendo las partidas de Moldaje y Enfierraduras, las que necesitan una mayor cantidad de mano de obra especializada y donde las tecnologías que podrían mejorar el rendimiento no han sido implementadas. Este ejemplo sirve para proyectar y reevaluar las metas de avance de los proyectos de edificación, ya que se debe considerar que podría existir un déficit de mano de obra que sea particularmente calificada (CDT, 2013).

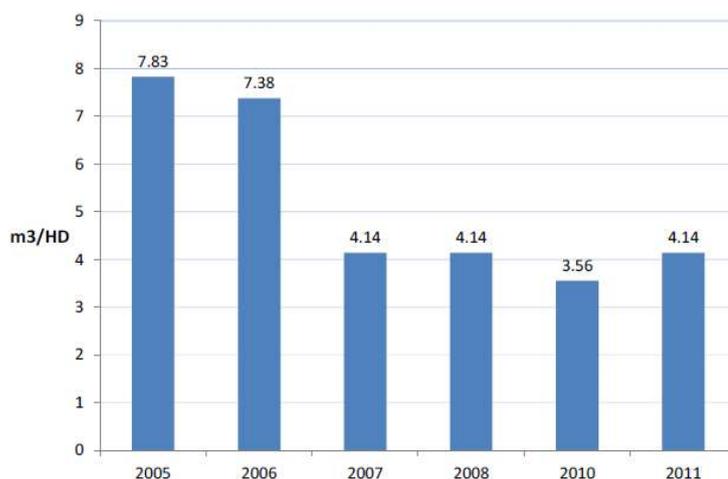


Figura 8: Evolución del Rendimiento Real Partida de Hormigonado (m³/ HD). Empresa Ejemplo.
(Fuente: CDT, Informe Técnico Productividad en Obras de Edificación en Chile).



Figura 9: Evolución del Rendimiento Real Partida de Moldaje (m2/ HD). Empresa Ejemplo. (Fuente: CDT, Informe Técnico Productividad en Obras de Edificación en Chile).

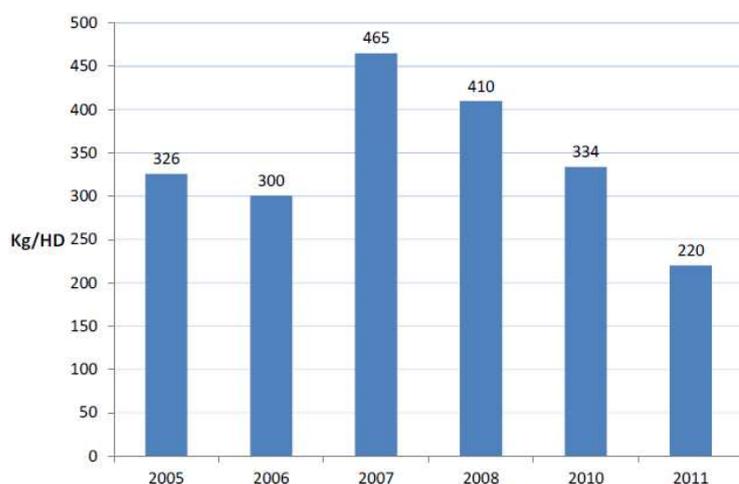


Figura 10: Evolución del Rendimiento Real Partida de Enfierradura (Kg/ HD). Empresa Ejemplo. (Fuente: CDT, Informe Técnico Productividad en Obras de Edificación en Chile).

2.3 Enfoques para Evaluar y Mejorar la Productividad en Construcción.

2.3.1 Enfoque Tradicional.

Uno de los enfoques que se ha utilizado como método tradicional de estimación de la productividad de la mano de obra, es la comparación de los datos actuales con la información histórica y el *benchmarking*. De esta forma, para definir el nivel de la productividad de la mano de obra, se miden y estiman promedios históricos y modelos desarrollados con bases de datos o juicios de expertos, y se comparan con los resultados actuales.

El *benchmarking* ha sido aplicado en la industria de la construcción como la técnica básica para identificar maneras de mejorar el desempeño de la organización y los proyectos. Este sistema se basa en datos de terreno de productividad laboral, donde se saca un promedio de productividad diaria, considerando los días interrumpidos como los no interrumpidos. Luego se compara estos resultados con los de años anteriores, sacando un promedio histórico. Esta medición de

productividad puede ser realizada a través de encuestas por cuestionarios, recopilación de datos, análisis de datos estadísticos, entre otros (Kisi, P.K., 2015).

Pese a que es el método de uso tradicional, existe consenso en que el principal problema en esta forma de estimación de la producción de la mano de obra es que la información de construcción actual no provee de una adecuada o acertada medición de la productividad (BFC, 2006; Song y AbouRizk, 2008). Si bien el evaluar la eficiencia en la construcción comparándola con la productividad histórica puede conducir a igualar estos niveles de productividad, no se asegura que se alcance la productividad óptima. Es más, se afirma que comparar los niveles de productividad con información histórica no sería un método adecuado para medir la productividad, pero que, sin otra buena medida para estimar la productividad, esta “mala práctica” se seguirá usando.

2.3.2 Enfoque Lean Construction.

Otro de los enfoques que se utiliza para evaluar y aumentar la productividad de la mano de obra es el que se basa en el principio de Lean Production, “*Lean Construction*”. Este enfoque, también llamado “Construcción sin pérdidas”, busca maximizar el valor y minimizar las pérdidas de los proyectos mediante la aplicación de técnicas que conducen al incremento de la productividad de los procesos de construcción. Tiene como principio básico reducir al máximo posible el tiempo invertido en actividades de construcción, y puede ser definido como una medida que concibe a las actividades de producción como flujos de materiales e información, los cuales son controlados con el objetivo de obtener una mínima variabilidad y tiempo de ciclo (Conferencia Tecnológica, CDT Alarcón, 2005; LCE, 2016).

Este sistema productivo se inicia a nivel global en el sector de la producción automotriz (*Lean Manufacturing*) y luego se expande a otras industrias y sectores. El *Lean Construction* aparece intensamente desde el año 2007, principalmente en Estados Unidos, donde diversos estudios revelan que las empresas que aplican esta filosofía han obtenido altos niveles de rendimiento, reduciendo costos e incrementando la productividad (Pons, J. F., 2014).

Este enfoque se sustenta en 11 principios:

- 1) Reducción o eliminación de las actividades que no agreguen valor.
- 2) Incremento del valor del producto.
- 3) Reducción de la variabilidad.
- 4) Reducción del tiempo del ciclo.
- 5) Simplificación de procesos.
- 6) Incremento de la flexibilidad de la producción.
- 7) Transparencia del proceso.
- 8) Enfoque del control al proceso completo.
- 9) Mejoramiento continuo del proceso.
- 10) Balance de mejoramiento de flujo con mejoramiento de conversión
- 11) Referenciación.

Este método proporciona herramientas que podrían contribuir a una mayor integración entre los distintos actores sociales y las empresas a lo largo del ciclo de un proyecto, lo que implica adoptar de una manera integral un nuevo enfoque en la gestión integral de éste. El sistema busca fomentar el trabajo en equipo, mejorando la comunicación, y conduciendo a una mejor autogestión (Pons, J. F., 2014).

2.3.3 Reingeniería de Procesos.

Otro de los modelos que han sido usados para evaluar y mejorar la productividad de la mano de obra en la construcción es el enfoque de la reingeniería de procesos. En su definición más aceptada se señala que “la reingeniería es el replanteamiento fundamental y el rediseño radical de los procesos del negocio para lograr mejoras dramáticas dentro de medidas críticas y de desempeño, tales como costo, calidad, servicio y rapidez” (Hammer, M., y Champy, J., 1994).

Este método es usado como un modo planificado de establecer secuencias o interacciones con el objetivo de aumentar la eficiencia, la eficacia, la productividad y la efectividad. Además, esta metodología busca rediseñar e inventar nuevas maneras de hacer las cosas y buscar nuevas técnicas para hacer crecer la empresa, donde se busca atender las exigencias del mercado, poner al cliente como prioridad y potenciar nuevas tecnologías. Cabe destacar que una confusión común es confundir la reingeniería de procesos con el rediseño o diseño organizacional, por lo que se debe aclarar que lo que cambia son los procesos, y no las organizaciones sujetas a la reingeniería (Ferrer, Villalobos y Barboza, 1996).



Figura 11: Compromiso de la Reingeniería con las tres “C”.
(Fuente: Escalera, G., Masa, C. y García, E., 2008).

Entre los objetivos que persigue la reingeniería, está un mayor beneficio económico, una mayor satisfacción del cliente por la mejora de la calidad del producto/servicio y una mayor satisfacción del personal por una mejor definición de procesos y tareas. En la figura 11 se muestran los tres agentes con los que la reingeniería se compromete para lograr los objetivos planteados.

En su aplicación más general este proceso cuenta con varias etapas. En un comienzo se realiza la preparación, donde se estimula la participación de los empleados en el proceso de cambio. Luego, se continúa con el análisis del “Factor Humano del Cambio”, en el que se transmite la

decisión de realizar la medida y se informa al personal los posibles cambios. Se continúa con el “Análisis de los Procesos de la Organización”, donde se desarrolla la metodología con la que se implementarán los cambios, se establecen prioridades en los procesos a cambiar, y se orienta la organización en la formulación de nuevas tareas. Después de esto se realiza la “Implantación del Cambio-Innovación”, en la que se aplican nuevas tecnologías y se ponen en funcionamiento los procesos que han sido modificados. Finalmente, se realiza la etapa de “Supervisión y Evaluación de la Implantación”, en la que se evalúan los puntos fuertes y débiles de la medida y se desarrollan nuevas políticas de fortalecimiento (Escalera, G., Masa, C. y García, E., 2008).

Al utilizar un cambio constante para lograr una ventaja comparativa y al tener un sistema de cambios administrativos, la reingeniería puede ser utilizada como una herramienta en el aumento de la productividad en todo tipo de empresas.

2.3.4 Metodología de 2-Frentes.

La metodología de 2-frentes, planteada en los trabajos de Kisi, P. K. (2015), Kisi, P. K. et al. (2014) y Mani, N. et al. (2014), es un nuevo enfoque que cuenta con una propuesta innovadora. En estos trabajos se propone una estrategia de doble ruta -o de dos frentes- para estimar el nivel óptimo de la productividad de la mano de obra para operaciones de construcción que emplean una elevada cantidad de recursos humanos.

La productividad óptima se entiende como el más alto y sostenible nivel de productividad alcanzable bajo una buena administración y condiciones típicas. Una buena estimación de la productividad óptima permitirá tener una comparación más certera, y, así, determinar la eficiencia de los trabajos de la mano de obra comparando el nivel de productividad actual vs el nivel de productividad óptimo (Kisi, P.K., 2015).

Para estimar el nivel de productividad óptimo de alguna operación en particular, esta metodología propone analizar las condiciones propias de la obra y de la operación siguiendo dos enfoques -o estrategias-.

A través de un enfoque “de-abajo-hacia-arriba”, se estiman las pérdidas de productividad debido a ineficiencias operacionales y se mide el nivel de productividad que se presenta en terreno. A este nivel se le conocerá como la “productividad actual”. Eliminando las pérdidas debido a las ineficiencias operacionales de la productividad actual se determina el límite inferior de la productividad óptima. Para determinar este valor se realiza un análisis cuantitativo de la operación basado en el uso de un modelo de simulación de eventos discretos.

A través de un enfoque “de-arriba-hacia-abajo”, se estiman las pérdidas de productividad debido a ineficiencias del sistema y se determina el nivel de la productividad frontera. Este nivel corresponde a la productividad obtenida bajo condiciones ideales. Añadiendo las pérdidas debido a las ineficiencias del sistema a la productividad frontera se determina el límite superior de la productividad óptima. Para determinar este valor se realiza un análisis cualitativo de las condiciones de la obra y de la operación, basándose en el uso de un modelo cualitativo de factores.

De esta forma, esta metodología pretende ser una alternativa a las prácticas actuales para estimar los niveles de productividad de las operaciones en construcción, permitiéndole a los administradores de obra obtener un dato de productividad objetivo con el cual compararse y así estimar de forma certera los niveles de productividad que deben alcanzar en sus operaciones. Los análisis contemplados en la metodología le proporcionan un respaldo más objetivo al dato de productividad óptimo obtenido a partir de esta metodología.

Esta metodología también propone un marco conceptual nuevo, incorporando conceptos tales como productividad frontera, productividad óptima, productividad actual, ineficiencias del sistema, ineficiencias operacionales, entre otros.

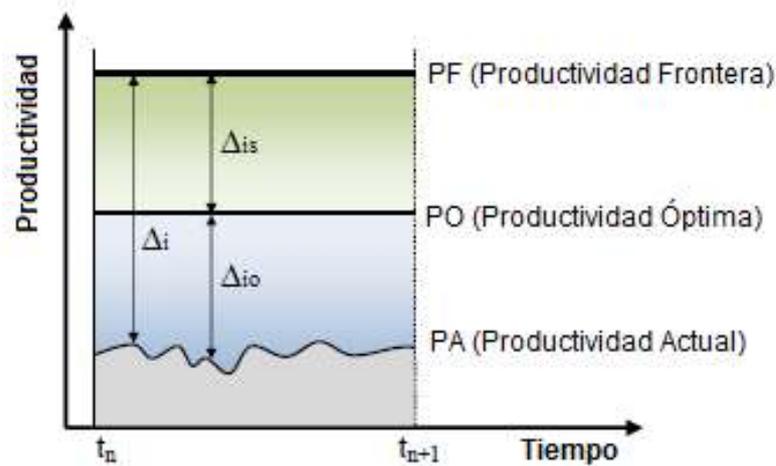


Figura 12: Conceptos Básicos propuestos por la Metodología de 2-Frentes. (Fuente: Kisi, P.K., 2015).

Como parte de la primera línea de acción propuesta en la presente memoria, se ahonda en la metodología de 2-frentes para posteriormente implementarla en terreno en una obra de edificación de viviendas de hormigón armado en extensión. Por lo tanto, el detalle de los conceptos y procedimientos que se plantean en esta metodología, se explican en el capítulo 3 de la presente memoria.

2.3.5 Sistemas de Medición.

Otro enfoque, que tiene como objetivo de medir y evaluar la productividad de la mano de obra de forma certera, es el de los sistemas de medición y su mejoramiento para llevar un correcto control de los niveles de productividad obtenidos en terreno para cualquier operación en construcción. Con el desarrollo, reducción de costos y masificación de las tecnologías, incorporar sistemas de medición más modernos para el control de la productividad se ha hecho cada vez más accesible.

Muchas investigaciones se han realizado para evaluar la aplicabilidad de distintos sistemas tecnológicos para la obtención de registros y datos de terreno que permitan llevar un control de distintos aspectos de la obra (Winch, G. y Carr, B., 2001; Joshua, L. y Varghese, K., 2011; Li, H.

et al 2015). Los avances tecnológicos de distintos dispositivos para la recolección de datos, de los sistemas de comunicación que permiten la transmisión de datos de forma remota y rápida, y de los sistemas de procesamiento de datos, apuntan hacia la elaboración de sistemas de medición que puedan realizar una medición automatizada de los niveles de productividad.

Como parte de la segunda línea de acción propuesta en la presente memoria, se indaga en las principales técnicas y tecnologías que se usan en la recolección de datos de terreno para medir de forma automatizada los niveles de la productividad de la mano de obra. Por lo tanto, el detalle de la revisión de antecedentes bibliográficos realizada se muestra en el capítulo 4 de la presente memoria.

2.3.6 Modelación de Procesos Constructivos.

La modelación de los procesos constructivos es un enfoque relacionado a la estimación de la productividad que se alcanzará en las distintas secuencias constructivas con el objetivo de poder estimar los plazos y costos requeridos en un cierto proyecto.

Distintas técnicas han sido utilizadas en la modelación de procesos. De los primeros modelos que se tiene registro son de la década de 1950, en que se desarrollaron el Método de la Ruta Crítica, o CPM (en inglés, *Critical Path Method*), y de la Técnica de Revisión y Evaluación de Proyectos, o PERT (en inglés, *Project Evaluation and Review Techniques*). Estos enfoques apuntaban a estimar cuánto tiempo se iba a demorar la ejecución de un proyecto.

Luego, con la incorporación y desarrollo de herramientas computacionales, se ha ampliado la variedad de técnicas utilizadas en la modelación de procesos para la estimación de los niveles de productividad de las operaciones de un proyecto. La versatilidad de los recursos computacionales disponibles ha hecho que se disponga con una serie de herramientas, como por ejemplo la inteligencia artificial, redes neuronales, sistemas BIM, análisis de decisión multi-criterio, entre otros. Una de las principales técnicas que se ha utilizado para la modelación de procesos en construcción, y que se ha aprovechado de los recursos computacionales disponibles, es la técnica de simulación de eventos discretos.

Como parte de la tercera línea de acción propuesta en la presente memoria, se ahonda en la técnica de simulación de eventos discretos para la modelación de procesos constructivos. Para mayor detalle sobre este tema, consultar el capítulo 5 de la presente memoria.

3 CAMBIO DEL ENFOQUE ACTUAL: METODOLOGÍA DE 2-FRENTE

Actualmente la práctica que existe para evaluar la productividad de la mano de obra es la comparación con datos de información histórica de rendimientos o con datos de rendimientos de la industria (interna o internacional). A pesar de que resulte intuitivo determinar los niveles de productividad de esta forma, se pasan por alto varios aspectos que influyen en la determinación de la productividad de cada obra, ya que cada una tiene diferentes características y particularidades que las hacen muy distintas unas con otras. Es por esto que esta práctica puede resultar en alcanzar niveles de productividad que no necesariamente son eficientes para la realidad de la obra, es más, Kisi et al. (2014) establece que "este enfoque para examinar la productividad solo proporciona una referencia relativa para la eficiencia y puede conducir a la caracterización de las operaciones como auténticamente eficiente, cuando realmente dichas operaciones pueden ser solo comparablemente eficientes".

En este capítulo se aborda el tema que corresponde a la primera línea de acción propuesta al inicio de este trabajo de memoria: cambio del enfoque actual. Es por esto que en este capítulo se propone una forma alternativa para determinar un valor más objetivo de productividad con el cual compararse. Basándose en los trabajos de Kisi, P. K. (2015), Kisi, P. K. et al. (2014) y Mani, N. et al. (2014), se explicará en que consiste el concepto de productividad óptima y cómo determinarlo.

3.1 Marco Conceptual.

Kisi, K. P., Mani, N. y Rojas, E. M. (2014) han propuesto una forma alternativa para determinar la productividad de la mano de obra obteniendo un valor para la productividad óptima considerando las características y particularidades del proyecto. Antes de explicar la metodología que proponen se debe explicar qué se entiende por productividad óptima y algunos otros conceptos.

Son, J. y Rojas, E. M. (2011) definen la productividad óptima como "el nivel de productividad sostenible más alto alcanzado en terreno bajo una buena administración y condiciones de terreno típicas". Por lo tanto, la productividad óptima es un nivel de productividad superior al de la productividad actual, la cual Kisi et al. (2014) define como "la productividad alcanzada en terreno".

La diferencia entre la productividad óptima y la productividad actual se debe a una serie de ineficiencias que se conocerán como ineficiencias operacionales, según Kisi et al. (2014) estas ineficiencias son aquellas que están bajo el control del administrador de proyecto mediante la práctica de buenas técnicas de gestión; ejemplos de factores que influyen en la productividad de la mano de obra que se pueden asociar a estas ineficiencias son: la mala supervisión, métodos y procedimientos constructivos, tamaño y conformación de cuadrillas, mala planificación de las actividades, sistema de turnos de trabajo, descansos no programados, salidas anticipadas, entre otros.

Además, existe un nivel de productividad superior al de la productividad óptima que es prácticamente inalcanzable en terreno, Mani, N. (2014) lo define como la productividad frontera, que "es el máximo nivel teórico de productividad que puede ser alcanzado en terreno bajo condiciones perfectas". Este nivel de productividad es una abstracción que se utiliza para la estimación de la productividad óptima para operaciones de la mano de obra (Mani, N., 2014).

La diferencia entre la productividad frontera y la productividad óptima se debe a una serie de ineficiencias que se conocerán como ineficiencias del sistema, según Mani et al. (2014) estas ineficiencias son aquellas que no están al alcance del administrador de proyecto y que tienen un impacto, directo o indirecto, en la productividad de la mano de obra; algunos factores que están asociados a estas ineficiencias son la temperatura, la humedad, ausentismo de los trabajadores, errores de diseño, entre otros. La suma de las ineficiencias del sistema y operacionales son las ineficiencias totales.

Por lo tanto, se tiene que la productividad óptima se encuentra entre los niveles de productividad asociados a la productividad frontera y la productividad actual, esta relación se puede ver en la siguiente figura 13.

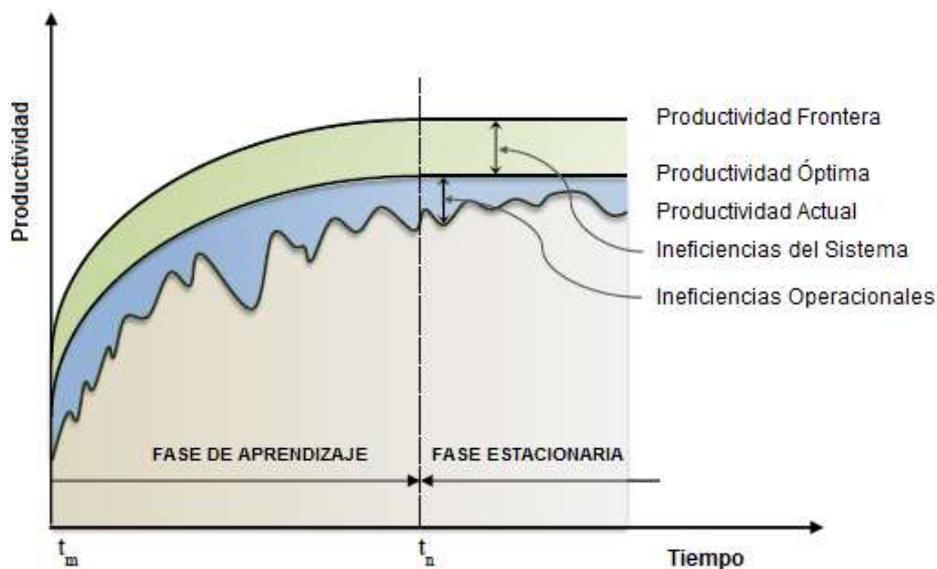


Figura 13: Dinámica de Productividad.
(Fuente: Kisi, K. P., 2015).

En todo proyecto de construcción se observa un período de aprendizaje en que los trabajadores se acostumbran a las secuencias y metodologías de trabajo que se decide implementar en la obra. En este período se observan niveles de productividad más bajos, pero, a medida que los trabajadores se acomodan a sus tareas, su productividad va aumentando hasta llegar a un nivel constante. Una vez que los trabajadores se han acomodado a sus labores alcanzan un nivel de productividad estable, entrando en una fase estacionaria de productividad. Es por esta razón que es importante notar que la productividad puede medirse de mejor manera durante la fase estacionaria (Kisi, K. P., 2015). En la figura 13 se observan claramente las dos fases mencionadas.

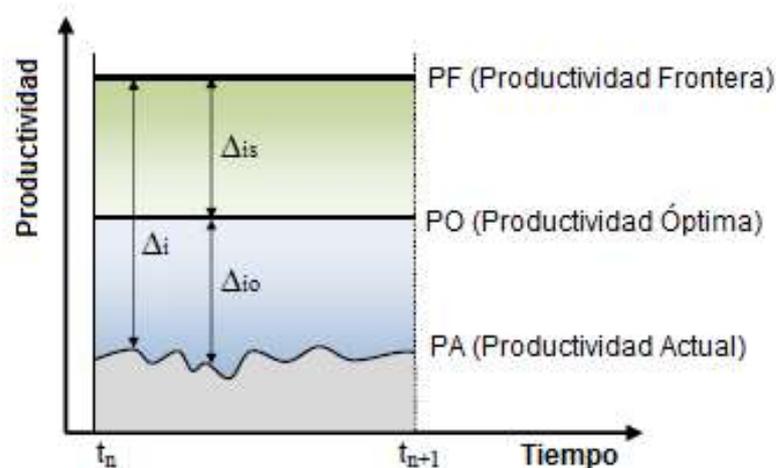


Figura 14: Conceptos Básicos de Productividad.
(Fuente: Kisi, K. P., 2015).

Con todo lo antes mencionado en la figura 14 se muestran las ineficiencias y niveles de productividad una vez alcanzada la fase estacionaria.

3.2 Metodología de 2-Frentes.

En los trabajos de Kisi, K. P., Mani, N., et al. (2014) y Kisi, K. P. (2015) se propone una metodología con enfoque de dos-frentes para estimar la productividad óptima de cualquier actividad en construcción y que tenga un carácter reiterativo. A través de un enfoque “de-abajo-hacia-arriba” y de un enfoque “de-arriba-hacia-abajo”, la metodología propone estimar las ineficiencias del sistema y operacionales, respectivamente. Más adelante, en las secciones 3.2.1 y 3.2.2, se detalla en qué consiste cada enfoque.

Es importante destacar que, en rigor, las ineficiencias, tanto del sistema como las operacionales, no son posibles de determinar con exactitud, sino más bien se puede realizar una estimación que resulta en una aproximación del efecto que tienen en la productividad de la mano de obra.

Es así que con el enfoque “de-arriba-hacia-abajo” se puede estimar la productividad óptima incluyendo las ineficiencias del sistema en la productividad frontera, pero, como se mencionó antes, no se pueden determinar con precisión estas ineficiencias, por lo que el resultado obtenido es el límite superior del rango en el que debería encontrarse la productividad óptima de la operación analizada.

Del mismo modo, con el enfoque “de-abajo-hacia-arriba” se puede estimar la productividad óptima excluyendo las ineficiencias operacionales de la productividad actual, tampoco se pueden determinar estas ineficiencias con precisión, por lo que el resultado obtenido será el límite inferior del rango en que se debería encontrar la productividad óptima de la operación analizada.

Por lo tanto, para determinar el valor de la productividad óptima se promedian los valores de cada límite. Lo explicado anteriormente se muestra en la figura 15.

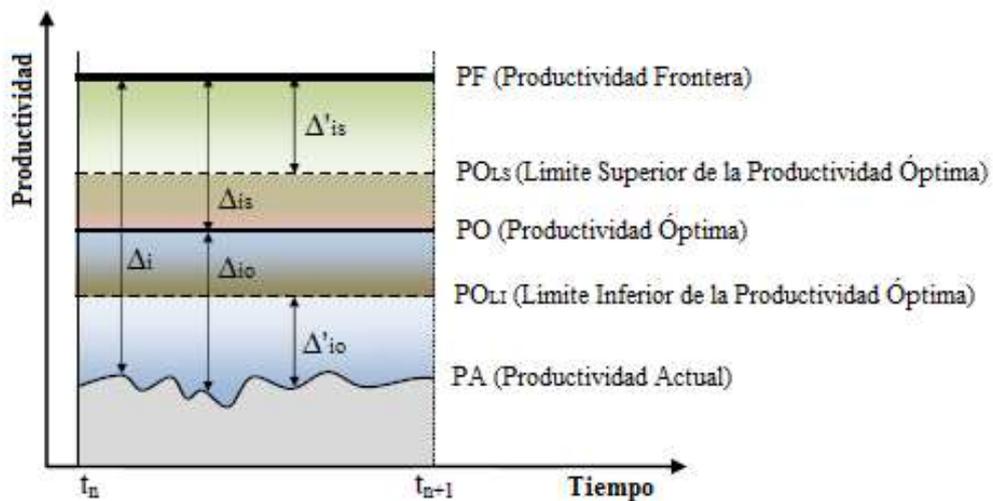


Figura 15: Límites Superior e Inferior de la Productividad Óptima.
(Fuente: Kisi, K. P., 2015).

Resumiendo, el límite superior e inferior de la productividad óptima se pueden calcular de la siguiente forma:

$$PO_{LS} = PF - \Delta'_{is}$$

$$PO_{LI} = PA + \Delta'_{io}$$

Donde:

Δ'_{is} = estimación de las ineficiencias del sistema.

Δ'_{io} = estimación de las ineficiencias operacionales.

PF = productividad frontera.

PA = productividad actual.

PO_{LS} = límite superior de la productividad óptima.

PO_{LI} = límite inferior de la productividad óptima.

Finalmente, la productividad óptima se calcula de la siguiente forma:

$$PO = \frac{PO_{LS} + PO_{LI}}{2}$$

Donde:

PO = Productividad óptima de la operación analizada.

3.2.1 Enfoque De-Abajo-Hacia-Arriba.

Con el enfoque “de-abajo-hacia-arriba” se pretende estimar las ineficiencias operacionales para poder determinar el límite inferior de la productividad óptima. Se debe recordar que las ineficiencias no se pueden medir con exactitud.

También hay que recordar que el efecto en la productividad debido a las ineficiencias operacionales se puede reducir con la gestión y capacidades del administrador de la obra, es decir, los factores relacionados a estas ineficiencias están al alcance de la administración de obra. Es por esta razón que para estimarlas se realiza un análisis cuantitativo. En el trabajo de Kisi, K. P. et al (2014) se especifica el procedimiento a seguir. Éste requiere el uso de un modelo de eventos discretos (DES) para simular el proceso observado en terreno de la operación analizada. Se confeccionan dos escenarios: (1) actual, y (2) artificial. El escenario actual es usado para validar el modelo, y el escenario artificial se usa para estimar el límite inferior de la productividad óptima.

Además, se debe encontrar el valor de la productividad actual alcanzada en terreno, el cual se puede medir de la forma que se estime conveniente, siempre y cuando se asegure un grado de precisión y confiabilidad aceptable.

En la figura 16 se muestra un esquema general de cómo se encuentra el límite inferior de la productividad óptima.



Figura 16: Esquema del Enfoque De-Abajo-Hacia-Arriba. (Fuente: Kisi, K. P., 2015).

3.2.1.1 *Determinación de la Productividad Actual.*

Cualquier metodología o sistema que sirva para medir de forma precisa la productividad de la mano de obra observada en terreno servirá para encontrar el valor de la productividad actual. No se especifica ningún método en particular en los trabajos de Kisi, K. P. (2015) y Kisi, K. P. et al (2014).

Con la metodología elegida se debe poder determinar la cantidad de unidades instaladas, las cuales se deben corresponder con el avance de la tarea analizada. Además, se debe determinar el tiempo que los trabajadores emplean en instalar esta cantidad de unidades. Finalmente, con la cantidad de trabajadores involucrados en la realización de la tarea, se podrá calcular el valor de la productividad actual según la siguiente ecuación:

$$PA = \frac{U_{inst}}{T_t * H_t}$$

Donde:

PA = productividad actual.

U_{inst} = unidades instaladas.

T_t = tiempo total empleado en concretar el avance.

H_t = cantidad de trabajadores involucrados en concretar el avance.

De esta forma se obtendrá un valor para la productividad actual expresado en unidades instaladas por unidad de tiempo-hombre (por ej.: metros cuadrados/hora-hombre).

3.2.1.2 *Estimación de las Ineficiencias Operacionales: Simulación de Eventos Discretos (DES).*

En el trabajo de Kisi, K. P. et al (2014) y Kisi, K. P. (2015) se especifica el uso de un modelo de Simulación de Eventos Discretos (DES) para estimar las pérdidas debido a las ineficiencias operacionales. El objetivo es simular el proceso observado para después poder diferenciar las acciones contributivas de las no-contributivas.

En primer lugar, se debe desagregar la operación analizada en niveles más detallados siguiendo una estructura jerárquica de desglose, es así que la actividad se desagregará en tareas, y la tarea en acciones. Estas tareas deben ser medibles y sus duraciones se modelarán con curvas de distribución de probabilidades que se condigan con los tiempos observados en terreno para cada tarea.

Después, se debe modelar la secuencia de trabajo para simular la operación analizada. Para validar el modelo es necesario comparar los resultados de la simulación con los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en terreno, con esto se obtiene un primer escenario de simulación: el escenario actual.

Los datos usados para llevar a cabo este proceso son los obtenidos de los estudios de tiempo realizados para medir los tiempos contributivos y no-contributivos de las tareas que componen la operación a analizar. Se entiende por trabajo contributivo a toda acción o tarea que contribuye de forma directa o indirecta al cumplimiento del trabajo asignado. Se entiende por trabajo no-contributivo a toda acción asociada con situaciones no productivas, como que los trabajadores revisen sus teléfonos celulares, se tomen descansos no programados, conversar, entre otras.

Una vez validado el modelo, se debe correr de nuevo, pero esta vez eliminando las acciones no-contributivas, de esta forma se genera un escenario artificial en el cual las duraciones simuladas decrecen. Es así que, para este escenario, se obtienen niveles de productividad mayores.

Finalmente, las pérdidas debido a las ineficiencias operacionales corresponden a la diferencia entre la productividad obtenida para el escenario artificial y actual, con lo cual se puede determinar el límite inferior de la productividad óptima de la mano de obra.

3.2.2 Enfoque De-Arriba-Hacia-Abajo.

Con el enfoque “de-arriba-hacia-abajo” se busca estimar el límite superior de la productividad óptima considerando el efecto de las ineficiencias del sistema. Éstas no pueden ser medidas directamente en terreno y son causadas por factores que están fuera del control de la administración de obra, por lo tanto, deben ser evaluadas con un análisis cualitativo. En el trabajo de Kisi, K. P. et al (2014) se propone un Modelo Cualitativo de Factores (Qualitative Factor Model, QFM) para estimar el efecto de las ineficiencias del sistema y encontrar el límite superior de la productividad óptima. Las entradas usadas en el modelo son puntuaciones de gravedad y probabilidad basado en el juicio de expertos en la materia.

Además, se debe determinar el valor de la productividad frontera. En el trabajo de Mani, N. et al (2014) se propone la metodología para encontrar este valor, la cual se explicará en la sección siguiente.

En la figura 17 se muestra un esquema general de cómo se encuentra el límite superior de la productividad óptima.



Figura 17: Esquema del Enfoque De-Arriba-Hacia-Abajo.
(Fuente: Kisi, K. P., 2015).

3.2.2.1 *Determinación de la Productividad Frontera.*

En el trabajo de Mani, N. et al (2014) se propone un procedimiento de doble enfoque para determinar el valor de la productividad frontera realizando un estudio de tiempos de las tareas que componen la operación analizada, midiendo los tiempos contributivos y no-contributivos de las acciones.

En primer lugar, se debe seguir una estructura jerárquica de desagregación de la operación analizada. La operación o actividad se desglosa en tareas y las tareas en acciones. Al realizar este ejercicio de desagregar la operación a un nivel de detalle mayor, se puede realizar un análisis de tiempos más preciso obteniendo mejores resultados de productividad, ya que las acciones no-contributivas pueden ser eliminadas del análisis. Los tiempos de estas acciones serían considerados dentro de los tiempos de estudio sí se realiza el análisis a un nivel de desglose menor. Por esta razón es realmente importante especificar a qué nivel de detalle se desagregará la operación analizada. En la figura 18 se muestra un esquema de una estructura de desagregación jerárquica.

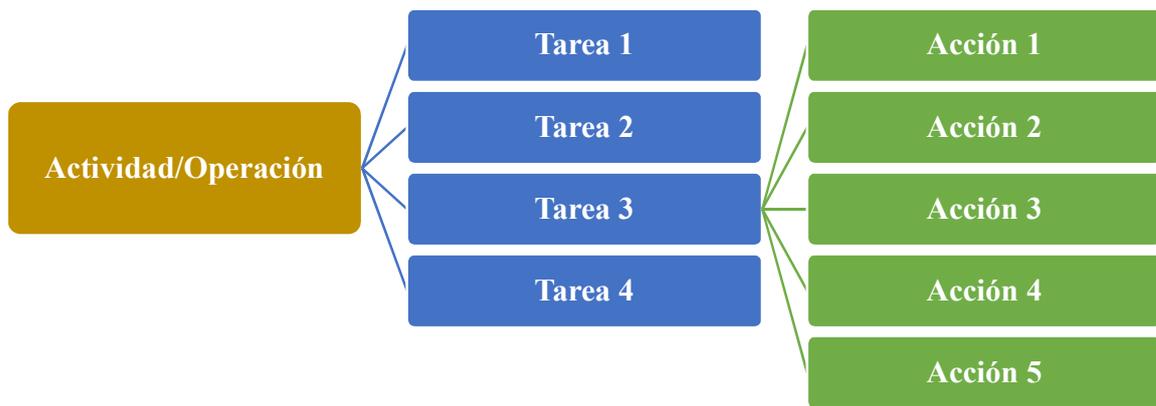


Figura 18: Estructura Jerárquica de Desagregación o Desglose.

Una vez desagregada la actividad y tareas a analizar, se realiza el estudio de tiempos de las acciones que la componen midiendo los tiempos de las acciones contributivas y no-contributivas. Estos datos servirán para calcular los niveles de productividad requeridos.

Para calcular la productividad frontera Mani, N. et al (2014) propone dos enfoques: (1) duraciones observadas, y (2) duraciones estimadas.

3.2.2.1.1 Enfoque 1: Duraciones Observadas

Se mide el tiempo contributivo y no-contributivo de las tareas para la operación a analizar. En un análisis posterior, sólo se toman en cuenta los tiempos contributivos, por lo que será necesario registrar solo estos en una planilla. Una vez que se haya hecho todas las mediciones del estudio de tiempos y se cuente con todos los tiempos contributivos de las tareas que componen la operación a analizar, se seleccionan los menores tiempos observados para cada tarea. La “menor duración posible observada” para la operación se calcula sumando los menores tiempos de cada tarea. Entonces, la productividad se puede calcular dividiendo el número de unidades producidas por la “menor duración posible observada”. El valor obtenido es una estimación de la productividad frontera.

3.2.2.1.2 Enfoque 2: Duraciones Estimadas

Dada la baja probabilidad de que se presente en terreno la “menor duración posible observada” para un caso individual, este segundo enfoque propone que se ajusten distribuciones de probabilidad para los datos, y así obtener las menores duraciones estimadas para cada tarea. Se estima el menor tiempo de cada tarea tomando el valor que corresponde al quinto percentil (Prob. = 5%). Al igual que en el enfoque anterior, se considera solo los tiempos contributivos de las tareas. Luego, la “menor duración posible estimada” para la operación se calcula sumando las menores duraciones estimadas para cada tarea. Entonces, la productividad se puede calcular dividiendo el número de unidades producidas por la “menor duración posible estimada”. El valor obtenido es una estimación probabilística de la productividad frontera.

Finalmente, el mayor valor de productividad obtenido a partir de estos dos enfoques será considerado como el valor de la productividad frontera de la mano de obra.

3.2.2.2 Estimación de las Ineficiencias del Sistema: Modelo Cualitativo de Factores (QFM).

En el trabajo de Kisi, K. P. et al (2014) y Kisi, K. P. (2015) se propone el uso de un Modelo Cualitativo de Factores (QFM) para estimar las pérdidas debido a las ineficiencias del sistema. El modelo usa una técnica de puntuación de gravedad y probabilidad de los factores que afectan la productividad de la mano de obra y que están fuera del control del administrador de la obra. Por lo tanto, las pérdidas por las ineficiencias del sistema se calculan según la siguiente ecuación:

$$\Delta'_{is} = \Delta'_{(PF-PO_{LI})} * \sum_{z=1}^n \left[\sum_{i=1}^m \left(\frac{S_i * P_i}{TS_i} \right) \right] * W_z$$

Donde:

Δ'_{is} = estimación de las pérdidas de productividad por ineficiencias del sistema.

$\Delta'_{(PF-PO_{LI})}$ = estimación de la diferencia entre la productividad frontera y el límite inferior de la productividad óptima.

n = número de zonas de trabajo.

z = zona de trabajo.

m = número de factores que afectan la productividad de la mano de obra.

i = factores de ineficiencias del sistema en cada zona de trabajo z .

S_i = puntuación de gravedad del factor de productividad individual i .

P_i = probabilidad del factor de productividad individual i .

TS_i = puntuación total de gravedad (suma de las puntuaciones de gravedad para todos los factores de productividad).

W_z = peso relativo de cada zona de trabajo z .

Se aplica un ranking de puntajes de gravedad para cada factor según las siguientes definiciones cualitativas:

- 0 = Ningún impacto
- 1 = Impacto muy bajo
- 2 = Impacto bajo
- 3 = Impacto medio
- 4 = Impacto alto
- 5 = Impacto muy alto

Se usan probabilidades para definir la frecuencia en que los factores estarían presentes en la obra durante el trabajo.

Para recolectar la información de la gravedad y probabilidad de los factores presentes en la obra asociados a las ineficiencias del sistema, se confecciona un cuestionario que es contestado por

las personas responsables de la ejecución de la operación y que estén involucradas en la realización de ésta.

El factor W_z considera el peso relativo de cada zona de trabajo, ya que, si en cierta zona de trabajo se realiza una mayor cantidad de tareas, evidentemente ésta afecta de forma mayor a la productividad total de la operación analizada.

El modelo considera en su cálculo la estimación de la diferencia entre la productividad frontera y el límite inferior de la productividad óptima, por lo que es necesario conocer estos dos valores. La determinación de la productividad frontera se explica en la sección 3.2.2.1. La forma de calcular las ineficiencias operacionales y, por lo tanto, de determinar el límite inferior de la productividad óptima se explica en la sección 3.2.1.2.

El hecho de considerar la estimación de la diferencia entre la productividad frontera y el límite inferior de la productividad óptima recae en que el análisis del modelo QFM debe considerar todos los casos, incluyendo el peor escenario. Esto se podría dar si todas las ineficiencias del sistema están presentes y todas tienen un impacto significativo en la productividad de la mano de obra. Si esto ocurre el máximo nivel de productividad alcanzable en terreno solo se podría lograr eliminando las ineficiencias operacionales, de este modo el límite superior e inferior se igualarían, y, por lo tanto, la productividad óptima se calcularía de forma trivial igualándose a los límites.

Finalmente, restándole a la productividad frontera las pérdidas debido a las ineficiencias del sistema, se puede obtener el límite superior de la productividad óptima de la mano de obra.

3.2.3 Estimación de la Productividad Óptima.

Una vez determinado los límites superior e inferior de la productividad óptima con los dos enfoques propuestos, se puede determinar la productividad óptima. Estos dos límites determinan el rango en el cual debería encontrarse el valor de la productividad óptima. Siguiendo lo especificado en el trabajo de Kisi, P. K. et al (2015), la mejor estimación para la productividad óptima se toma del promedio de los límites encontrados. Con esto, los administradores de obra tienen una mejor forma de estimar la productividad de sus operaciones comparando la productividad actual vs óptima, en vez de la actual vs histórica o vs otra empresa.

Un resumen de la metodología adoptada en este trabajo para proponer el cambio de enfoque y realizar un aporte innovador, se esquematiza en la figura 19.

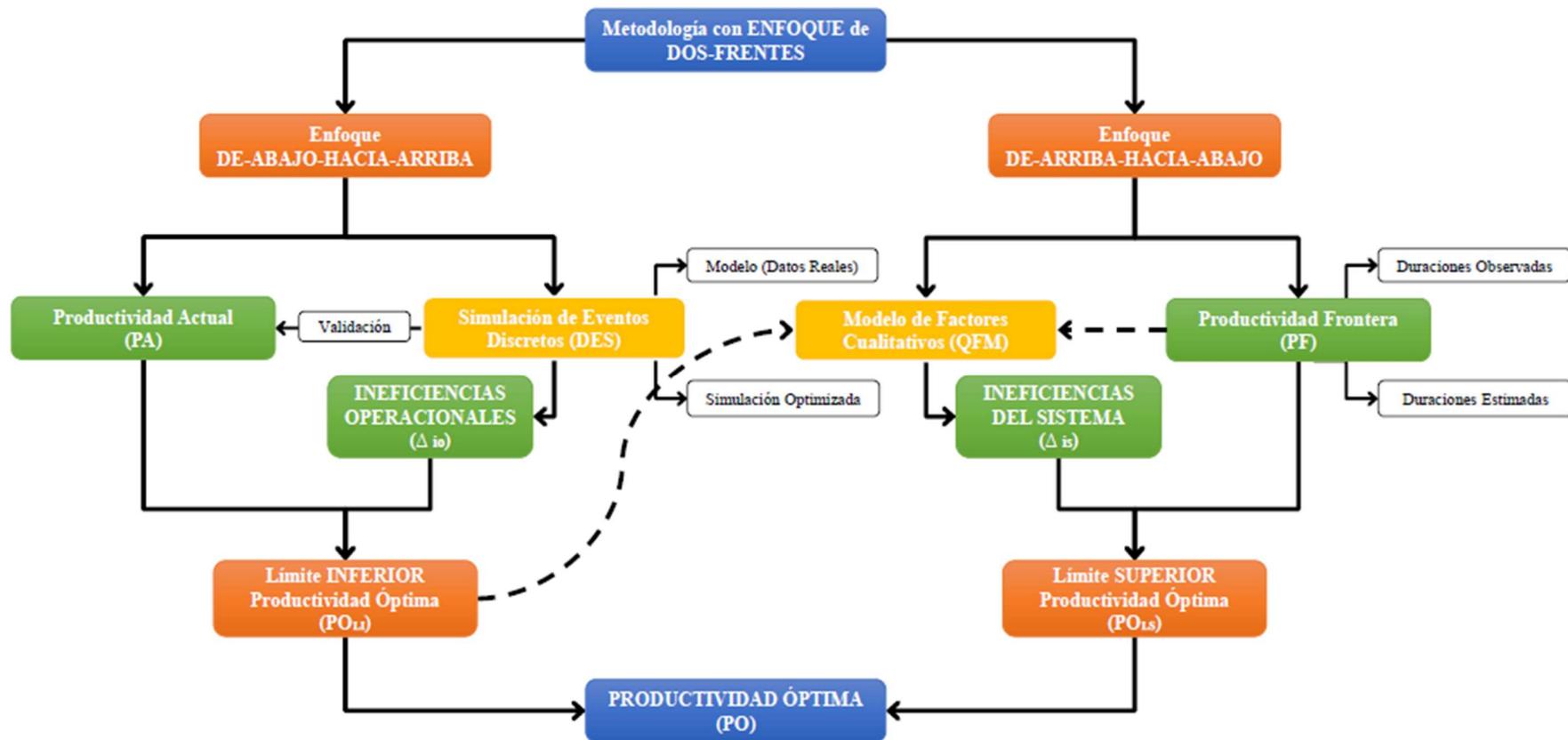


Figura 19: Esquema General de la Metodología de 2-Frentes.

4 MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD LABORAL EN OBRA

Uno de los temas más relevantes en la supervisión y administración de una obra de construcción es la forma de cuantificar diversos factores de interés que se presentan en terreno (como la seguridad, calidad, rendimientos, entre otros), para que así se puedan tomar decisiones con datos e información objetiva sobre la realidad que se vive en la obra.

En este sentido, uno de los mayores desafíos de la administración de la obra es poder realizar una medición certera de los niveles de productividad que se presentan en terreno. Una adecuada medición de la productividad permitirá determinar la eficiencia de los procesos y secuencias constructivas que se han decidido llevar a cabo. De esta forma se podrá evaluar si es necesario implementar alguna medida de mejora para alcanzar los niveles mínimos de productividad que permitan cumplir con los requerimientos de plazos establecidos al inicio del proyecto.

La mayoría de los autores considera que la manera más precisa de cuantificar la productividad de la mano de obra en operaciones de construcción es midiendo la “cantidad de unidades instaladas por hora-hombre”, es decir, cuántas unidades de cierto insumo (m³ de hormigón, kg de acero, m² de moldaje, etc.) son instaladas por cierta cantidad de trabajadores cada hora. Por este motivo es que, en este trabajo, se adopta esta unidad para cuantificar la productividad de la mano de obra.

El presente capítulo ahonda en la segunda línea de acción propuesta al inicio de este trabajo de memoria: “intervención a través de la medición”. Se abordan las distintas formas que existen de realizar mediciones de datos que permiten determinar la productividad de la mano de obra. Es así que se describen las principales técnicas y tecnologías utilizadas en la recolección de datos de terreno, explicando las metodologías y/o sistemas de medición.

4.1 Técnicas de Medición de Productividad de la Mano de Obra.

Al considerar la definición de productividad como: la relación entre la producción o avance obtenido de la operación (salidas u *outputs*), y la materia prima usada para obtener dicha producción (entradas o *inputs*), es claro que lo que se necesita medir para determinar el valor de la productividad son, precisamente, estas dos variables. Como ya se mencionó, para el presente trabajo de memoria, se considera como *outputs* a las unidades de cierto insumo instaladas (p.ej. m² de moldaje), y como *inputs* las horas-hombre empleadas en la operación para instalar dicha cantidad de unidades.

Generalmente, medir los *outputs* no es una tarea complicada, ya que las cantidades a las que se hace referencia se obtienen de la cubicación de los planos del proyecto. Sin embargo, medir los *inputs* es una tarea más compleja. La unidad considerada para esta variable es la “hora-hombre”, es decir, el tiempo empleado por trabajador en la labor encomendada. La correcta medición de estos tiempos muchas veces puede ser una tarea dificultosa, ya que medir de forma certera en qué emplean el tiempo los trabajadores, y al mismo tiempo no interferir con sus labores, resulta ser

muy complicado, costoso y una tarea consumidora de tiempo. Las técnicas y sistemas de medición se enfocan principalmente en encontrar una forma eficiente para medir estos tiempos.

En general, los datos necesarios para medir la productividad de la mano de obra no se pueden obtener de forma exacta, ya que en la práctica muchas veces esto puede resultar irrealizable. Es por esto que existen varias formas de recolectar datos que pueden ser usadas para evaluar y medir la productividad de la mano de obra.

Las distintas formas de medir se pueden agrupar en técnicas de medición según la naturaleza de los datos que recolectan. Se puede identificar principalmente 2 tipos de técnicas de medición usados en construcción: Sistemas de Reconocimiento de Actividades (SRA) y Sistemas de Localización en Tiempo-Real (SLTR). Cada una de estas técnicas consta de varias alternativas para llevarse a cabo y éstas serán detalladas en las secciones siguientes. En la figura 20 se muestra un esquema de las técnicas de medición y los principales sistemas implementados en terreno para llevarlas a cabo.



Figura 20: Técnicas de Medición.

4.1.1 Sistemas de Reconocimiento de Actividades [SRA].

Esta técnica apunta a reconocer las acciones y movimientos de los trabajadores identificando si el trabajo que están realizando corresponde a trabajo contributivo o no-contributivo. Los sistemas de medición que componen esta técnica se centran en medir el tiempo que los trabajadores emplean en acciones contributivas y/o no-contributivas.

El trabajo contributivo corresponde a todas las acciones que son necesarias de ejecutar para poder llevar a cabo la tarea encomendada a un trabajador, es así que se pueden identificar dos tipos de acciones contributivas: acciones que agregan valor y acciones de apoyo. Las acciones que agregan valor son todas aquellas que contribuyen de forma directa, en el caso del área de la construcción, al progreso de la estructura que se esté construyendo, como por ejemplo instalar enfierraduras, moldajes o verter hormigón. Las acciones de apoyo son todas aquellas que su realización es necesaria, pero que no contribuyen de forma directa al avance de la estructura, como por ejemplo escuchar instrucciones de los capataces, inspeccionar la zona de trabajo, trasladar equipos y materiales, labores de limpieza de la zona de trabajo, herramientas o materiales, entre otras. En cambio, el trabajo no-contributivo corresponde a todas esas acciones que no contribuyen al trabajo encomendado a un trabajador y, por lo tanto, no le agregarán valor al progreso de la construcción, ejemplos de estas acciones son tomarse descansos no programados, hablar/enviar mensajes de texto por el teléfono celular, conversar, fumar, tomar agua, entre otras.

Se cuenta principalmente con 3 sistemas de medición para esta técnica, los cuales se muestran en la figura 21 y se explican en las secciones de más adelante.

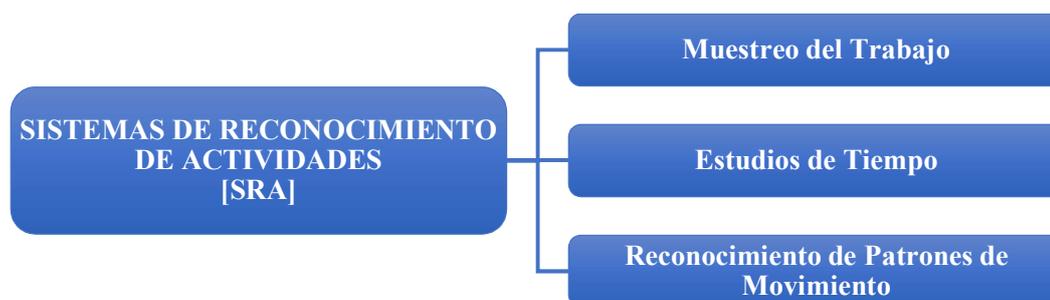


Figura 21: Sistemas de Reconocimiento de Actividades [SRA].

4.1.1.1 Muestreo del Trabajo.

El muestreo del trabajo consiste en realizar una gran cantidad de observaciones de forma periódica, a trabajadores, máquinas o procesos que estén involucrados en cualquier operación de construcción, durante un período de tiempo determinado, para poder recolectar datos que permitan establecer qué tan productiva es la operación. El detalle de cómo implementar el procedimiento del muestreo del trabajo se explica en el trabajo de Dozzi, S. P. y AbouRizk, S. M. (1993).

El muestreo del trabajo está basado en la teoría del muestro estadístico, ya que la cantidad de tiempo que se emplea en la recolección de datos es limitada y, además, la cantidad de trabajadores observados es, por lo general, una pequeña muestra del total de los trabajadores en obra. Por lo tanto, en vez de tratar con toda la fuerza laboral, sólo se observa y analiza una muestra del total de los trabajadores y se genera un límite de confianza en torno a esta muestra. Según Dozzi, S. P. y AbouRizk, S. M. (1993) para que el procedimiento sea efectivo, el observador debe realizar una gran cantidad de observaciones, el número mínimo de observaciones debe ser de 384, este número se determina a partir de la teoría del muestreo estadístico, y corresponde a un error de muestreo del 5% y un nivel de confianza del 95%.

Dozzi, S. P. y AbouRizk, S. M. (1993) establece que el principal objetivo del muestreo del trabajo es observar una operación por un tiempo limitado y, a partir de las observaciones, inferir la productividad de la operación. Además, en el trabajo de Kisi, P. K. (2015) se cita a Stathakis (1988), el cual propone 3 objetivos para el muestreo del trabajo:

- 1) Determinar cómo se emplea el tiempo por los trabajadores.
- 2) Identificar las áreas problemáticas que causan retrasos y poner atención en las áreas que más lo necesiten.
- 3) Establecer una medida de referencia para mejoras y que sirva como desafío para la administración y mano de obra.

Las principales ventajas de este método son: su simplicidad, no se requiere de equipos especiales para llevar a cabo el método, rápida disponibilidad de los resultados, bajo costo, no interfiere con las labores de los trabajadores, y muy útil para estudios de operaciones no-repetitivas.

Sus principales desventajas son: procedimiento manual que requiere emplear observadores, mucho tiempo para la realización del método, y propenso al error e imprecisiones.

Para la aplicación de esta técnica no se requiere la utilización de ninguna tecnología o dispositivo en particular. Sin embargo, nuevas metodologías están apuntando en la implementación de tecnología para no tener que realizar las observaciones en terreno o para automatizar el procedimiento. Es así que, por ejemplo, se puede usar registros de videos para realizar las observaciones. También se ha incursionado en el uso de acelerómetros para automatizar el proceso de recolección de datos.

4.1.1.2 Estudios de Tiempo.

Los estudios de tiempo se definen como el proceso de determinar el tiempo requerido por un operador calificado, bien entrenado y que trabaja a un ritmo normal, para hacer una tarea específica. La información detallada paso a paso del procedimiento que se debe llevar a cabo se explica en el trabajo de Bernold, L. E. y AbouRizk, S. M. (2010).

Kisi, P. K. (2015) resume el procedimiento en los siguientes pasos:

- 1) Dividir la operación o el ciclo de trabajo en pequeñas sub-tareas o acciones que son ejecutadas repetitivamente.
- 2) Decidir el número de repeticiones de la operación.
- 3) Registrar toda la información pertinente (por ejemplo: fecha, temperatura, etc.).
- 4) Medir las duraciones de las acciones midiendo directamente con un cronómetro al observar el accionar del trabajador o viendo registros de video.
- 5) A partir de los datos registrados, calcular los promedios de los “tiempos observados” de las duraciones de las tareas repetidas.
- 6) Evaluar a la persona observada, en términos de qué tanto su desempeño difiere de un ritmo de trabajo promedio, asignándole un factor de calificación de desempeño.

- 7) Calcular los “tiempos normales” de cada elemento o sub-tarea considerando el producto del promedio del “tiempo observado” con el factor de calificación de desempeño.
- 8) Sumar todos los “tiempos normales” de cada elemento o sub-tarea para calcular el “tiempo normal” de la operación.
- 9) Tomar en cuenta condiciones especiales para los factores que existieron durante la actividad observada para calcular un “tiempo estándar”.
- 10) Calcular el “tiempo estándar” con la información disponible de los pasos 8) y 9).

Se obtiene el “tiempo observado” de la medición directa de la duración de ejecución de la tarea o acción realizada por el individuo observado. El “tiempo normal” se obtiene del producto entre el “tiempo observado” y el factor de calificación de desempeño de la persona observada. El “tiempo estándar” corresponde al “tiempo normal” corregido por factores relacionados a condiciones especiales que se presenten durante la observación de la actividad.

4.1.1.3 Reconocimiento de Patrones de Movimiento.

Los sistemas de reconocimiento de patrones consisten en procesos autónomos que utilizan métodos de decisión y estimación estadística (Fukunaga, K., 2013; Giacomantone, J., et al 2014). Su principal objetivo es descubrir las particularidades inherentes a un cierto objeto o fenómeno, describiendo y seleccionando las características fundamentales que permitan clasificarlos en una categoría o clase determinada. Se entenderá por clase al grupo de características que describe una cierta particularidad del objeto o fenómeno estudiado.

Estos sistemas hacen un reconocimiento de ciertas muestras y/o repeticiones de datos que se pueden asociar a una clase a partir de lo que se ha medido o registrado, para así relacionarlo con una cierta particularidad del objeto o fenómeno estudiado. Las relaciones a dicha clase se realizan a partir de la extracción y evaluación de un conjunto de características fundamentales pertenecientes a la muestra y su asociación a las propiedades de una clase con características similares, así, por ejemplo, en un caso simple de reconocimiento de figuras geométricas, se pueden usar los datos de la cantidad de lados y vértices como las características evaluadas que permiten asociar la muestra a un triángulo, cuadrilátero u otro.

Los principales sistemas utilizados para el reconocimiento de patrones son los métodos de clasificación supervisada, los cuales se basan en el diseño de funciones que permiten clasificar muestras en un número finito de categorías previamente determinado. Para definir las funciones del clasificador, se usan sistemas de entrenamiento que consisten en procesos autónomos en los que se utilizan muestras cuya categoría de clasificación ya es conocida. Estos procesos autónomos extraen las características fundamentales de las muestras, ofrecen un resultado de clasificación y, usando la categoría real de la muestra, se realizan correcciones a las funciones del clasificador en las decisiones involucradas que provocaron la falla de clasificación. De esta manera el clasificador presentará mejores resultados de clasificación con nuevas muestras. Entre los tipos de algoritmos utilizados para la fase de entrenamiento de estos clasificadores se incluye: redes neuronales

(Dhilipan, A., et al 2014), SVM (Support Vector Machine) (Mavroforakis, M. E. y Theodoridis, S., 2005), clasificador de Bayes (Cheng, J. y Greiner, R., 1999), entre otros.

En el área de la construcción, se han propuesto sistemas de reconocimiento de patrones de movimiento para reconocer las actividades que realizan los trabajadores, con el objetivo de medir y controlar los niveles de productividad del personal. Joshua, L. y Varghese, K. (2011 y 2014) han investigado la utilización de acelerómetros para realizar el reconocimiento de las actividades que los trabajadores ejecutan y así automatizar el procedimiento del muestreo del trabajo. En sus trabajos se utilizó árboles de decisión para asociar las mediciones de los acelerómetros a 3 categorías distintas de eficiencia: “efectivo”, “contribuyente” y “no efectivo”. Los resultados de clasificación que obtuvieron presentaron diferentes grados de precisión dependiendo de la labor evaluada. Obtuvieron una precisión de 90,07% para medir la productividad de enfierradores y un 77,74% para la de los carpinteros. Estos sistemas si bien aún requieren mejoras en la precisión de sus clasificadores, muestran resultados coherentes que confirman el potencial de utilizar sistemas de reconocimiento de patrones para medir la productividad en una obra.

Otro método de reconocimiento de actividades es el propuesto en los trabajos de Mani, N., et al. (2014) para realizar estudios de tiempo a partir de registros de video. El método se basó en el uso de un modelo simplificado del cuerpo humano, el cual consistió en figuras de la silueta de un trabajador, desarrolladas en AutoCAD, que permitieron describir los movimientos de este trabajador. Este modelo resultó ser lo suficientemente preciso para cumplir con los propósitos de identificar y clasificar las acciones del trabajador.

4.1.2 Sistemas de Localización en Tiempo-Real [SLTR].

Esta técnica apunta a identificar la posición actual de cierto objeto, es decir, reconocer la posición del elemento en el mismo momento en que está en esa posición. Además de hacer este reconocimiento en tiempo-real, estos sistemas también hacen un seguimiento de la trayectoria del objeto pudiendo reconocer cuando se está moviendo y cuáles son los desplazamientos que realiza el objeto. Con esta información es posible hacer una medición indirecta de la productividad de cierta operación, ya que se podría identificar las trayectorias que siguen ciertos objetos de interés (trabajadores, equipos, herramientas, entre otros), y con esto realizar interpretaciones que permitan determinar niveles de productividad.

Se cuenta principalmente con 5 métodos para el cálculo de la posición de un objeto, los cuales se muestran en la figura 22 y se explican en las secciones de más adelante.



Figura 22: Sistemas de Localización en Tiempo-Real.

4.1.2.1 Punto de Acceso Más Cercano al Terminal.

El método de localización por punto de acceso más cercano al terminal o de localización por celda (en inglés, *Cell Global Identity* o *Cell Identification*) es aquel que la posición del objeto se obtiene en función del punto de acceso o de la identidad de la celda que da cobertura al área en que se encuentra el dispositivo emisor de señales.

La posición del objeto se obtiene identificando el punto de acceso o celda en que éste se localice. La celda corresponde al área de cobertura de un receptor. La precisión de este método depende del radio de la celda, por lo tanto, ésta disminuye si el área de cobertura de la celda es muy amplia. La precisión del método mejora si se aumenta la densidad de celdas de las que se dispone. Sin embargo, los niveles de precisión que se logran con este método son bastante bajos, ya que los sistemas de comunicación que se utilizan para este método se ven fuertemente afectados por el medio de propagación de las señales, obstáculos, elementos metálicos, interferencia, reflexión y bloqueo de las señales, por lo que se recomienda que este método se aplique como apoyo a otros sistemas de localización. Las tecnologías de RFID o WLAN pueden utilizar esta técnica para funcionar como sistemas de localización.

4.1.2.2 Triangulación.

El método de la triangulación es una técnica que se basa en medidas angulares y se apoya en argumentos trigonométricos para encontrar las coordenadas de un punto. Para determinar la posición de un punto se debe conocer la distancia entre dos puntos de referencia y con la medida de los ángulos del triángulo que generan los tres puntos en el sistema se puede establecer la posición relativa del objeto respecto a los puntos de referencia establecidos, si se conocen las coordenadas de los puntos de referencia se puede establecer la posición absoluta del objeto.

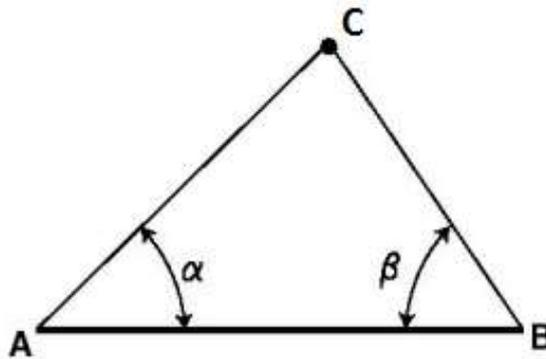


Figura 23: Método de Triangulación.

En la figura 23, A y B son puntos con coordenadas conocidas, por lo que la distancia entre estos también se conoce. Midiendo los ángulos α y β se puede calcular la posición relativa de C, además, como las coordenadas de A y B son conocidas, se puede establecer la posición absoluta de C.

Existen dispositivos que pueden realizar este procedimiento de forma automática, lo que permite establecer la posición de objetos en tiempo real. Además, estos sistemas pueden realizar este proceso de forma continua para realizar el seguimiento de objetos. Tecnologías como los sistemas de video o GPS usan esta técnica para establecer la posición de objetos.

4.1.2.3 Trilateración.

El método de la trilateración es muy similar al de la triangulación, sin embargo, esta técnica se basa en medidas de distancias entre un emisor de señales de posición desconocida y puntos de referencia con receptores de señal. Se apoya en argumentos geométricos para encontrar las coordenadas de un punto.

Para determinar la posición de un objeto se debe conocer la distancia a por lo menos tres puntos de referencia. La distancia por lo general se determina a partir de la velocidad de propagación de las señales que envía el emisor. Para esto, es necesario efectuar medidas de los tiempos de llegada o TOA (en inglés, *Time of Arrival*) a los receptores. El sistema tiene que estar correctamente sincronizado para poder efectuar correctas medidas de los tiempos. Conocidas las posiciones de los puntos de referencia y con las distancias al objeto de posición desconocida se realiza una construcción de circunferencias, el punto en donde las tres circunferencias se intersecan corresponde a la posición desconocida.

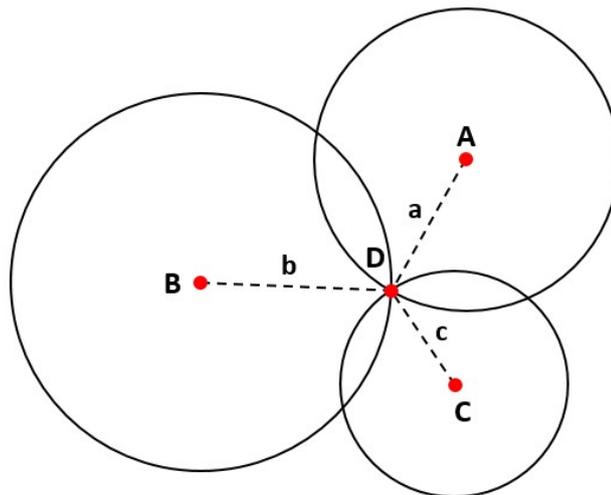


Figura 24: Método de Trilateración.

En la figura 24, el punto de D tiene coordenadas desconocidas. Se conocen las distancias a las que está el punto D de A, B y C, por lo que se pueden construir tres circunferencias con radio igual a la distancia entre D y estos puntos de referencia. Calculando la intersección de las tres circunferencias se puede determinar las coordenadas del punto D.

Existen dispositivos que realizan estos cálculos de forma automática, lo que les permite establecer la posición del portador en tiempo real. Además, estos dispositivos tienen la capacidad de realizar este proceso de forma continua, lo que permite realizar seguimientos a objetos en tiempo real. El sistema de GPS se basa fundamentalmente en esta técnica para encontrar la posición de los dispositivos receptores de señales que emplea.

4.1.2.4 Multilateración (TDOA).

La multilateración es una técnica de localización que se basa en la medida de la diferencia en los tiempos de llegada o TDOA (en inglés, *Time Difference of Arrival*) de una señal proveniente de algún emisor y que es recibida en tres o más localizaciones de posición conocida.

La señal emitida llega a los diferentes receptores en diferentes instantes de tiempo, esto se debe a la distancia que tienen con el emisor. Esta diferencia de tiempo es la que se conoce como TDOA. Con la información de los TDOA se pueden calcular soluciones geométricas en donde debería localizarse el emisor. Con dos receptores y un TDOA se genera una solución que indica un espacio geométrico hiperbólico con infinitas posibilidades para la posición del emisor, más específicamente se genera un hiperboloide sobre el cual debería ubicarse el emisor. Por lo tanto, aumentando el número de receptores se aumenta la cantidad de TDOA, aumentando la cantidad de espacios geométricos en que debería estar localizado el emisor. La posición final del emisor se determina a partir de la intersección de los espacios geométricos calculados.

Esta técnica ha sido aplicada principalmente con fines de vigilancia civil y militar para ubicar aviones y vehículos con precisión. Este método cuenta con la ventaja de que no depende del

uso de medidas de ángulos como la triangulación; o de distancias y medidas de tiempo de viaje de las señales, además de no necesitar de un reloj común para determinar los tiempos, como la trilateración; sólo es necesario conocer la diferencia en las llegadas de éstas.

Todos los sistemas de comunicación que se basen en la emisión y recepción de señales de cualquier tipo, por ejemplo, el caso de las tecnologías de radiofrecuencia, podrían utilizar esta técnica para realizar el seguimiento de algún objeto. Además, se cuentan con dispositivos capaces de realizar el proceso de forma automática y en tiempo real.

4.1.2.5 *Intensidad de Señal.*

El método por intensidad de señal o RSS (en inglés, *Received Signal Strength*) se basa en la atenuación que sufren las señales que envía un emisor debido al medio de propagación en el que se encuentra. En el caso del espacio libre, la atenuación de la potencia es directamente proporcional al cuadrado de la distancia a la que se encuentra el emisor.

El método consiste en medir la potencia con la que llega la señal a los receptores, este valor se conoce como RSSI (en inglés, *Received Signal Strength Indicator*). Con este indicador se puede estimar la distancia a la que se encuentra el emisor, por lo tanto, la manera de determinar la posición de éste es a través de la trilateración. Este hecho hace necesario que se conozca la distancia del emisor a por lo menos tres receptores de referencia.

Este método es una alternativa a la medición de distancia a través de los tiempos de llegada o TOA. Por lo tanto, como este método se basa en la emisión y recepción de señales, los inconvenientes que presentan se deben a el medio de propagación de las señales, obstáculos, elementos metálicos, interferencia, reflexión y bloqueo de las señales, además, cuanto mayor es la distancia del emisor a los puntos donde se ubican los receptores, es mayor el error en la medición de la potencia de la señal. Para mejorar la precisión del método se suele trabajar con modelos de propagación avanzados o con mapas de intensidad de señal. Las tecnologías de RFID o WLAN usan este método para funcionar como sistemas de localización.

4.2 Principales Tecnologías Empleadas en la Medición Automatizada de Datos de Terreno.

En una construcción tener un control de los rendimientos que se alcanzan en la obra resulta ser clave a la hora de cumplir con los plazos establecidos al inicio del proyecto. Medir de forma certera estos rendimientos le permitirá a la administración de la obra conocer los niveles de productividad que se están logrando con su gestión y contrastar éstos con los niveles de productividad que se estiman al inicio del proyecto.

Durante los últimos años, con el progreso tecnológico y la mayor accesibilidad a estas tecnologías debido a una disminución en sus costos, se ha ido progresando en la forma en que se recolectan los datos necesarios para estimar los niveles de productividad. Se ha ido evolucionando desde un enfoque más manual y que requiere de la presencia en terreno de personal que realice

observaciones in-situ de las labores de los trabajadores, a un enfoque más automatizado en donde se logre realizar esta recolección de datos con la ayuda de las tecnologías disponibles usando diferentes dispositivos.

Se han realizado varias investigaciones y estudios sobre la implementación de diferentes alternativas tecnológicas en construcción obteniéndose diversos resultados en cuanto a la eficiencia e implementabilidad de cada una de ellas. Basándose en la revisión bibliográfica de Li, H. et al. (2015) y en los trabajos de investigación de Joshua, L. y Varghese, K. (2011 y 2014) se realizó una revisión bibliográfica de varias tecnologías que están usándose o que han sido investigadas para su uso en construcción. Se explicará brevemente en qué consisten en las siguientes secciones. En la figura 25 se muestra un esquema con las tecnologías incluidas en la revisión bibliográfica realizada.



Figura 25: Tecnologías usadas para la Medición.

4.2.1 Identificación por Radio-Frecuencia (RFID).

La identificación por radiofrecuencia o RFID (en inglés, *Radio Frequency Identification*) es una tecnología de almacenamiento y recuperación de datos remoto e inalámbrico. Perteneció a la familia de posicionamiento por radiofrecuencia (RF). El principal objetivo es transmitir la “identidad” de un objeto mediante la emisión y recepción de señales de ondas de radio. Por lo tanto, se usan técnicas como la intensidad de señal o Cell-Identification para determinar la posición de un objeto.

Este sistema de comunicación necesita de 3 elementos. En primer lugar, se necesita de unos dispositivos de almacenamiento denominados tarjetas, tags de RFID o transpondedor, en donde se guarda la información de “identidad” del objeto (código único asociado al objeto). El dispositivo está compuesto por una antena, un transductor de señales de radiofrecuencia y un chip de almacenamiento de información. La antena le permite al chip transmitir la información de identificación que almacena. Existen 2 tipos de tarjetas: pasivas y activas, se diferencian en que las pasivas no requieren de una fuente de energía que las alimente éstas se activan cuando un lector se encuentra cerca y les suministra energía; en cambio, las activas requieren de algún tipo de alimentación de energía, lo más común son pequeñas pilas.

En segundo lugar, se necesita de un lector de RFID, el cual envía señales de forma periódica para reconocer si dentro de su rango de alcance se encuentra algún tag de RFID, si capta la señal de alguna tarjeta extrae su información de identificación y se la deriva a un subsistema de procesamiento de datos. Este dispositivo está compuesto por una antena, un tranceptor y un decodificador. Finalmente, se necesita de un subsistema de procesamiento de datos o middleware RFID el cual procesa y almacena los datos necesarios para realizar la identificación del objeto.

El objetivo principal de este sistema es similar al que tienen los códigos de barra, es decir, poder hacer una identificación de los objetos asociados a un código que se almacena en la memoria de la tarjeta. Como esta tecnología ha sido desarrollada por varias décadas (existe desde los años 40's) los progresos le han permitido a esta tecnología mejorar sus características, es así que la información que es capaz de almacenarse en las tarjetas de RFID ya no se restringe solamente a un código de identidad, sino que se extiende a almacenar mayor información relacionada al objeto. Además, se ha expandido su uso al traqueo y seguimiento de objetos, identificando la trayectoria que siguen los objetos asociados a una tarjeta de RFID en tiempo real.

Se han realizado muchas investigaciones con respecto a la aplicabilidad de este sistema de comunicación como un sistema de posicionamiento en tiempo real obteniéndose resultados bastante satisfactorios como complemento a operaciones de construcción de tuberías o para el seguimiento de equipos, materiales o personas, obteniendo niveles de precisión bastante aceptables (error promedio del orden de 2-3 m.). Sin embargo, el mayor uso que tiene este sistema es para ambientes interiores, como por ejemplo en una fábrica. Esto se debe a que el sistema de lectura y procesamiento de datos requiere de una red local de conexión alámbrica para entregar resultados de posicionamiento más precisos, y, para las características de una obra de construcción, esto se hace muy difícil de implementar y muy costoso. Además, el rendimiento de este sistema se ve afectado por factores como la obstrucción de elementos como paredes o hasta por los mismos trabajadores, y también se ve disminuido por el efecto de elementos metálicos.

4.2.2 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

El sistema de posicionamiento global o GPS es un sistema de navegación mundial desarrollado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos. El sistema está compuesto por 24 satélites que orbitan la Tierra, los cuales sirven de puntos de referencia para el cálculo de posiciones sobre la superficie del planeta mediante las técnicas de trilateración y triangulación con una precisión considerable. El sistema está trabajando las 24 horas del día sin importar las condiciones climáticas. En un principio se desarrolló con fines militares, pero a partir del 2009 el sistema se normalizó para uso comercial y civil.

El sistema de GPS se compone de tres elementos: los satélites que orbitan alrededor de la Tierra, las estaciones terrestres de seguimiento y control, y los receptores de señales de GPS que porte algún usuario. Los satélites orbitan el planeta a una altura de 20.200 km y sus trayectorias son sincronizadas de manera tal que se logra cubrir toda la superficie del planeta. Cada satélite emite continuamente un mensaje de navegación a 50 bits por segundo, emitiendo la señal en dos frecuencias: la señal L1 a 1575,42 MHz, y la señal L2 a 1227,6 MHz. La señal proporciona la hora precisa de acuerdo al reloj atómico a bordo del satélite, el número de semana GPS y un informe del estado del satélite.

Cuando se desea determinar la posición de un objeto, el dispositivo receptor de señales GPS que porta el objeto, localiza de forma automática, como mínimo, tres satélites de la red. El dispositivo calcula el tiempo que demoran en llegar las señales al receptor para así determinar las distancias a las que se encuentran los satélites localizados. Con esta información, usando las técnicas de trilateración y triangulación, se puede determinar la posición relativa con respecto a los satélites. Además, con la información de la posición de cada uno de los satélites que envían a través de la señal que emiten, se puede determinar la posición absoluta del objeto. La precisión del sistema de GPS se basa en la presión para medir el tiempo de viaje de las señales, es por eso que se requiere de relojes muy precisos.

El principal propósito de este sistema es conocer las coordenadas (x, y, z) de un objeto, y, por ende, su posición. Es por esto que el principal uso de estos sistemas en construcción es para el seguimiento de objetos, especialmente de maquinaria pesada, equipos y materiales de construcción. En amplios espacios al aire libre es el método que mejor rendimiento presenta si es que no se prioriza el nivel de precisión. Siguiendo esta línea, se han realizado una serie de estudios al respecto, reportando niveles de precisión variables que van del orden de 10 metros a 3-5 centímetros. Los mejores resultados se han obtenido de sistemas que complementan el uso del GPS con algún otro sistema como el RFID o una red de sensores inalámbricos. La utilización del sistema de GPS mejora su rendimiento cuando se aplica en ambientes exteriores, ya que su precisión se ve afectada si las señales son reflejadas, interferidas o bloqueadas por obstáculos u otras señales, por lo tanto, su uso no es recomendable para ambientes interiores.

La masificación de su uso ha permitido que el costo de estos sistemas haya disminuido. Sin embargo, los sistemas más accesibles no cuentan con un nivel de precisión alto, por lo que es más

adecuado su uso para el seguimiento de trayectorias largas. A la hora de realizar el seguimiento de pequeños desplazamientos, estos sistemas presentan problemas. Un aumento en la precisión se ve reflejado en un importante aumento de los costos.

4.2.3 Banda Ultra-Ancha (UWB).

Esta tecnología pertenece a la familia de transmisión por radiofrecuencia (RF). Es muy similar a los sistemas RFID, solo que la manera de emitir la señal con que se comunican los dispositivos es diferente. Los sistemas de banda ultra-ancha o UWB (en inglés *Ultra-Wide-Band*) emiten una serie de pulsos cortos, muy rápidos y de muy baja potencia que transmiten información en un cierto intervalo de frecuencia, con lo que se logra reutilizar el espectro proporcionando un ancho de banda muy amplio. Dadas sus características es una tecnología que permite la comunicación inalámbrica en distancias cortas, similar a los sistemas RFID, capaz de realizar transmisiones de datos a velocidades muy altas y a costos relativamente reducidos, utilizando bajos niveles de potencia.

Los mayores usos que tiene esta tecnología en el área de la construcción son para asuntos de seguridad, capacitación de los trabajadores y para seguimiento de materiales, equipos y maquinarias. Se han realizado varias investigaciones en donde se usan sistemas de UWB obteniendo resultados con valores de precisión notables. Los mejores resultados se han obtenido para ambientes interiores, aunque también se han realizado investigaciones en ambientes al aire libre y con extensiones de área amplias obteniéndose igualmente buenos resultados.

Sin embargo, para la realidad de una obra de construcción, estos sistemas manifiestan una serie de problemas. En primer lugar, se ven seriamente disminuidos sus niveles de precisión cuando se implementa en lugares muy amplios; además cualquier elemento que obstaculice la comunicación disminuye el rendimiento del sistema; también se ven afectados por la influencia de elementos metálicos. Y una de sus principales limitaciones es que los lectores del sistema requieren de una red de conexión alámbrica, lo que claramente es muy difícil de implementar en la realidad de una obra de construcción.

4.2.4 Sistemas de Video.

El desarrollo de algoritmos de reconocimiento de patrones ha permitido que se desarrollen sistemas capaces de reconocer objetos en los registros de cámaras de video. Los sistemas basados en estos registros audiovisuales utilizan cámaras de video especiales capaces de registrar imágenes de video de alta calidad y/o que registren imágenes a velocidades de fotogramas muy altas, para que luego, un sistema de procesamiento de datos sea capaz de reconocer a cierto objeto o sus movimientos con el propósito de hacer un seguimiento de la trayectoria del objeto o realizar un análisis de los movimientos grabados. Además, se cuenta con la ventaja de que los registros pueden ser revisados una y otra vez para posteriores análisis o para utilizarlos con otros fines como, por ejemplo, capacitar a nuevos trabajadores.

Varios investigadores han desarrollado estudios poniendo a prueba estos sistemas para evaluar su nivel de precisión y ver cómo afectan en su rendimiento una serie de factores. Estos sistemas son capaces de entregar resultados con una gran precisión. Una de sus principales ventajas es que realizan un proceso continuo y automatizado. También se puede destacar que el objeto a reconocer no requiere andar portando ningún tipo de dispositivo. Se pueden cubrir áreas bastante amplias en ambientes interiores y al aire libre.

Sin embargo, estos sistemas se ven fuertemente afectados por factores como la falta de iluminación, los contrastes de colores, similitudes entre objetos a reconocer, la obstaculización de la línea de visión (LDV) y ambientes dinámicos en donde haya objetos en movimientos. Otro inconveniente de este sistema es que los equipos requeridos son bastante costosos, además, se requiere de un procedimiento de análisis de datos complejo y una capacidad de almacenaje de datos importante, lo que también encarece enormemente los costos de estos sistemas.

El uso de esta tecnología permite realizar estudios de tiempos, seguimientos y hasta el reconocimiento de actividades apoyado en el material que graban. Las técnicas y algoritmos de reconocimiento de patrones de imagen juegan un rol sustancial en el funcionamiento de estos sistemas.

4.2.5 Red Inalámbrica LAN (WLAN).

Una red de área local inalámbrica o WLAN (en inglés *Wireless Local Area Network*) es una red informática formada por unidades ubicadas en un espacio de dimensiones reducidas y que los usuarios se conectan de forma remota, la conexión se realiza usando ondas de radiofrecuencia. Ejemplo de una tecnología de WLAN es el Wifi.

Los sistemas basados en el uso de una WLAN usan la estructura de una red existente. La única diferencia que tienen estos sistemas con cualquier sistema de red local es que la conexión se realiza de forma inalámbrica lo que permite el libre desplazamiento sin desconectarse de la red, siempre y cuando el objeto se mantenga dentro del alcance de conexión. El uso principal de redes WLAN es para la transferencia de datos de forma inalámbrica permitiendo enviar y recibir información sin necesidad de permanecer conectado a través de un cable u otro elemento a una red local. Respecto a los propósitos de este trabajo de memoria, estos sistemas generalmente se usan para calcular la posición de un objeto de acuerdo a la intensidad de la señal, entre otras técnicas.

Algunos investigadores han realizados estudios para comprobar la utilidad de estos sistemas para realizar seguimientos de objetos obteniendo resultados bastante diversos en cuanto a la precisión que han logrado, sin embargo, los niveles de error obtenidos en algunos estudios son significativos (del orden de 7,5 m). Además, se le puede asociar una gran cantidad de inconvenientes a estos sistemas, el principal es la necesidad de que el objetivo al que se le realiza el seguimiento debe permanecer conectado a la red WLAN. Otras de las desventajas que tienen estos sistemas es que, dependiendo de las condiciones de la obra, pueden sufrir de interferencia y no siempre contar con una velocidad de transmisión de datos aceptable. También hay que

mencionar que características como la fuerza de la señal, la frecuencia, el tipo de dispositivo, su orientación, entre otros, afectan de forma significativa en el rendimiento de estos sistemas.

4.2.6 Ultrasonido.

El desarrollo de estos sistemas está inspirado en las señales de ultrasonido que los murciélagos emiten para poder orientarse en un ambiente oscuro. La comunicación por ultrasonido (o US) es una tecnología de comunicación inalámbrica que requiere de un emisor(es) de señales de ultrasonido y un receptor(es). La comunicación que se establece es del tipo LDV, es decir, en la línea-de-visión entre emisor y receptor no debe haber un obstáculo que interfiera con la comunicación, ya que las señales no son lo suficientemente fuertes para poder atravesar objetos sólidos. Además, las señales pueden ser afectadas por interferencia de señales reflejadas o sonidos como el causado por objetos metálicos.

Algunos investigadores han propuesto sistemas de posicionamiento en tiempo real usando sistemas basados en señales de ultrasonido, los cuales usan los tiempos de llegada o TOA (en inglés, *Time of Arrival*) de las señales y localización por triangulación para seguir la trayectoria de un objeto. Estas investigaciones han tenido resultados satisfactorios en cuanto a la precisión. Sin embargo, este sistema tiene varias desventajas. Primero, no es un sistema de gran alcance (entre 1-15 m. aproximadamente); segundo, no debe verse afectado por obstáculos, ya que las señales no son capaces de traspasar cuerpos sólidos; y, por último, se puede ver afectado en forma importante por los ruidos de la realidad de la obra.

4.2.7 Infrarrojo (IR).

La comunicación infrarroja (o IR) es una tecnología de comunicación inalámbrica común, económica y fácil de usar. La luz de los IR es muy similar a la luz visible, pero tiene una longitud de onda ligeramente más larga, por lo cual es imperceptible para el ojo humano. Los sistemas IR permiten la comunicación LDV entre un transmisor y un receptor, es decir, en la línea-de-visión (LDV) entre el transmisor y receptor no debe haber ningún obstáculo que interfiera con la comunicación. Este tipo de sistema es muy usado por varios dispositivos remotos, tales como televisores, radios, teléfonos, entre otros.

Algunos investigadores han propuestos sistemas de localización en tiempo-real usando esta tecnología obteniendo resultados satisfactorios en cuanto a la precisión, sin embargo, las 2 principales desventajas que tiene son: el corto alcance de la comunicación (aproximadamente 7,5 m.), y que no debe haber obstáculos que interfieran con la LDV para no interrumpir la comunicación, situación que es difícil de evitar en la realidad de la obra.

4.2.8 Acelerómetros (SMEM).

Los sistemas basados en el uso de acelerómetros son un método innovador que puede ser usado para el reconocimiento y clasificación de actividades en construcción. Estos sistemas se han usado ampliamente en otras áreas como, por ejemplo, en medicina para la investigación de los movimientos de personas con capacidades reducidas, o en disciplinas deportivas para analizar los rendimientos físicos logrados por un sujeto. Mediante el uso de estos dispositivos se recolectan datos de aceleraciones, velocidades y desplazamientos, con el objetivo de identificar y clasificar los movimientos que realiza un portador (objeto o persona). Los datos son analizados identificándose patrones que permiten caracterizar ciertos movimientos. Joshua, L. y Varghese, K. (2014) aseguran que, durante los últimos años, las investigaciones basadas en sistemas de reconocimiento de actividades con acelerómetros han progresado rápidamente respaldado por los avances en las tecnologías de sistemas micro-electromecánicos (SMEM).

Los SMEM son máquinas en miniatura que tienen componentes tanto mecánicos como eléctricos. Son fabricados a escalas milimétricas y hasta nanométricas. A este nivel de dimensiones las leyes de la física que predominan no son las mismas que las de la escala normal, sobresaliendo las propiedades electroestáticas, electromagnéticas y viscosidad. La tecnología SMEM se beneficia de esto para fabricar sensores capaces de realizar mediciones más precisas, además de aprovechar su reducido tamaño para extender los usos de éstos respecto de sus pares más primitivos. En este sentido, el desarrollo en estas tecnologías ha permitido diseñar nuevas generaciones de acelerómetros de tamaños más reducidos y precisos. En especial el hecho de contar con dispositivos más pequeños ha permitido que puedan ser portables por personas y así reconocer sus movimientos.

En los últimos años, el uso de acelerómetros para el reconocimiento de actividades está en un nivel experimental. En áreas como la medicina y los deportes ha tenido un amplio uso en el estudio de los movimientos de las personas. En cambio, en el área de la construcción, no se reportan muchos estudios que involucren este tipo de dispositivos. Investigaciones como las de Joshua, L. y Varghese, K. (2011), Joshua, L. y Varghese, K. (2013), Joshua, L. y Varghese, K. (2014), han impulsado el uso de acelerómetros en trabajadores para reconocer las actividades que realizan y así automatizar el proceso de recolección de datos, con el objetivo de realizar muestreos de trabajo y medir los niveles de productividad de los trabajadores, además de contar con un sistema de recolección de datos continuo. Los resultados de sus investigaciones han demostrado que los acelerómetros son los sensores más ricos en información y bastante precisos para el reconocimiento de actividades. Además, los acelerómetros reaccionan rápido a los cambios de actividades y reflejan bien el tipo de movimiento, por lo que, para la evaluación objetiva del reconocimiento de actividades, es recomendable el uso de este tipo de dispositivo.

El uso de los acelerómetros para la recolección de datos de desplazamientos, velocidades y aceleraciones se debe combinar con un sistema de procesamiento de datos que permita realizar el reconocimiento de los patrones de movimiento. Los niveles de precisión y costos asociados dependerán mucho de la calidad de los dispositivos utilizados para la recolección de datos y del sistema de procesamiento de la información.

4.3 Descripción General del Sistema de Recolección de Datos Aplicado en Terreno.

El sistema de medición empleado en la presente memoria fue diseñado especialmente para realizar el registro de datos de terreno necesario para contabilizar la duración de las tareas que componían la operación analizada.

Luego de realizar la revisión bibliográfica de los diferentes métodos y técnicas de medición de productividad de la mano de obra, junto con las tecnologías disponibles para la recolección de datos, se dispuso de una serie de alternativas. La fácil implementación de un sistema de medición automatizado aun no es posible. Se requiere de recursos económicos importantes para la adquisición de dispositivos tecnológicos y herramientas computacionales que permitan realizar la recolección automatizada y el análisis de los datos, además se requiere de una cantidad de tiempo importante para las fases de pruebas y calibración.

Dadas las características propias de la obra, de la operación analizada y de los recursos de tiempo y económicos que se disponían, se optó por diseñar un sistema de medición manual, más práctico, sencillo, fácil de implementar y bajo en costo. Este sistema se basó en las técnicas de muestreo de trabajo y de calificación de 5 minutos (Dozzi, S. P. y AbouRizk, S. M., 1993).

El sistema diseñado consiste en que cada 10 minutos se realizan observaciones a los trabajadores que componen la cuadrilla de trabajo y se anota en una planilla la tarea que cada trabajador está realizando. Las observaciones se restringen solamente a la zona en donde se está trabajando en la operación analizada. Sí a los trabajadores se les asigna tareas en otros lugares o tareas relacionadas a otra operación distinta a la analizada, simplemente no se registran en la planilla. Más detalles del sistema de medición diseñado se especifican en la sección 6.3 del capítulo 6 de la presente memoria.

Con este sistema se obtiene el registro de las tareas que efectivamente se están llevando a cabo en cierto momento y por cuanta cantidad de trabajadores. Con los datos recolectados se puede hacer una estimación del “*tiempo efectivo*” por trabajador que se necesita para cada tarea.

La implementación del sistema diseñado requirió de pocos recursos económicos (planillas impresas en hojas de papel, lápiz, reloj y un observador). El proceso de recolección de datos requirió de la presencia permanente del observador mientras se ejecutaban las distintas tareas, por lo que se empleó una cantidad de tiempo importante en esta etapa. Con los datos recolectados se lograron contabilizar de forma correcta los tiempos requeridos para determinar los niveles de productividad de la operación estudiada.

5 MODELACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

Una herramienta que permite integrar tanto la disponibilidad de recursos para la ejecución de las operaciones de una obra y el análisis de las secuencias de construcción que se están empleando, es la simulación. Dentro de las herramientas de simulación, la simulación de eventos discretos o DES (en inglés, *Discrete-Event Simulation*) es una que ha sido ampliamente usada en varias áreas.

Es así que, el presente capítulo ahonda en la tercera línea de acción propuesta: “contribución de la modelación”. Se realiza una breve contextualización sobre qué es la simulación de eventos discretos, cuáles son los beneficios que ha aportado y que puede aportar en el área de la construcción, y hacia dónde apuntan las investigaciones en el desarrollo de herramientas basadas en la DES. Además, se describe cual es el aporte que la DES tiene para ofrecer en pos de los objetivos planteados al principio de la presente memoria.

5.1 Simulación en Construcción.

AbouRizk, S. (2010) define a la simulación en construcción como “la ciencia de desarrollar y experimentar con representaciones computarizadas de sistemas de construcción, para entender sus comportamientos subyacentes”. Es decir, la simulación es una herramienta que se aprovecha de los recursos computacionales existentes para poder caracterizar las operaciones constructivas de una obra, reproduciendo sus condiciones y secuencias empleadas, con el fin de poder comprender el comportamiento de éstas y, así, poder obtener conclusiones que permitan tomar decisiones al respecto.

En un proyecto de construcción se debe lidiar con una serie de factores que interactúan entre sí y que se deben tener en cuenta en la etapa de planificación para la correcta ejecución de la obra. Para esto se cuenta con varias herramientas, sin embargo, cuando las características de un proyecto se vuelven más complejas, no todas son de utilidad. En este sentido, las técnicas de simulación computacional son muy efectivas en proporcionar herramientas para diseñar y analizar los procesos constructivos independientemente del tamaño y complejidad del proyecto (AbouRizk, S., 2010). Es más, Halpin, D., et al. (2003) afirman que “la simulación es ampliamente considerada como una herramienta efectiva para el análisis de operaciones de construcción debido a su capacidad para manejar la complejidad y la incertidumbre inherente a los procesos constructivos”.

Por lo tanto, se puede usar esta herramienta para crear modelos que caractericen las secuencias lógicas de las actividades desarrolladas (o por desarrollar) en una obra, los recursos necesarios para llevar a cabo la ejecución de las operaciones y tareas, y las condiciones en que se realiza (o realizará) el proyecto. Todo esto con el objetivo de diseñar mejores planificaciones del proyecto, optimizar el uso de los recursos, minimizar los costos y las duraciones del proyecto, y para mejorar la gestión general del proyecto de construcción (AbouRizk, S., 2010).

Alzraiee, H., et al. (2012) indican que “la creación de un modelo en un mundo virtual ayuda en la comprensión del comportamiento del sistema, más aún, se pueden estudiar diferentes escenarios del proyecto antes de la etapa de implementación”. Es así que, según AbouRizk, S. (2010), lo importante de la simulación es que permite experimentar de forma precisa con varios enfoques para realizar el proyecto sin necesidad de poner un pie en la obra, llevar a cabo estos análisis generalmente se traduce en un mejor entendimiento del proceso constructivo, disminuciones en los costos y tiempos, mejoras en la calidad y una reducción de la incertidumbre en la ejecución del proyecto.

AbouRizk, S. (2010), define cuatro fases involucradas en la construcción de un modelo de simulación:

1. **Fase de Conceptualización del Producto:** se especifica el producto que será construido, en el caso de un proyecto de construcción, se refiere a las especificaciones de éste.
2. **Fase de Conceptualización del Proceso y Modelación:** se especifican y reducen a modelos los procesos, recursos, ambiente, etc., requeridos para la construcción del producto.
3. **Fase de Experimentación:** se lleva a cabo la simulación y se experimenta con los modelos.
4. **Fase de Toma-de-Decisiones:** con la información derivada de los análisis de la simulación, se toman decisiones sobre mejoras a los procesos, optimización de recursos, etc.

Aunque la mayoría de los autores considera que las primeras iniciativas en el desarrollo de este tema se observaron en la década del 1970 (AbouRizk, S. 2010; Halpin, D. et al. 2003) no es errado pensar que los enfoques del Método de la Ruta Crítica, o CPM (en inglés, *Critical Path Method*), y de la Técnica de Revisión y Evaluación de Proyectos, o PERT (en inglés, *Project Evaluation and Review Techniques*) desarrollados durante la década de 1950 dieron las primeras luces en la simulación y planificación de operaciones.

Ambos métodos se basan en una red lógica de tareas que involucra relaciones de precedencia. Estos se usan para determinar los tiempos de ejecución de una cierta operación encontrando la secuencia de tareas que más tiempo involucra, esta secuencia se conoce como la ruta crítica. El primer enfoque estima los tiempos de las tareas de forma determinística. El segundo involucra un enfoque probabilístico para determinar la duración de las tareas que componen la operación, proponiendo un escenario favorable, uno más probable y otro desfavorable para el cálculo de las duraciones de cada tarea.

AbouRizk, S. (2010) considera como el punto de partida en los lenguajes modernos de simulación en construcción, la introducción de los elementos de modelación de CYCLONE por Halpin en 1973 (Halpin, D., et al 2003). Martínez, J. C., et al. (1999) describe el sistema CYCLONE como “un bien establecido, ampliamente usado y sencillo sistema que es fácil de aprender y efectivo para modelar operaciones de construcción relativamente simples”. La fortaleza de este sistema está en su simplicidad y capacidad para modelar redes cíclicas, las cuales están por encima del CPM. Sin embargo, su simplicidad genera complicaciones en la simulación, ya que

algunos aspectos de las operaciones de construcción no son modelables con este sistema. Un ejemplo de esto es su incapacidad de modelar los recursos involucrados en el proceso.

AbouRizk, S. (2010) identifica una segunda etapa en el progreso de la simulación que coincide con los avances en los lenguajes de programación, particularmente, en la programación orientada a objetos. Un buen número de sistemas y aplicaciones de simulación se pueden identificar desde el inicio de la década de 1990 hasta el 2000. Destacan la introducción del lenguaje de simulación y modelación STROBOSCOPE, por Martínez y Ioannou (1994), y la introducción del lenguaje de simulación Simphony, por AbouRizk y Hajjar (1998). Martínez, J. C., et al. (1999) describe el STROBOSCOPE como “un sistema de simulación programable y extensible, diseñado para modelar en detalle complejos sistemas de construcción y para el desarrollo de herramientas de simulación de propósito-especial”. Según AbouRizk, S. (2010), lo que caracteriza esta segunda etapa es el énfasis en una mejor capacidad de modelación y simulación comparando con las herramientas anteriores.

AbouRizk, S. (2010) identifica una tercera etapa, en la que se apunta a la integración de la simulación con otras herramientas de visualización. A pesar de que en los 90's se desarrollaron muchas aplicaciones, uno puede rastrear más actividad en los modelos en tres dimensiones (3D) y su integración con la simulación, durante la década de 2000-10.

Durante los últimos años, también se puede observar que los modelos de simulación están apuntando a la integración de sistemas de simulación híbridos que incorporen más capacidades a los sistemas actuales, complementando la simulación de eventos discretos con sistemas dinámicos, modelos de simulación continua, lógica difusa, inteligencia artificial, etc.

A pesar de todos los esfuerzos realizados por la comunidad de investigadores en simulación en construcción, AbouRizk, S. (2010) afirma que “si bien ha habido avances en herramientas de modelación y sus potenciales usos en la construcción, ha habido un limitado apoyo de las empresas constructoras y ciertamente no ha habido una acogida generalizada por la industria de la construcción”. Mientras los más experimentados investigadores en simulación pueden ver los beneficios de usar la simulación como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en construcción, la industria por mucho ha permanecido poco convencida de los méritos de esta herramienta (AbouRizk, S., 2010). Halpin, D. (2003) afirma que “los profesionales de la construcción hacen poco uso de la simulación para manejar complejos sistemas de producción, esto se debe a la lenta aceptación de nuevas características tecnológicas en la industria de la construcción, además de las dificultades para aprender metodologías de simulación y los costos de adquisición y capacitación en herramientas de simulación”.

5.2 Simulación de Eventos Discretos.

Dentro de los sistemas de simulación, se encuentran los que se basan en la simulación de eventos o DES (en inglés, *Discrete-Event Simulation*). Según Alzraiee, H., et al. (2012), un modelo de simulación de eventos discretos “es una red de colas y actividades, donde ocurren cambios de

estado en puntos discretos de tiempo”. Law, A. y Kelton, D. (1982) afirma que una DES se refiere a “la modelación de un sistema como su evolución en el tiempo por medio de una representación en la cual las variables de estado cambian solo en un número finito de puntos en el tiempo”. En una DES una entidad fluye a través del sistema y capta recurso(s) para ejecutar tareas, cuando una tarea es terminada la entidad libera el(los) recurso(s). En el caso de que un(os) recurso(s) estén ocupados o no disponibles, la entidad espera en una cola hasta que el(los) recurso(s) estén disponibles (Alzraiee, H. et al. 2012).

La simulación de eventos discretos ha sido utilizada para analizar y diseñar operaciones de construcción por más de 30 años (Martínez, J. C. y Ioannou, P. G., 1999). DES ha sido reconocida como una técnica muy útil para el análisis cuantitativo de operaciones y procesos (Martínez, J. C., 2010). Lu, M. (2003) afirma que las DES “proporciona una solución alternativa prometedora para la planificación en construcción mediante la predicción del estado futuro de un sistema real de construcción tras la creación de un modelo computarizado del sistema real basado en estadísticas y operaciones reales”. Estos sistemas se apoyan en herramientas computacionales y el uso de conceptos estadísticos y probabilísticos para el desarrollo de sus modelos.

Dentro de los DES existen dos corrientes principales sobre el paradigma de modelación o estrategia de simulación, que es el marco conceptual que guía el desarrollo del modelo y determina cómo los simuladores ven el sistema que tiene que ser modelado (Hooper 1986). Estas estrategias son la “interacción de procesos” o PI (en inglés, *Process Interaction*) y el “escaneo de actividad” o AS (en inglés, *Activity Scanning*), adicionalmente, la “programación de eventos” o ES (en inglés, *Event Scheduling*) es una tercera estrategia de simulación que a menudo se combina con la PI o AS (Martínez, J. C. y Ioannou, P. G., 1999).

Un modelo PI es diseñado desde el punto de vista de entidades que fluyen por el sistema, estas entidades llegan, se someten a algún proceso donde capturan y liberan recursos, y luego salen de éste. La mayoría de las operaciones de manufactura son de este tipo. Un gran número de herramientas de simulación a nivel comercial usan esta estrategia debido a su flexibilidad, por ejemplo, el lenguaje de programación SIMAN el cual es usado en el software ARENA®.

En cambio, un modelo AS es diseñado desde el punto de vista de las distintas actividades que se realizan y se centra en identificar estas actividades y las condiciones en las que se llevan a cabo. Los modelos AS son especialmente competentes en la modelación de sistemas con componentes interdependientes sujetos a condiciones complejas de puesta en marcha de actividades en donde muchos recursos con distintas características deben colaborar de acuerdo con reglas altamente dinámicas. Para más detalles respecto al tema de las estrategias de simulación se puede revisar el trabajo de (Martínez, J. C. y Ioannou, P. G., 1999).

Martínez, J. C. (2010) postula que para implementar un estudio de simulación de eventos discretos hay que seguir los siguientes pasos:

- 1) Determinar el grado en que un modelo de eventos discreto puede conducir a un mejor entendimiento del sistema consultado o para obtener medidas cuantitativas de rendimiento. El propósito del primer paso es responder la pregunta: ¿Es DES la herramienta adecuada para resolver el problema propuesto?
- 2) Establecer el alcance del modelo y las preguntas específicas que debería responder.
- 3) Definir el modelo para la operación. Esto incluye: establecer el nivel de detalle del modelo, elegir los elementos que serán usados para representar el sistema real (recursos, actividades, entre otros), y capturar la lógica apropiada.
- 4) Reunir y sintetizar la información acerca de la operación para ajustar el modelo. Adicionalmente a la recolección de datos, esto incluye determinar los supuestos probabilísticos básicos, ajustes de distribuciones y testear la bondad de ajuste.
- 5) Verificación del modelo e información para asegurarse que coincide con las consideraciones del creador del modelo.
- 6) Validación del modelo para asegurarse que coincide con el sistema real o imaginario.
- 7) Análisis de los resultados de la simulación para una sola corrida.
- 8) Diseño y ejecución de experimentos de simulación.
- 9) Analizar los resultados de los experimentos para determinar el rendimiento de varias configuraciones del sistema o para seleccionar la mejor entre ciertas alternativas.
- 10) Documentar y presentar resultados.
- 11) Usar resultados para la toma de decisiones.

La modelación de eventos discretos no siempre es la mejor alternativa para simular un problema, por lo tanto, se debe evaluar si es pertinente usar esta herramienta en el análisis de cada situación o problema. Realizar un estudio de DES puede significar un esfuerzo importante, por lo que se recomienda que se use la modelación solo para situaciones que de verdad lo ameriten. Generalmente, los problemas que son más adecuados para la DES son:

- Se cuenta con incertezas importantes respecto al tiempo requerido para completar una(s) tarea(s) y/o en el monto y calidad de materiales consumidos y producidos.
- Son lógicamente complejos con una serie de reglas y decisiones dinámicas sensibles al contexto.
- Tienen componentes interdependientes sujetos a condiciones de puesta en marcha de actividades complejas donde muchos recursos con propiedades distintas deben colaborar de acuerdo con reglas altamente dinámicas.

En el trabajo de Martínez, J. C. (2010) se destacan algunos de los inconvenientes que presentan este sistema de simulación, en éste se aborda cada uno de los temas en cuestión haciendo un profundo análisis de como se ve afectado el modelo y se entregan recomendaciones para evitarlos.

Varios trabajos de investigación se han interesado en poder suplir alguna de las debilidades de estos sistemas con la integración de otro tipo de herramientas. Por ejemplo, uno de los problemas que tiene la simulación de eventos discretos es que no tiene la capacidad de modelar adecuadamente

aspectos globales de las operaciones que son modeladas y las relaciones de causa-efecto de las variables de simulación (Alzraiee, H., et al. 2012). En un intento por robustecer las capacidades de estos sistemas es que se ha intentado integrar la DES con otras herramientas como *System Dynamics* (SD) (Alzraiee, H., et al. 2012).

5.3 Software de Simulación de Eventos Discretos: ARENA®.

Como parte del trabajo realizado, se analizó la contribución de la técnica de modelación de eventos discretos. Para el presente trabajo de memoria, se decidió usar el software de modelación de eventos ARENA®. Este software permitió realizar la modelación de la secuencia constructiva ejecutada en la obra aplicando esta técnica de modelación.

Las principales razones por las cuales se decidió utilizar este software son que cuenta con una extensa biblioteca de procesos prediseñados para modelar de forma correcta la secuencia constructiva y el flujo de trabajo. También cuenta con una amplia gama de opciones de distribuciones probabilísticas para modelar de forma precisa la variabilidad de los procesos que componen la secuencia. Cuenta con una herramienta (InputAnalyzer) que realiza análisis estadísticos de los datos para ajustarlos a las distribuciones probabilísticas que mejor caractericen su variabilidad. El software también genera informes que permiten una mejor comprensión de la secuencia modelada, permitiendo identificar los inconvenientes y cuellos de botella que se presentan. Además, este software fue utilizado en los trabajos de Kisi, P. K. (2015) y Kisi, P. K. et al. (2014) en los cuales se basó esta memoria.

6 ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD EN OBRA: CONJUNTO HABITACIONAL BUIN / VILLASECA

En el capítulo 3 de la presente memoria se explicó en qué consiste la metodología con enfoque de 2-frentes propuesta en los trabajos de Kisi, K. P., Mani, N., et al. (2014), Mani, N. (2015) y Kisi, K. P. (2015) para estimar la productividad óptima. Con esta metodología es posible estimar el nivel óptimo de productividad de la mano de obra para una operación de construcción.

En los trabajos antes mencionados se implementó la metodología en operaciones de construcción con el fin de analizar su factibilidad. Se concluyó que la implementación de la metodología es factible y que entrega resultados satisfactorios con respecto a obtener el nivel óptimo de productividad de la mano de obra para las operaciones en que se desarrollaron los estudios citados. Sin embargo, estas operaciones se desarrollaban en ambientes interiores donde varios factores que afectan la productividad son controlados. Además, estas actividades no eran propiamente tal operaciones de construcción de alguna estructura o edificación. La realidad de esas operaciones es muy diferente a la realidad de una obra de construcción más tradicional, en donde existen más partidas que se interponen, la necesidad de cumplir con los plazos es imperante, los recursos de mano de obra con los que se cuentan no siempre son los óptimos y una serie de otros inconvenientes que se presentan en la realidad de una obra de construcción de cualquier tipo de edificación o estructura.

Por este motivo es que, como parte de la investigación realizada en este trabajo de memoria, se implementó la metodología con enfoque de 2-frentes. Para esto se consideró una obra de construcción con características más comunes a un proyecto de edificación. En este caso se trató de una obra de construcción en extensión de un conjunto habitacional de casas de hormigón armado. Debido a las características propias de la obra y de los recursos de tiempo y costos que se contaban para realizar el estudio propuesto, se debieron adaptar algunos aspectos de la metodología con enfoque de 2-frentes, sin embargo, el grueso de la metodología se mantuvo. Siendo rigurosos, la metodología implementada es más bien una que sigue el mismo enfoque que la metodología propuesta por Kisi, K. P., Mani, N., et al., manteniéndose los mismos conceptos y análisis que se explicaron en el capítulo 3. Las diferencias radican en: la forma en que se realizaron las mediciones para este trabajo de memoria, además, algunos datos se determinaron de una forma alternativa, pero manteniendo el concepto teórico que los respalda.

6.1 Obra de Construcción: Conjunto Habitacional Buin/Villaseca.

Como parte del trabajo de memoria realizado, se llevó a cabo un estudio de productividad en una obra de construcción de un proyecto de edificación en extensión de casas de hormigón armado con moldaje monolítico. El estudio realizado consistió en implementar la metodología de 2-frentes propuesta por Kisi, K. P., Mani, N., et al, en este proyecto.

Dadas las características propias de una obra de construcción en extensión, es decir, el ambiente exterior no controlado, la manera de ejecutar las operaciones, los plazos a los que la

administración de obra se debía ajustar, las características propias de las estructuras a construir, entre otras; y, además, los plazos y recursos económicos que se contaban para realizar el estudio de productividad, es que algunos aspectos de la metodología original se tuvieron que adaptar.

El objetivo es poder evaluar la factibilidad de la metodología propuesta en una operación de un proyecto de construcción en extensión que involucrara alguno de los 3 insumos más comunes de una obra de construcción en hormigón armado: acero, hormigón o moldajes.

Por los factores antes mencionados es que se decidió realizar el estudio e implementar la metodología de 2-frentes en un proyecto habitacional que consistía en la construcción de 240 casas de hormigón armado. Éste se llevaría a cabo en 4 etapas: la primera etapa constaba de 41 casas, la segunda 63 casas, la tercera 63 casas y la cuarta 63 casas. Entre las casas que se construyeron se tienen 5 modelos distintos, 3 modelos son de 2 pisos (B1, B2, B3) y 2 modelos son de 3 pisos (B4, B5). Hay que destacar que cada modelo de casa es, en realidad, dos casas que comparten un muro en común, es decir, cada modelo es un par de casas pareadas o “pareo”. El proyecto se ubicaba en la comuna de Buin, específicamente en el sector de Villaseca, al sur de Santiago, Región Metropolitana.

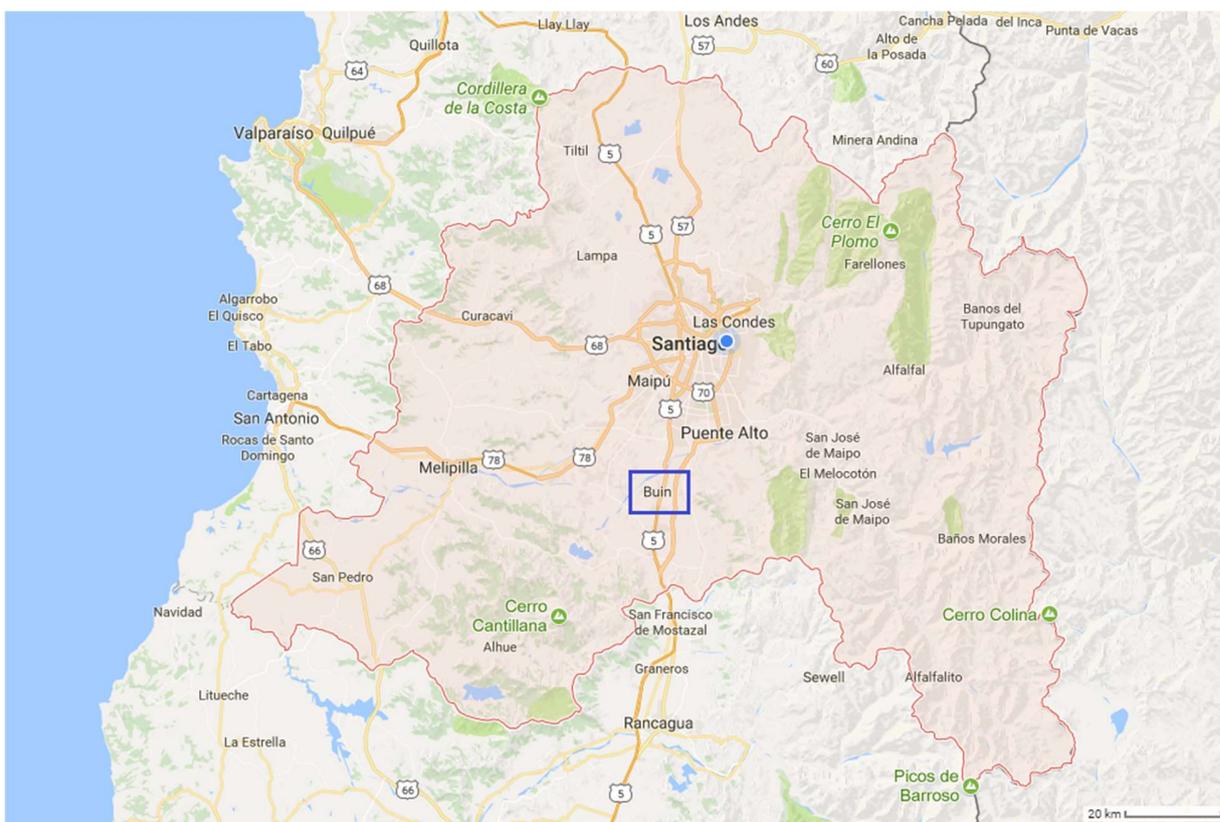
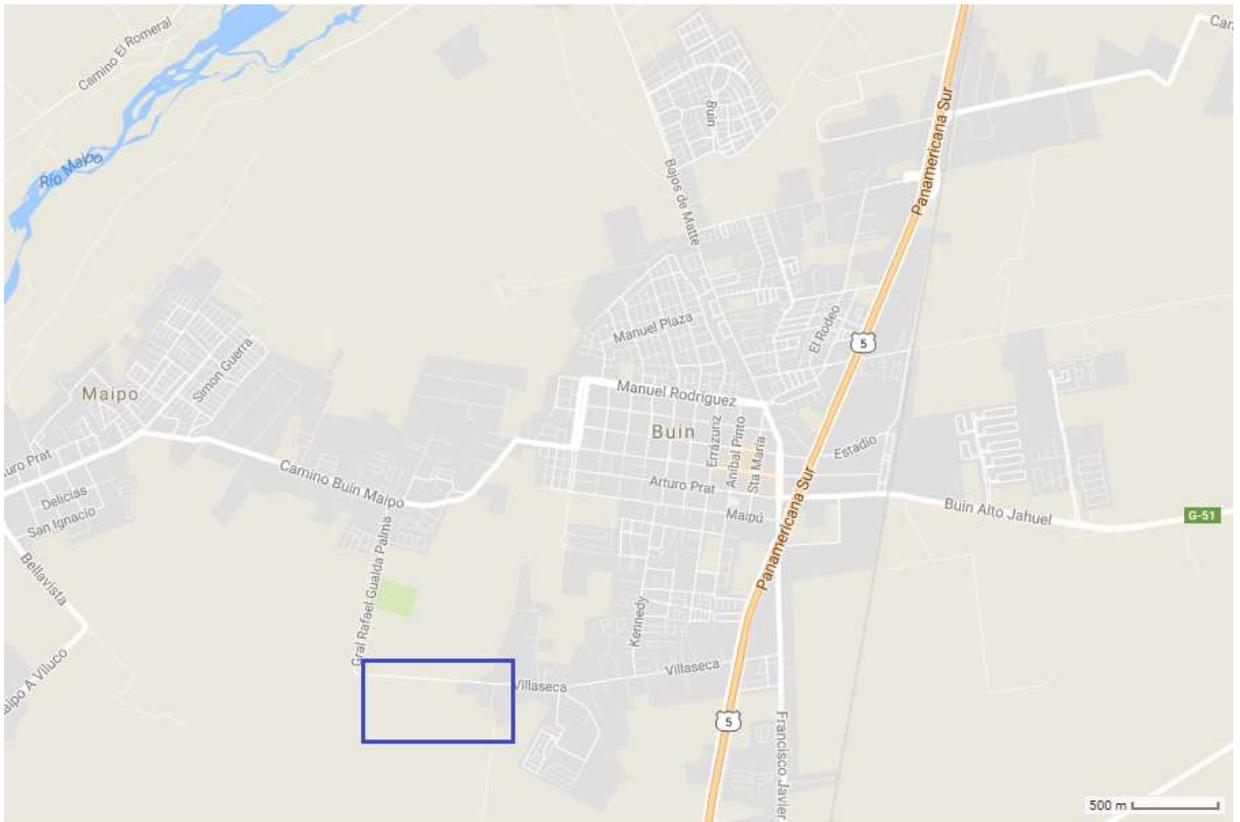


Imagen 1: Ubicación de la Comuna de Buin (cuadro azul).
(Fuente: Google Maps).



**Imagen 2: Ubicación Sector Villaseca, lugar de Emplazamiento del Proyecto (cuadro azul).
(Fuente: Google Maps).**



**Imagen 3: Vista Satelital de la Ubicación de la Obra (cuadro rojo).
(Fuente: Google Maps).**



Imagen 4: Vista Panorámica de la Obra “Conjunto Habitacional Buin/Villaseca”.

Como se mencionó, la materialidad de las casas es hormigón armado, por lo que en el proceso de construcción de éstas se contó con las 3 principales partidas de un proyecto de construcción tradicional en Chile: montaje de la enfierradura, medido su avance en kg de acero; montaje de paneles de moldaje, medido su avance en m² de superficie; y colocación de hormigón, medido su avance en m³ de hormigón vertido.

La empresa constructora que se adjudicó el proyecto debió encargarse desde la etapa de movimiento de tierras y excavaciones hasta la etapa de terminaciones de la construcción de las viviendas, además de la urbanización del sector.

El estudio de productividad y la implementación de la metodología de 2-frentes se realizó durante la fase de obra gruesa de la etapa 1, en específico durante la construcción de la obra gruesa de las casas del modelo B1. En la figura 26 se muestra una vista en 3D de cómo debería verse el modelo de vivienda B1 una vez terminada su construcción. En las figuras 27 y 28 se puede apreciar las vistas en planta del primer y segundo piso, respectivamente, del modelo de vivienda B1.



**Figura 26: Vista 3D del Modelo de Casa B1.
(Extraído de los Planos de Arquitectura del Proyecto).**

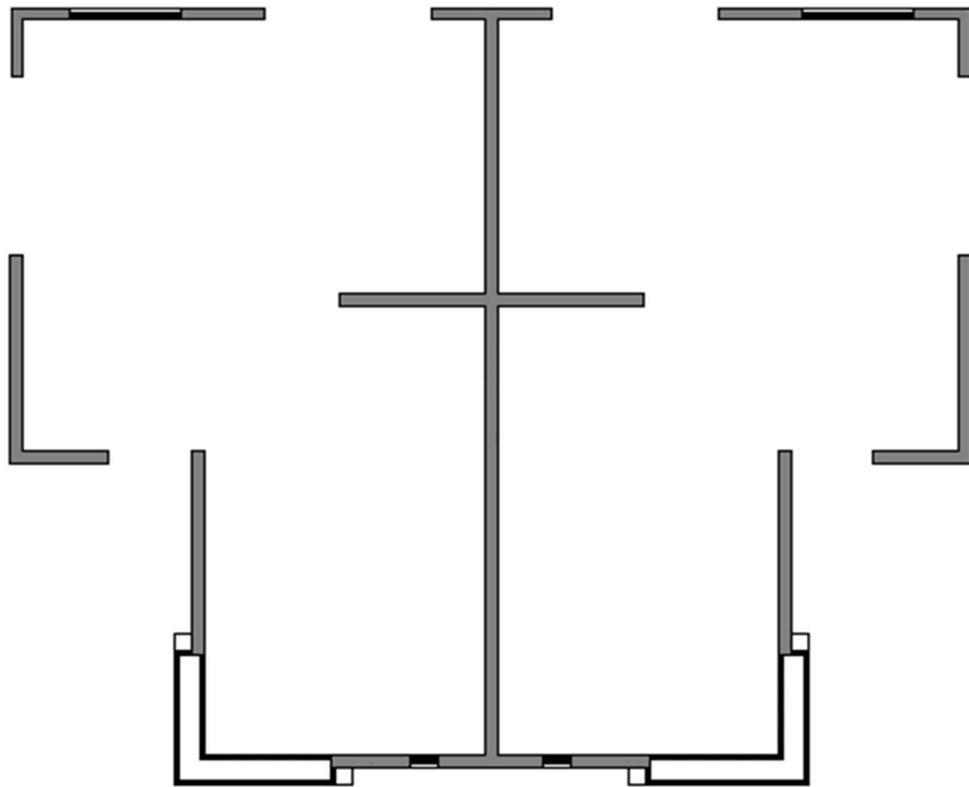


Figura 27: Planta del Primer Piso del Modelo de Casa B1.
(Extraído de los Planos de Arquitectura del Poyecto.)

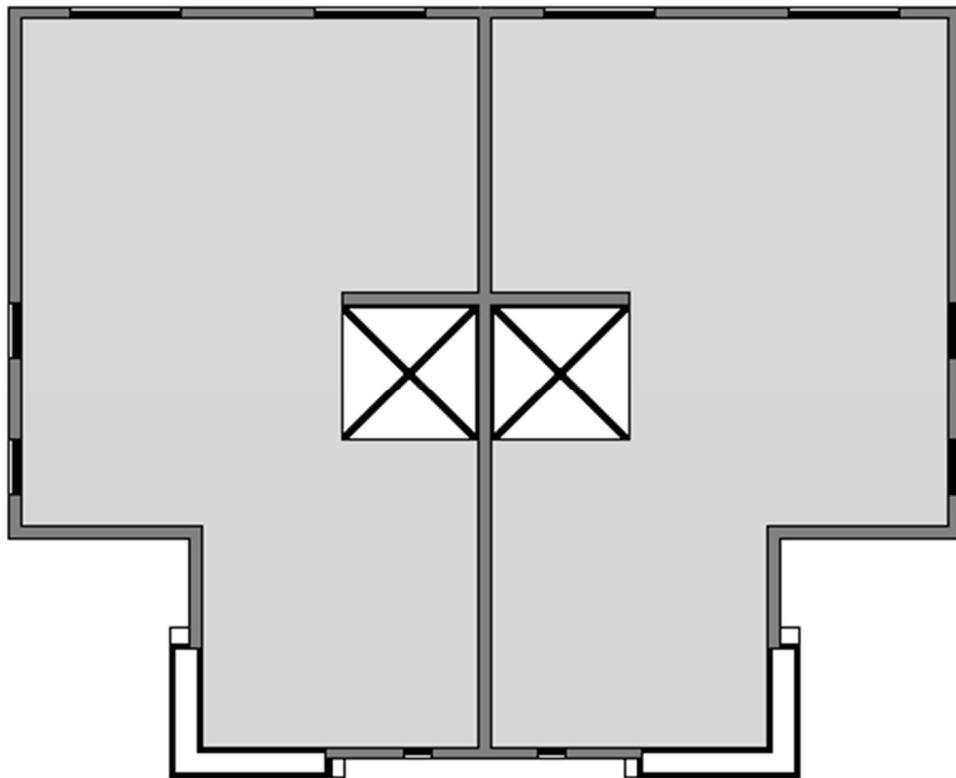


Figura 28: Planta del Segundo Piso del Modelo de Casa B1.
(Extraído de los Planos de Arquitectura del Proyecto.)

6.2 Ciclo de Montaje de Paneles de Moldaje para el Hormigonado de Casas de Hormigón Armado.

La fase del proceso constructivo durante la que se realizaron las mediciones no fue la primera ejecutada por la empresa constructora, ésta realizó una serie de otras actividades previamente. Además, con la ejecución de la operación estudiada no se terminaron las labores del proceso constructivo, sino que aún se debían ejecutar otras operaciones y trabajos. Es por esto que, antes de describir y detallar la operación estudiada -y las tareas que la componen-, es necesario contextualizar en qué fase del proyecto de construcción de las viviendas se encuentra esta operación.

El proyecto de construcción de las viviendas consistía en construir cinco modelos de casas, replicando éstos en la extensión del terreno estipulado para este proyecto. El número de repeticiones de cada modelo se detallaba en las especificaciones del proyecto. Por lo tanto, se observó que para los *pareos* de cada modelo se repetían las mismas actividades y secuencias constructivas. Esta particularidad permite satisfacer la condición de que la metodología de 2-frentes se debe implementar en operaciones constructivas de carácter repetitivo, ya que se pudo identificar claramente un ciclo de tareas que se repite en la construcción de cada *pareo*.

Las mediciones se realizaron durante la etapa de obra gruesa, en específico de los modelos B1. Dentro de esta etapa, la operación elegida para el estudio de productividad fue el “Montaje de Paneles de Moldajes del Primer Piso” perteneciente a la partida de moldajes. Más adelante se abordará en las razones de por qué se optó por esta operación y en las características de ésta, por ahora es necesario mencionarla para poder realizar una correcta contextualización.

La administración de la obra decidió avanzar por modelo, es decir, primero se ejecutaron todas las operaciones correspondientes a la obra gruesa de los *pareos* de un modelo en particular; luego se continuaba con la obra gruesa de los *pareos* de otro modelo de casa, al finalizar con este modelo se continuaba con el siguiente hasta que se completaran los 5 modelos de casas que se especificaba para este proyecto. Las operaciones de obra gruesa de los *pareos* modelo B1 fueron las últimas en realizarse.

En los siguientes esquemas se muestra en qué etapa del proyecto y de la secuencia constructiva se ubica la operación estudiada. Los cuadros en rojo representan la fase en que ésta se encontraba.



Figura 29: Etapas del Proyecto de Construcción.

Dentro de la secuencia constructiva de la etapa de obra gruesa de los distintos *pareos*, mostrada en la figura 30, la operación a la que se le realizaron las mediciones se encuentra entre las operaciones involucradas en las labores de los “Muros y Losa del 1° Piso”, en específico de las casas modelo B1. En todas las operaciones de la secuencia mostrada en la figura 30 están involucradas las partidas de enfierradura, moldaje y hormigón. La operación escogida está relacionada a la partida de moldajes.

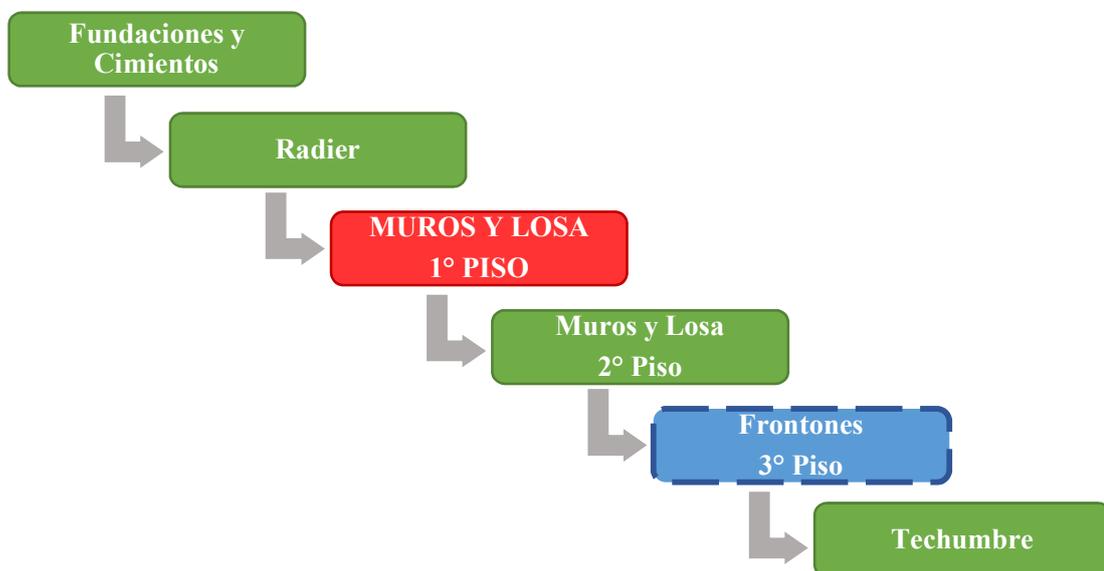


Figura 30: Secuencia Constructiva de la Obra Gruesa de una Casa.

Hay que destacar que los modelos de casa B1, B2 y B3 son de 2 pisos, por lo que no se ejecutaban las operaciones correspondientes a los “Frontones del 3° Piso” por razones obvias, por lo tanto, luego de las operaciones correspondientes a “Muros y Losa 2° Piso”, se ejecutaban las operaciones correspondientes a la “Techumbre”.

Durante el proceso de construcción de los *pareos*, cuadrillas de trabajadores relacionados a diferentes partidas pasaban por éstos cumpliendo con sus labores para aportar al proceso constructivo. Dependiendo de la naturaleza de las operaciones asociadas a cada partida y de la planificación realizada, los distintos tipos de cuadrillas trabajaban de forma paralela o secuencial. Así, por ejemplo, operaciones de montaje de enfierradura y de colocación de pasadas eléctricas y sanitarias podían ejecutarse de forma paralela; no así operaciones de montaje de moldajes y hormigonado. Asimismo, de acuerdo con la planificación y a la naturaleza de las actividades y tareas propias de cada tipo de cuadrilla, éstas se ejecutaban en forma paralela o secuencial. Así, por ejemplo, la cuadrilla de moldajeros podía ejecutar tareas de “Montaje” (o “Descimbre”) en paralelo, sin embargo, no se podían realizar tareas de “Montaje” y “Descimbre” al mismo tiempo, esto en particular se explica más adelante.

Por lo tanto, dentro del proceso constructivo se contaba con distintas operaciones asociadas a diferentes partidas que podían realizarse en forma paralela o secuencial con otras operaciones. Esto mismo sucedía para actividades y tareas relacionadas a una misma partida u operación.

Para implementar la metodología de 2-frentes se debía elegir una operación a analizar en particular. La operación elegida fue una que componía la partida de moldajes, en específico se eligió la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”. Los motivos para elegir esta operación fueron, principalmente, que la constructora a cargo del proyecto estaba teniendo bajos niveles de productividad en esta operación generando retrasos en la planificación que se tenía, por lo que se quería saber cuáles eran los niveles de productividad que estaban obteniendo y cuál sería el nivel de productividad óptimo al que debían aspirar. Además, se presumió que para esta operación resultaría más fácil y factible realizar la implementación de la metodología.

El sistema de moldajes que la constructora implementaba consistía en paneles de aluminio manuportables. El montaje se realizaba por pisos, es decir, se montaban los muros y losas de un piso para que luego se vertiera el hormigón de los muros y losa en una sola operación. Este sistema permitía que se dejara fraguando el hormigón durante toda la noche, y, así, al otro día en la mañana, se pudiese descimbrar los paneles evitando las pérdidas de tiempo dentro de la jornada laboral debido al fraguado del hormigón.

Para la operación elegida se pudieron identificar una serie de tareas que se llevaban a cabo de forma reiterada en la construcción de cada *pareo*, es así que la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso” se desagregó en 12 tareas principales siguiendo una estructura jerárquica de desagregación. Las 12 tareas son las siguientes:

- (1) Montar Paneles de Muro Interiores.
- (2) Montar Paneles de Muro Exteriores.
- (3) Montar Paneles de Piezas Especiales.
- (4) Montar Paneles de Losas.
- (5) Montar Enfierradura de Losa.
- (6) Hormigonar.

- (7) Descimbrar Paneles de Piezas Especiales.
- (8) Descimbrar Paneles de Muro Interiores.
- (9) Descimbrar Paneles de Muro Exteriores.
- (10) Descimbrar Paneles de Losa.
- (11) Transporte de Paneles y Piezas de Moldaje.
- (12) Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje.

Además, también se identificaron tareas correspondientes a labores de (13) Apoyo y de acciones (14) No-Contributivas.

Las tareas de “Montaje” y “Descimbre”, además de las acciones de “Apoyo” y “No-Contributivas”, se realizaban por la cuadrilla de moldajeros; las tareas de “Montaje de Enfierradura” las realizaban cuadrillas de enfierradores; y la tarea de “Hormigonado” la realizaba una cuadrilla de concreteros.

Todas estas tareas se realizaban de forma paralela y/o secuencial dependiendo de la naturaleza de cada una y de la forma en que el supervisor a cargo ordenara que se ejecutaran. Debido a esto último, en algunas ocasiones, las tareas se realizaban de forma secuencial y en otras en paralelo, esto se podía hacer siempre y cuando la naturaleza de las mismas tareas lo permitiera. Por estas razones, de la secuencia constructiva se debe destacar lo siguiente: previo al montaje de los paneles de los muros, la enfierradura de éstos debía estar ya montada; y que, luego del montaje de los paneles de losa, se podía iniciar con el montaje de la enfierradura de la losa; además, para poder verter el hormigón, se debía tener terminadas todas las tareas de montaje de moldajes y de montaje de la enfierradura de la losa.

Por lo antes descrito, es claro que dentro del ciclo “Montaje de los Paneles de Moldajes del Primer Piso” se debe incluir las tareas “Montar Enfierradura de Losa” y de “Hormigonado”, ya que influyen de forma significativa en la secuencia constructiva que se debía llevar a cabo. No así el montaje de la armadura de los muros, ya que esta tarea se realizó de forma previa al inicio de las tareas de “Montaje” de los moldajes. Para que no influyera en el inicio de los ciclos, en la obra se determinó avanzar de forma importante en la instalación de las enfierraduras de los muros de todos los *pareos* antes de empezar con los ciclos de montaje. Es así que, al momento de empezar con los ciclos de montaje de los moldajes de muro del primer piso, se contaba con varias casas que tenían las enfierraduras de sus muros ya montadas. Esta es la razón de por qué esta tarea se dejó fuera del ciclo analizado.

En la figura 31 se muestra un esquema general del ciclo “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”. De este esquema resulta fácil ver que, por ejemplo, las tareas de “Montaje” y “Descimbre” no se pueden realizar de forma paralela dada su naturaleza, sin embargo, algunas tareas de “Montaje” de algunas piezas si se pueden realizar en paralelo, como por ejemplo el “Montaje de Paneles de Muro Exterior” y el “Montaje de Paneles de Losa”; lo mismo ocurre para algunas tareas de “Descimbre”, entre otras.

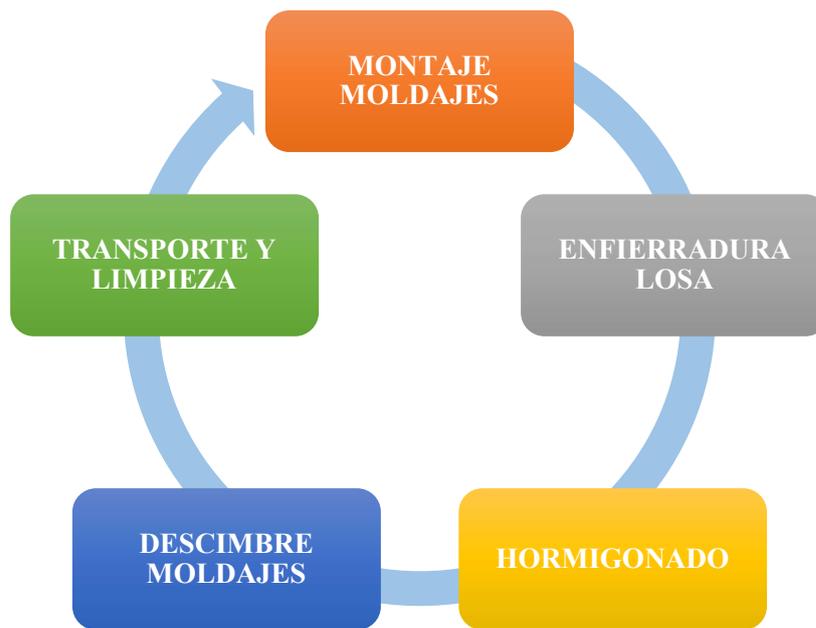


Figura 31: Ciclo de Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso.

Como se mencionó antes, la operación analizada se desagregó siguiendo una estructura jerárquica de desagregación. La operación o actividad se desglosa en tareas y las tareas en acciones. En la figura 18 de la sección 3.2.2.1 se muestra un esquema de la estructura de desagregación jerárquica. En las tablas 1 y 2 se muestra la estructura jerárquica de desagregación de la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso”.

Tabla 1: Estructura Jerárquica de Desagregación del “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso”.

Actividad/Operación	Tarea	Acción
Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso	Montar Paneles de Muro Interiores	<ul style="list-style-type: none"> Levantar panel Situar panel en posición Sostener panel Ajustar cerrojos Colocar tornillos de anclaje Apretar tuercas de tornillos de anclaje
	Montar Paneles de Muro Exteriores	<ul style="list-style-type: none"> Levantar panel Situar panel en posición Sostener panel Ajustar cerrojos Colocar tornillos de anclaje Apretar tuercas de tornillos de anclaje
	Montar Paneles de Piezas Especiales	<ul style="list-style-type: none"> Levantar paneles/piezas Situar panel/pieza en posición Sostener panel/pieza Ajustar cerrojos Ajustar cerrojos de tornillo Ajustar cerrojos de los <i>tapes</i> Colocar tornillos de anclaje Apretar tuercas de tornillos de anclaje Ajustar puntales

Tabla 2: Continuación Tabla 1.

Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso	Montar Paneles de Losa	<ul style="list-style-type: none"> • Levantar panel/<i>transición</i> • Situar panel/<i>transición</i> en posición • Sostener panel/<i>transición</i> • Ajustar cerrojos • Ajustar cerrojos de tornillo • Situar puntales • Enganchar losa a cabeza de puntales • Nivelar puntales • Nivelar losa
	Montar Enfierradura de Losa	-No se analizó a nivel de acción-
	Hormigonado	-No se analizó a nivel de acción-
	Descimbre de Paneles de Piezas Especiales	<ul style="list-style-type: none"> • Soltar y remover cerrojos de los <i>tapes</i> • Soltar y remover cerrojos • Soltar y remover cerrojos de tornillo • Soltar tuercas de tornillos de anclaje • Remover tornillos de anclaje • Remover/Cambiar puntales • Remover panel/pieza
	Descimbre de Paneles de Muro Interiores	<ul style="list-style-type: none"> • Soltar y remover cerrojos • Soltar tuercas de tornillos de anclaje • Remover tornillos de anclaje • Remover panel
	Descimbre de Paneles de Muro Exteriores	<ul style="list-style-type: none"> • Soltar y remover cerrojos • Soltar tuercas de tornillos de anclaje • Remover tornillos de anclaje • Remover panel
	Descimbre de Paneles de Losa	<ul style="list-style-type: none"> • Soltar y remover cerrojos • Soltar y remover cerrojos de tornillo • Remover <i>transición</i> • Remover panel • Remover/Cambiar puntales
	Transporte de Paneles y Piezas de Moldajes	<ul style="list-style-type: none"> • Transportar moldajes • Cargar coloso • Descargar coloso • Acopiar paneles y piezas
Limpeza de Paneles y Piezas de Moldajes	<ul style="list-style-type: none"> • Remover restos de hormigón seco • Aplicar desmoldante 	

Las tareas del ciclo analizado las realizaba, principalmente, una cuadrilla de moldajeros compuesta por: 5 maestros carpinteros de primera, 2 ayudantes, 2 maestros en labores de apoyo y 2 o 3 jornales, es decir, un total de 11 trabajadores aproximadamente.

Hay que destacar que la rotación de personal es un factor no menor, ya que durante las jornadas de recolección de datos el tamaño de la cuadrilla variaba. Estas variaciones se debieron a distintos motivos. Uno de estos fue que un trabajador se accidentó, por lo cual se ausentó durante prácticamente todo el período de mediciones; otro motivo recurrente era que con cierta frecuencia algún trabajador se ausentaba; en otras ocasiones los trabajadores no permanecían en la obra durante toda la jornada laboral. Además, se debe mencionar que muchas veces la operación analizada se llevaba a cabo en paralelo con otras operaciones de montaje de moldajes (por ejemplo,

de muros de un segundo piso), por lo que la dotación de trabajadores variaba mucho incluso por labores dentro de la obra, repartiéndose éstos en distintas actividades y/o zonas de trabajo.

Hay que recordar que en el ciclo analizado también se consideraron tareas que ejecutaban cuadrillas distintas a la de moldajeros, sin embargo, el estudio se enfocó en analizar exclusivamente las actividades que desarrollaban los integrantes de la cuadrilla de moldajeros.

El detalle de las tareas y acciones que componen la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso”, mostradas en la tabla anterior se describe en el Anexo A. Un ejemplo del detalle de la tarea “Montar Paneles de Muro Interiores” -primera tarea de la secuencia- y sus acciones se muestra a continuación. La descripción de algunas piezas especiales, como los *tapes* y *box-windows*, se encuentran dentro del detalle de las tareas y acciones explicadas en la sección A.3 y A.4 del Anexo A.

Montar Paneles de Muro Interiores.

La primera tarea involucrada en la secuencia lógica de la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso” es colocar en la posición correspondiente los paneles de muro interiores, es decir, todos los paneles de muro que van por el interior de las casas. Los trabajadores encargados de la realización de esta tarea ejecutaban las acciones que se muestran en la tabla 3. Las acciones no siempre eran ejecutadas de la misma manera y en el mismo orden por los distintos trabajadores, ya que las realizaban según como más les acomodara.

Tabla 3: Descripción de cada Acción involucrada en la Tarea de Montar Paneles de Muro Interiores.

Tarea	Acción	Descripción
Montar Paneles de Muro Interiores	Levantar panel	<ul style="list-style-type: none"> Los paneles se acopiaban apoyados en el suelo, por lo que había que levantarlos para colocarlos en su posición.
	Situación panel en posición	<ul style="list-style-type: none"> Cada panel tenía una cierta posición asignada según los planos de moldaje, los trabajadores ordenaban los paneles según estos planos.
	Sostener panel	<ul style="list-style-type: none"> Cuando los paneles eran situados en su posición, los trabajadores los sostenían para que mantuvieran la posición vertical y para colocarlos al lado de otro panel.
	Ajustar cerrojos	<ul style="list-style-type: none"> Cuando se tenían dos paneles colocados uno al lado de otro, se ajustaban unos cerrojos para unir los paneles. Con la ayuda de un martillo de goma se golpeaban los cerrojos para apretarlos y así unir los paneles.
	Colocar tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> En la unión entre paneles quedaban dos orificios por donde se colocan los tornillos de anclaje. Los tornillos debían pasar de un lado del muro hasta el otro.
	Apretar tuercas de tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> Por el otro lado del muro de donde se colocaban los tornillos de anclaje, se colocaba una tuerca para apretar los muros y ajustar el espesor de éstos. Las tuercas se apretaban con una llave de carraca.

Esta tarea la realizaban 4 maestros de primera que se separaban en dos equipos de dos maestros cada uno. Cada equipo se preocupaba de montar los paneles de muro de una de las casas del *pareo*. En ocasiones, cuando el supervisor a cargo lo decidía, los ayudantes también ayudaban

en la realización de esta tarea. En la imagen 5 se puede ver a un maestro de primera realizando esta tarea.

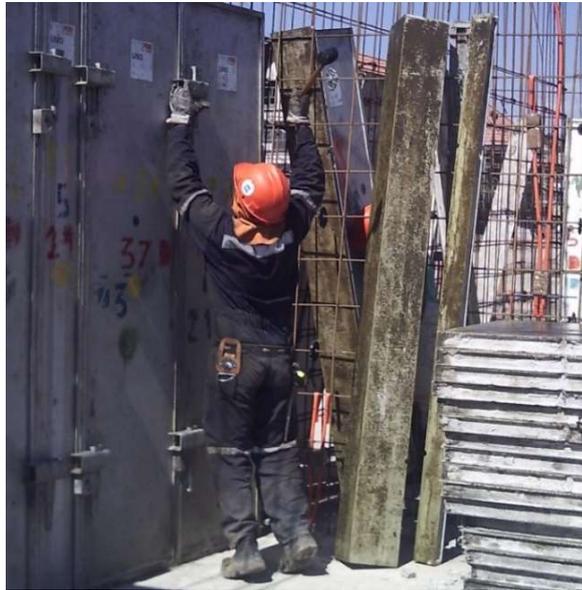


Imagen 5: Tarea de Montaje de Paneles de Muro Interiores por Maestro de Primera.

6.3 Sistema de Recolección de Datos.

El método empleado para realizar la recolección de datos fue diseñado especialmente para este trabajo de memoria. Luego de realizar una revisión bibliográfica de los diferentes métodos y técnicas de medición de productividad de la mano de obra, junto con las tecnologías disponibles para la recolección de datos, se dispuso de una serie de alternativas. Dadas las características propias de la obra, de la operación analizada y de los recursos de tiempo y económicos que se disponían, se optó por diseñar un sistema de medición más práctico, sencillo y fácil de implementar, además de bajo en costo.

El sistema de medición empleado se basó en las técnicas de muestreo de trabajo y de calificación de 5 minutos (Dozzi, S. P. y AbouRizk, S. M., 1993). Consiste en lo siguiente: cada 10 minutos se debían realizar observaciones a los trabajadores que componían la cuadrilla de moldajeros y se anotaba en una planilla la tarea que cada trabajador estaba realizando. Las tareas a observar se determinaron a partir de aquellas que componían la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”. Las observaciones se restringían solamente a la zona en donde se estaba trabajando en la operación analizada, sí a los trabajadores se les asignaba tareas en otros lugares o tareas relacionadas a otra operación distinta a la analizada, simplemente no se registraba en la planilla.

De este modo se tenía un registro de las tareas que efectivamente se estaban llevando a cabo en cierto momento y por cuanta cantidad de trabajadores. Por lo tanto, con los datos recolectados, se puede hacer una estimación del “*tiempo efectivo*” por trabajador que se necesitaba para cada tarea. Para realizar esto, a cada observación se le asignó un tiempo de 10 minutos, ya que los

intervalos entre observaciones duraban esta cantidad de tiempo. Al finalizar el ciclo se contaría con una cierta cantidad de observaciones para cada tarea. Luego, multiplicando por 10 -debido al tiempo que se le asignaría a cada observación-, se puede estimar la cantidad de *tiempo efectivo* por trabajador que se necesita para realizar cada una de las tareas. Los *tiempos efectivos* medidos se obtendrían en la unidad [minutos-hombre].

Esta forma de estimar los tiempos de las actividades resultó ser bastante conveniente, porque permitió estimar las horas-hombres efectivas necesarias para cada tarea independientemente de la cantidad de trabajadores que las realizaban. Además, era más acertado contar con un parámetro que midiera los *tiempos efectivos* en vez de simplemente la duración de las tareas considerando solo el inicio y fin de éstas, ya que las tareas no se realizaban necesariamente de forma continua, es decir, podían interrumpirse para priorizar la realización de otra tarea o actividad. Por lo tanto, debido a la variación en la cantidad de trabajadores asignados a la realización de alguna tarea y la discontinuidad en la realización de éstas, contar con este parámetro de tiempo fue muy importante, porque permitió que las duraciones de las tareas fuesen comparables. En la figura 32 se muestra la planilla en la que se llevó el registro de las observaciones realizadas.

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
(A)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(B)
8:00													
8:10													
8:20													
8:30													
8:40													
8:50													
9:00													
9:10													
9:20													
9:30													
9:40													
9:50													
10:00													
10:10													
10:20													
10:30													
10:40													
10:50													
11:00													
11:10													
11:20													
11:30													
11:40													
11:50													
12:00													
12:10													
12:20													
12:30													

Figura 32: Planilla de Muestreo de Actividades cada 10 minutos. Ficha B.

De todas formas, se registraron los tiempos de las “*duraciones cronológicas*”, es decir, la duración entre inicio y fin de todas las actividades. Pese a que esta información pierde relevancia debido a factores como la discontinuidad en la realización de las tareas y la variación en la dotación de trabajadores, era importante registrar esta información para poder darle contexto a los datos recolectados. A pesar de que el estudio no se enfocó en las tareas de montaje de la enfierradura de la losa y el hormigonado, igualmente se registraron los tiempos de *duración cronológica* de éstas, ya que estas tareas estaban consideradas dentro del ciclo analizado, razón por la cual esta

información era significativa. Por su naturaleza, las tareas de Apoyo y No-Contributivas no se registraron, ya que no presentan un inicio y fin claro. En la figura 33 se muestra la planilla en la que se llevó el registro de las *duraciones cronológicas* de las actividades.

Actividad	Inicio	Término	Duración	Observaciones
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1) Descimbrar Panel Int.				
(2) Descimbrar Panel Ext.				
(3) Descimbrar Panel Losa				
(4) Descimbrar Piezas Esp.				
(5) Transporte				
(6) Limpieza				
(7) Montar Panel Int.				
(8) Montar Panel Losa				
(9) Montar Panel Ext.				
(10) Montar Piezas Esp.				
(11) Enfierradura				
(12) Hormigón				

Figura 33: Planilla de Duraciones Cronológicas de Actividades. Ficha A.

Las mediciones se realizaron durante toda la jornada laboral, la cual comprendía desde las 8:00 hasta las 18:00, entre 12:30 y 13:30 se interrumpía la jornada por colación. Las actividades se iniciaban de manera efectiva a las 8:30, ya que los primeros minutos de la jornada se utilizaban para charlas de seguridad o planificación. Se realizó la medición de un total de 7 ciclos, que corresponde a 7 *pareos* del modelo B1 de la primera etapa. Sin embargo, sólo se obtuvieron datos de forma correcta de un total de 5 ciclos. El proceso de recolección de datos se llevó a cabo durante el mes de febrero de 2017, más específicamente desde el 30 de enero de 2017 al 22 de febrero de 2017.

Para el registro de la información los inicios de ciclo se consideraron con las tareas de “Descimbre” y los fines de ciclos con la tarea de “Hormigonado”. Lo anterior obedece a que recurrentemente se descimbraban los moldajes de un *pareo* y rápidamente eran transportados para iniciar con las tareas de “Montaje” del siguiente *pareo*, o bien, se realizaban estas tareas en paralelo. Por lo tanto, resultaba más práctico hacer esta consideración para poder tener un proceso de medición continuo de los datos que se iban observando.

6.4 Implementación de la Metodología con Enfoque de 2-Frentes.

Con el objetivo de evaluar la aplicabilidad del cambio de enfoque propuesto en el capítulo 3 de la presente memoria, es que se implementó en obra la metodología de 2-Frentes. Con esto se busca determinar el nivel de productividad óptima de la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”, el cual supone el nivel de productividad al que la constructora debería aspirar en sus siguientes operaciones -de características similares-, luego de haber realizado un completo análisis, tanto cualitativo como cuantitativo, de las características y condiciones de la obra y de las secuencias de trabajo implementadas en terreno.

Una vez realizadas las mediciones en terreno, se contó con la información necesaria para estimar los valores de los conceptos propuestos en el capítulo 3 de esta memoria. Usando la información recolectada con el sistema de medición implementado en obra, se determinaron los valores de la productividad actual y de la productividad frontera. Para estimar las ineficiencias operacionales y el límite inferior de la productividad óptima se utilizó un modelo de eventos discretos que fue alimentado con la información recolectada en terreno. Para estimar las ineficiencias del sistema y el límite superior de la productividad óptima se usó un modelo cualitativo de factores (explicado en la sección 3.2.1.2) alimentado con información recolectada de una encuesta que se realizó a responsables e involucrados en la supervisión y ejecución de la operación estudiada. Finalmente, del promedio de los límites superior e inferior de la productividad óptima, se logró estimar el valor de la productividad óptima para esta operación. En las siguientes secciones se abordará en detalle de qué manera se determinaron estos valores.

6.4.1 Estimación de la Productividad Actual.

De las mediciones en terreno se pudieron estimar los *tiempos efectivos* empleados en la realización de cada una de las tareas que componían la operación estudiada. Los *tiempos efectivos* que fueron utilizados en la determinación de los niveles de productividad son de aquellas tareas que la cuadrilla de moldajeros tenía que realizar. Por lo tanto, los tiempos empleados en las tareas de “Montaje de Enfierradura de Losa” y “Hormigonado” no se utilizaron. Recordar que la unidad de tiempo utilizada en esta memoria es la [hora-hombre] ([minuto-hombre] o [hombre-día]).

El avance de los metros cuadrados de paneles de moldaje instalados por cada *pareo* se determinó a partir de los planos de moldaje que facilitó la empresa PERI, proveedora del sistema de moldajes utilizado en obra, a la empresa constructora.

El número de trabajadores a disposición que integraban la cuadrilla de moldajeros y que realizaban las tareas de la operación analizada, fue de 11 integrantes la mayor parte del tiempo. Este número podía variar debido a múltiples razones en las que no se entrará en detalle. Sin embargo, al utilizar la unidad de tiempo establecida para el cálculo de los niveles de productividad, el número variable de integrantes de la cuadrilla no altera los resultados de estos cálculos.

Por lo tanto, para cada ciclo se cuenta con el dato del avance que corresponde a cada *pareo* obtenido de los planos de moldaje. De las mediciones realizadas se estimaron los *tiempos efectivos*

empleados en cada tarea y ciclo de la operación. Finalmente, conociendo estos dos valores, se puede determinar el nivel de productividad actual de la operación para cada ciclo y para el total de la operación medida.

6.4.2 Estimación de las Ineficiencias Operacionales.

Para estimar las pérdidas debido a las ineficiencias operacionales se utilizó un programa de simulación de eventos discretos (*Discrete Event Simulation, DES*) para modelar la secuencia constructiva que se estaba ejecutando en terreno, y, así, poder diferenciar dos escenarios: el escenario actual, el cual permitiese obtener resultados que concordaran con los resultados obtenidos de las mediciones realizadas y así poder validar el modelo diseñado; y el escenario artificial, del cual se removieran las acciones no-contributivas asociadas a las pérdidas debido a las ineficiencias operacionales y, de este modo, obtener resultados que permitiesen estimar el límite inferior de la productividad óptima.

El programa utilizado para la modelación fue el software ARENA®. Este programa fue escogido debido a que es ampliamente usado para este tipo de objetivos, además, en los trabajos de Kisi, P. K. (2015), Kisi, P. K. et al. (2014) en que se basó esta memoria, se utilizó este software para la estimación de las pérdidas debido a las ineficiencias operacionales.

En primer lugar, se realizó un esquema de la operación estudiada que simulara la secuencia constructiva que se realizaba en terreno. Este esquema debía ser una cadena de procesos diferenciables entre sí y que respetara una secuencia lógica. Para cada uno de estos procesos, se mediría el tiempo que emplearían los integrantes de la cuadrilla de moldajeros en ejecutarlos, con el objetivo de disponer de datos que permitiesen alimentar el modelo. Estos procesos se hicieron coincidir con las tareas en que se desglosó la operación analizada.

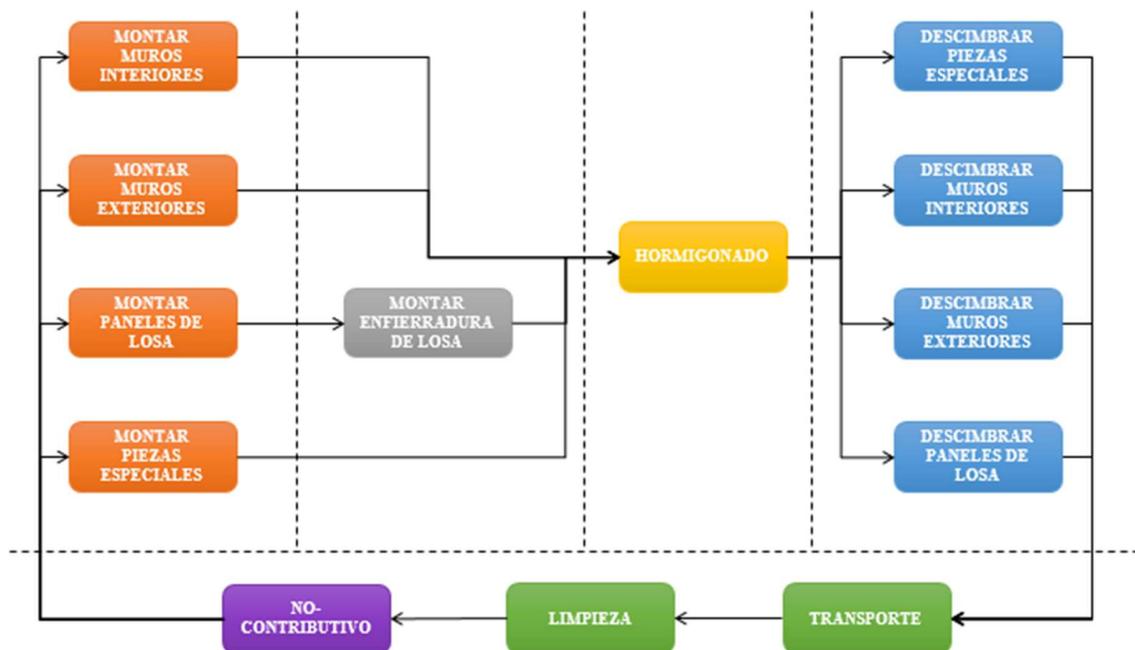


Figura 34: Esquema de Secuencia Constructiva de la Operación "Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso."

No existían fuertes relaciones de dependencia entre las tareas del mismo tipo, por lo que no fue extraño que se haya podido trabajar en paralelo en ellas, como se muestra en el esquema de la figura 34. A pesar de esto, sí se contaba con un orden lógico básico de referencia para las tareas de “Montaje” y “Descimbre” y que, en general, en terreno se respetó, por lo que, las relaciones de dependencia observadas serán descritas.

En el caso de las tareas de “Montaje”: para montar los paneles de losa, debían estar montados los paneles de muro interiores; y, para montar los *tapes* de las piezas especiales, se debía tener montado los paneles de muro interiores y exteriores. Por lo tanto, respetando el orden descendente en que se muestran las tareas en el esquema de la figura 34, se respetan las relaciones de dependencia.

En el caso de las tareas de “Descimbre”: se partía desmontando los *tapes* de las piezas especiales, ya que estos impedían el descimbre de los paneles de muro de los comienzos y finales de muro; y, para descimbrar los paneles de losa, debían estar desmontados los paneles de muro interiores. Por lo tanto, al igual que en el caso anterior, respetando el orden descendente en que se muestran las tareas en el esquema de la figura 34, se respetan las relaciones de dependencia.

El resto de las relaciones de dependencia son más intuitivas y se deben a la naturaleza de los tipos de tareas que se tienen, por ejemplo, no es lógico pensar que se puede hormigonar antes de que finalicen las tareas de montaje. Estas relaciones de dependencia fueron extensamente explicadas en la sección 6.2 de la presente memoria, en donde se abordó en detalle el ciclo de tareas ejecutado.

Hay que destacar que el cuadro de las acciones no-contributivas se agregó al final del ciclo, pero en realidad las acciones no-contributivas están presentes en toda la secuencia. Se esquematizó de esta manera debido a que la forma de medición empleada contaba con la particularidad de que los tiempos calculados eran *tiempos efectivos* en que los trabajadores se suponía que realizaban sus labores, por lo que, cuando los trabajadores incurrieran en una acción no-productiva se contabilizaban como si fueran una tarea independiente. Por lo tanto, para considerar en el ciclo el efecto de los tiempos perdidos en acciones no-contributivas, se decidió incorporar un proceso al final de la secuencia que contuviese esta información.

Luego, el esquema se ingresó al programa indicado. Con los módulos del software ARENA® se diseñó un modelo que representara la secuencia mostrada en la figura 34. El resultado de las combinaciones de módulos que representa la secuencia constructiva de la operación estudiada se puede observar en las imágenes 6, 7 y 8. El modelo contempla la realización de 7 ciclos.

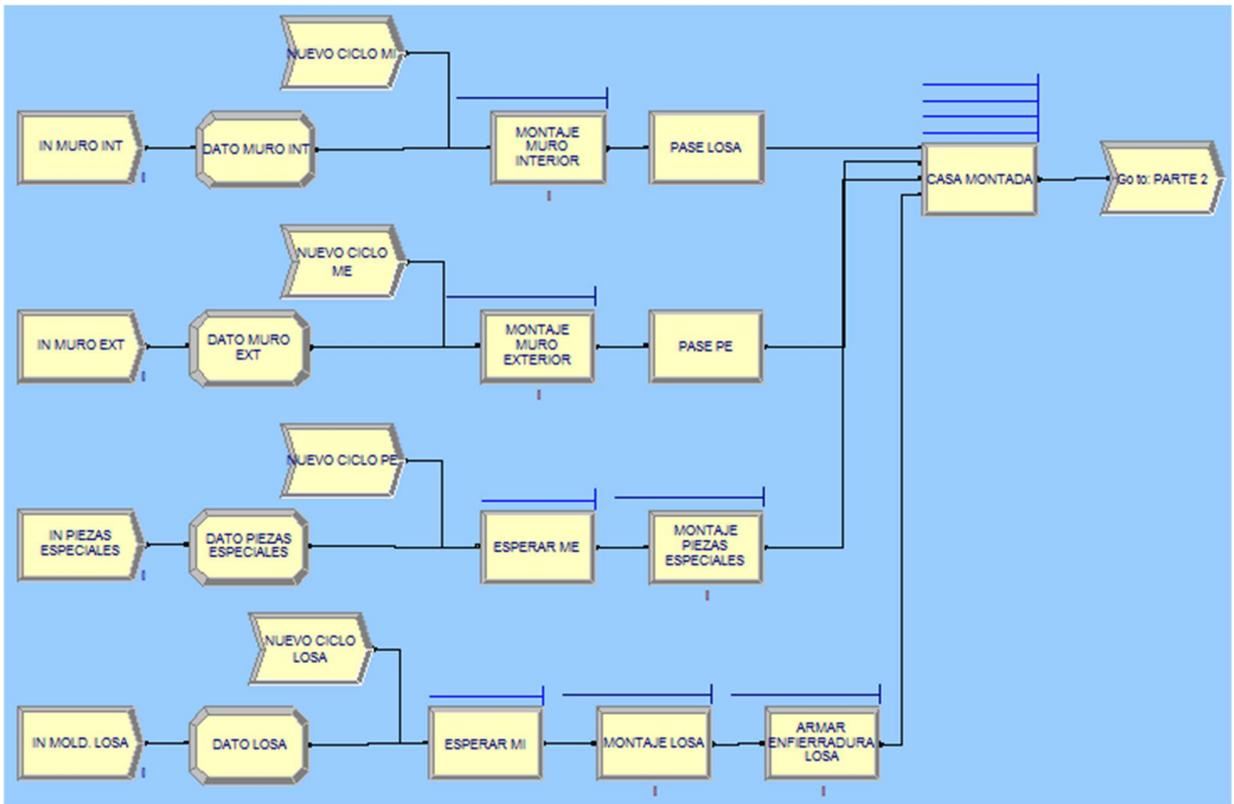


Imagen 6: Modelo en Software Arena® de la Operación "Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso" (Parte 1).

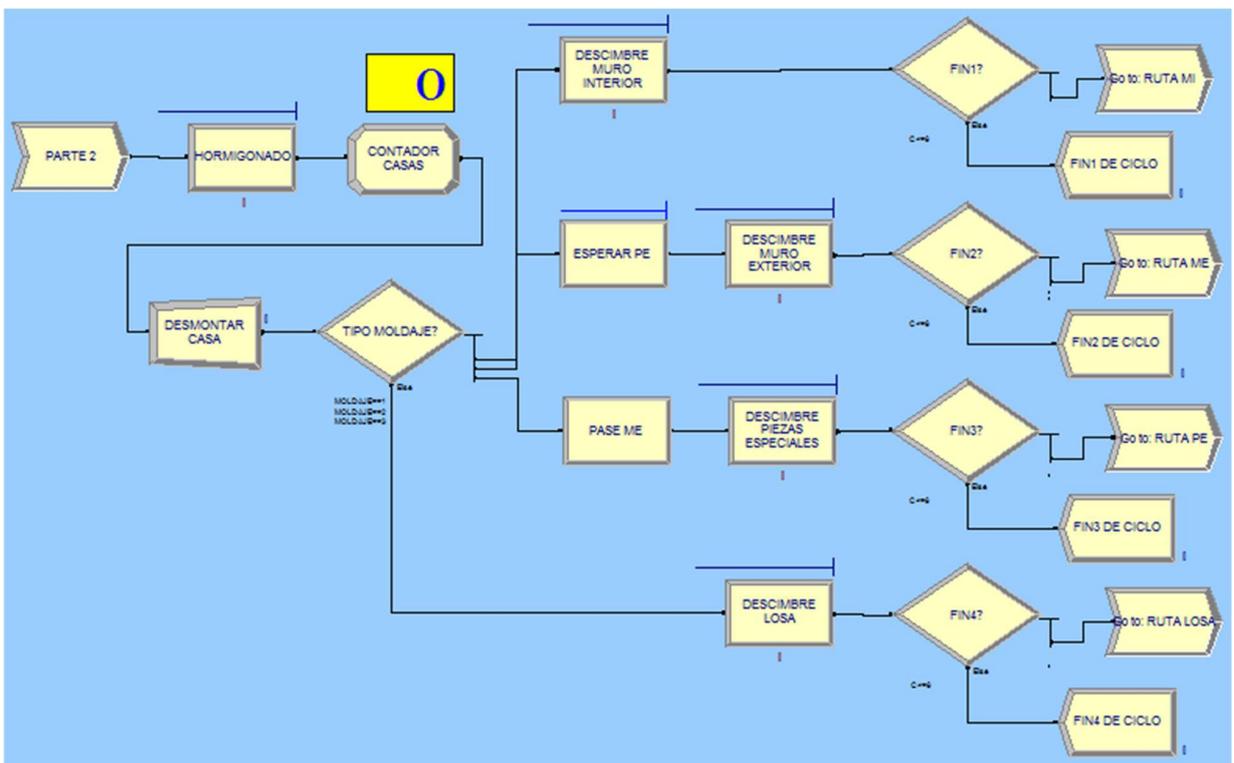


Imagen 7: Modelo en Software Arena® de la Operación "Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso" (Parte 2).

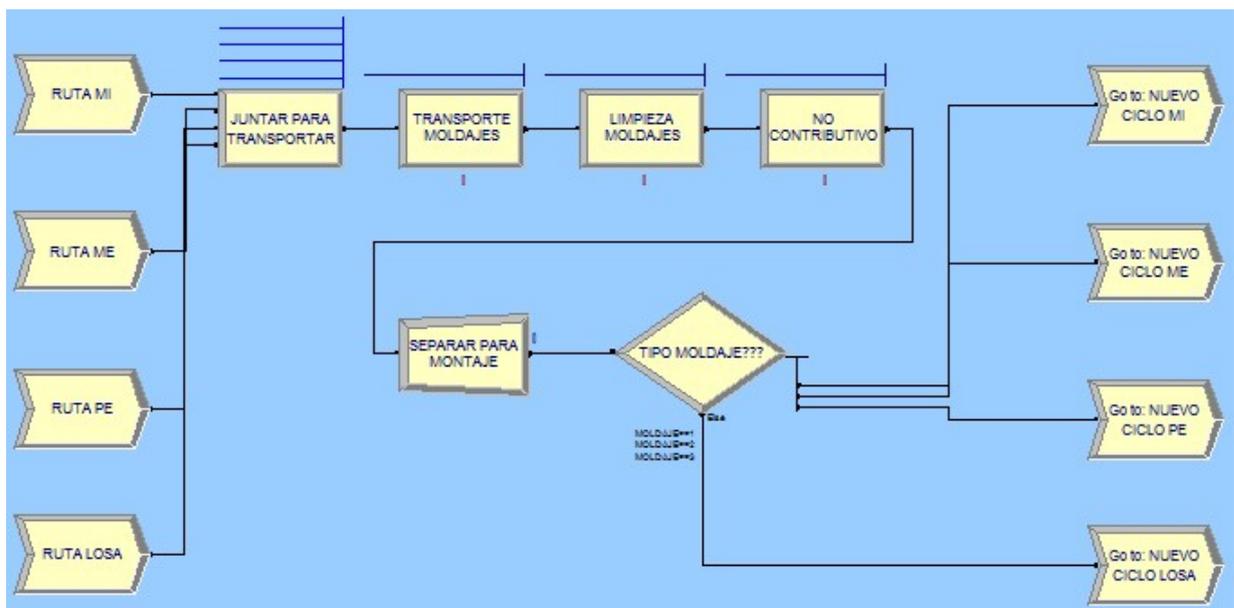


Imagen 8: Modelo en Software Arena® de la Operación "Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso" (Parte 3).

Para la simulación del modelo, los procesos requerían que se ingresara la información de los recursos que se necesitaban para su ejecución y especificar como se estimaría los tiempos de demora de cada proceso. La información de los recursos que se debía ingresar se asoció a: la dotación ideal de personal asignada para la ejecución de cada tarea; y la disponibilidad de la zona de trabajo para que los trabajadores pudiesen desempeñar sus funciones correctamente. De esta forma se simuló que, para ejecutar cualquier tarea, se debía disponer de trabajadores desocupados y de las condiciones de trabajo mínimas para que éstos ejecutaran sus labores.

La duración de los procesos se debía estimar ajustando distribuciones probabilísticas a los datos de tiempo de cada uno de los procesos (Kisi, P. K., 2015). En el caso particular del estudio realizado, no se pudieron realizar los ajustes que se pretendían, ya que la cantidad de datos de tiempo que se disponía para cada una de las tareas era poca para obtener buenos ajustes a distribuciones probabilísticas. Por lo tanto, se optó por suponer que los tiempos de duración de los procesos se ajustarían a distribuciones normales de probabilidad y que los parámetros de desviación estándar y promedio de los datos de tiempo de cada una de las tareas caracterizarían estas distribuciones.

Este no fue el único inconveniente para determinar los tiempos de duración de los procesos del modelo, ya que, para que éste no entregara resultados erróneos, los tiempos calculados a partir de las mediciones realizadas en terreno debían ser transformados a unidades de tiempo básicas. Es decir, los *tiempos efectivos* medidos en unidades de [horas-hombre] debían ser transformados a duraciones medidas en unidades de tiempo de [horas] (o de [minutos-hombre] a [minutos]). Con la dotación ideal de personal establecida para cada tarea, se logró realizar la transformación de una unidad a otra.

Tabla 4: Dotación Ideal para las Tareas de la Operación "Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso".

Tareas	M1	M2	Total Trabajadores
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	4	0	4
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	0	4	4
Descimbrar Paneles de Losa	4	0	4
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	2	4	6
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	6	4	10
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	6	4	10
Montar Paneles de Muro Interiores	4	0	4
Montar Paneles de Losa	4	0	4
Montar Paneles de Muro Exteriores	2	4	6
Montar Paneles de Piezas Especiales	2	4	6
No – Contributivo	6	4	10

La cuadrilla de moldajeros ideal la componen 10 trabajadores: 6 maestros de primera (M1) y 4 ayudantes (M2). Sólo se incluye la dotación de las tareas que involucran a los moldajeros. La asignación realizada para la dotación ideal se basó en el análisis de dotación que se muestra en la sección 7.2.3.3 del cual se concluyó que la cuadrilla ideal y asignación de personal por tarea debía ser la indicada en la tabla 4.

Con la dotación ideal de trabajadores para cada tarea, se hizo la transformación de una unidad a la otra dividiendo los *tiempos efectivos* por la dotación de trabajadores propuesta. Con los nuevos datos de los tiempos en unidades básicas de tiempo, se calculó la desviación estándar y promedio de los datos para caracterizar las distribuciones normales de probabilidad que determinaron las duraciones de los procesos en el modelo.

Para las tareas de “Montaje de la Enfierradura de Losa” y “Hormigonado” no se analizaron ni la dotación de personal asignada ni los *tiempos efectivos*, solo se registraron las *duraciones cronológicas* de estas tareas. Esta información fue la que se utilizó para incluir los datos correspondientes a las duraciones de estos procesos en el modelo. Además, se contó con un par de datos más registrados que fueron utilizados para calcular la desviación estándar y promedio para las duraciones de estos procesos. Recordar que dentro de los ciclos de la operación analizada se incluían estas tareas, por lo que el modelo debía simular esta situación.

Hay que destacar que, como la secuencia constructiva contaba con tareas que no las ejecutaban integrantes de la cuadrilla de moldajeros, se tuvo que hacer una diferenciación en los procesos para contabilizar solo los tiempos que involucraran a los moldajeros. El software permitía diferenciar entre procesos que agregaban valor (VA) y procesos que no agregaban valor (NVA), contabilizando los tiempos de estos por separado. Los procesos que se identificaron como que no agregaban valor fueron aquellos que correspondían a las tareas de “Montaje de la Enfierradura de Losa” y “Hormigonado”, los procesos asociados a las otras tareas se identificaron como que agregaban valor. Por lo tanto, el tiempo considerado en el cálculo de los niveles de productividad se calculó como la diferencia entre el tiempo total de la simulación con el tiempo de ejecución de los procesos considerados como que no agregan valor. Se podía pedir que el modelo se replicara

varias veces en una sola simulación, es por esto que se tomaron los valores promedio de estos tiempos.

Una vez que se ingresó toda la información requerida al modelo, se pudo correr para verificar si el modelo podía ser validado. La validación del modelo corresponde al proceso de comprobar si éste se comporta y entrega resultados similares a los de la operación real. Por lo tanto, en una primera instancia, se corrió el modelo sin remover las acciones no-contributivas, este escenario corresponde al escenario actual. Los niveles de productividad obtenidos de este escenario se compararon con los niveles de productividad obtenidos de las mediciones realizadas en terreno.

Luego, se removieron del modelo las acciones no-contributivas para obtener menores tiempos de ejecución de la operación y así aumentar los niveles de productividad. Este modelo corresponde al escenario artificial, del cual se removió el proceso relacionado a las acciones no-contributivas para así simular una secuencia en que se reducen las pérdidas debido a las ineficiencias operacionales asociadas estas acciones. Por lo tanto, el nivel de productividad obtenido a partir del escenario artificial corresponde a la estimación del límite inferior de la productividad óptima, y, la diferencia entre los niveles de productividad obtenidos en terreno y con el escenario artificial, corresponde a la estimación de las pérdidas debido a las ineficiencias operacionales.

6.4.3 Estimación de la Productividad Frontera.

Para determinar el valor de la productividad frontera se implementaron los enfoques propuestos en la sección 3.2.2.1 con algunas modificaciones, las que se detallan más abajo. Éstos se basan en los trabajos realizados por Mani, N. et al (2014). Ambos enfoques requieren la información de los *tiempos efectivos* determinados a partir del sistema de medición implementado en obra.

El primer enfoque para determinar la productividad frontera (“Duraciones Observadas”) consiste en analizar los datos de *tiempo efectivo* medidos y tomar los menores tiempos obtenidos para cada tarea. Se consideran en el análisis solo los *tiempos efectivos* de las tareas contributivas realizadas por la cuadrilla de moldajeros. Los menores *tiempos efectivos* de cada tarea son sumados para determinar el menor *tiempo efectivo* posible para un ciclo a partir de los datos obtenidos, este dato será llamado “menor duración posible observada”.

El segundo enfoque para determinar la productividad frontera (“Duraciones Estimadas”) se basa en aplicar una mirada probabilística a los datos de tiempo obtenidos de las mediciones realizadas en terreno. Es así que, a los datos de *tiempo efectivo* obtenidos para cada tarea, se ajustan distribuciones de probabilidad que mejor representen la dispersión de los datos. Luego, se debe estimar el menor *tiempo efectivo* de cada tarea tomando el valor que corresponde al quinto percentil (Prob. = 5%) de la curva de distribución. Al igual que en el enfoque anterior, sólo se consideran los *tiempos efectivos* de las tareas contributivas realizadas por la cuadrilla de moldajeros. Estos tiempos se suman para determinar la “menor duración posible estimada” de la operación analizada.

Sin embargo, para este enfoque se tuvo el inconveniente de que la cantidad de datos disponibles para el ajuste de distribuciones probabilísticas era muy pequeña, por lo que no se pudieron ajustar distribuciones de forma correcta. Es por esto que se decidió ajustar los datos a distribuciones normales representadas por sus parámetros de desviación estándar y promedio con el objetivo de poder determinar la productividad frontera con este enfoque.

Finalmente, se debería considerar como el valor de la productividad frontera al mayor nivel de productividad obtenido de los dos enfoques. Sin embargo, como la cantidad de datos que se tenía para el ajuste de distribuciones probabilísticas no permitió realizar un correcto ajuste, se consideró que usar el segundo enfoque podría inducir a grandes errores. Por lo tanto, se prefirió usar el valor obtenido con el primer enfoque, suponiendo que de esta forma se incurre en menos errores y se sigue un procedimiento más correcto. De todas formas, en la sección 7.3.3 se mostrarán los resultados obtenidos para ambos enfoques.

6.4.4 Estimación de las Ineficiencias del Sistema.

Para estimar las pérdidas debido a las ineficiencias del sistema se usó un Modelo Cualitativo de Factores (QFM). El modelo se basa en una técnica de puntuación de gravedad y de probabilidad de ocurrencia de los factores presentes en la obra que afectan a la productividad de la operación estudiada.

Esta información se consiguió a través de un cuestionario que se realizó a integrantes de la obra que tenían directa relación con la operación analizada, ya sea algún grado de responsabilidad en la línea de mando de la obra o trabajadores experimentados en la ejecución de la operación. Estas personas se eligieron por su grado de conocimiento de las condiciones de la obra y de las características de la operación, además de que estaban involucrados en el día a día de las actividades en terreno. Las personas encuestadas corresponden a: el jefe de terreno, el jefe de obra, supervisor a cargo de la partida de moldajes y los dos maestros de primera mejor evaluados. Los factores sobre los que se preguntó en el cuestionario se agregaron luego de haber realizado el proceso de medición, porque de este modo se logró conocer de mejor manera la realidad de la obra. Esto permitió realizar una apropiada evaluación de los factores que estuvieron presentes y que fueron más relevantes a la hora de afectar en la productividad de la mano de obra. En la figura 35 se muestra el cuestionario realizada a los integrantes de la obra.

	FACTOR	Puntos de Gravedad	Probabilidad de Ocurrencia
		(Gi)	(Pi)
1	Problemas/Errores en Planos		
2	Cantidad de Piezas Pequeñas o Especiales de Moldajes		
3	Supervisión en Terreno		
4	Distribución de Modelos de Casa (Layout por Arquitectura)		
5	Lejanía de zona de trabajo a la Instalación de Faena		
6	Elevados Niveles de Ruido		
7	Altos Niveles de Congestión de Trabajadores		
8	Altas Temperaturas		
9	Polvo en Suspensión		
10	Problemas de Coordinación con Otras Partidas		
11	Experiencia de la Mano de Obra		
12	Trabajadores llegan atrasados, salen más temprano, se toman descansos no programados (Durante Jornada Laboral)		
13	Ausentismo de Trabajadores (No Asiste a Trabajar)		
14	Falta de Mano de Obra Capacitada en la Zona		
15	Equipos en Mal Estado		
16	Falta de Herramientas		
17	Falta de Materiales		
18	Accidentes en Terreno		

Figura 35: Encuesta realizada a los Integrantes de la Obra para el Análisis Cualitativo de Factores que Afectan la Productividad de la Mano de Obra.

Además, el modelo también se basa en el cálculo de las ineficiencias a través de la ecuación mostrada en la sección 3.2.2.2. Es importante destacar que esta ecuación se logró simplificar debido a las particularidades de la obra y de la operación estudiada. En primer lugar, las zonas de trabajo en que se intervino durante el estudio realizado tenían las mismas características, en especial en cuanto a la cantidad del insumo involucrado (248,3 m² para todas las zonas de trabajo), por lo tanto, los pesos relativos de las zonas de trabajo eran iguales. Además, se impuso el supuesto de que las características cualitativas de las zonas de trabajo eran las mismas, es decir, los factores que influyen en la productividad de la mano de obra impactan de igual manera independiente de la zona de trabajo en cuestión. Lo antes explicado justifica el poder simplificar la ecuación inicial a la ecuación que finalmente se utilizó en el cálculo de las ineficiencias del sistema. La ecuación simplificada que se usó es la siguiente:

$$\Delta'_{is} = \Delta'_{(PF-PO_{LI})} * \sum_{i=1}^m \left(\frac{S_i * P_i}{TS_i} \right)$$

Donde:

Δ'_{is} = estimación de las pérdidas de productividad por ineficiencias del sistema.

$\Delta'_{(PF-PO_{LI})}$ = estimación de la diferencia entre la productividad frontera y el límite inferior de la productividad óptima.

m = número de factores que afectan la productividad de la mano de obra.

i = factores de ineficiencias del sistema en cada zona de trabajo z .

S_i = puntuación de gravedad del factor de productividad individual i .

P_i = probabilidad del factor de productividad individual i .

TS_i = puntuación total de gravedad (suma de las puntuaciones de gravedad para todos los factores de productividad).

Luego de que se contestaron las encuestas, se tomaron los valores promedio para la puntuación de gravedad y probabilidad de cada factor a partir de los resultados obtenidos. Estos valores promedios son los que se ingresan a la sumatoria de la ecuación del modelo cualitativo de factores. Además, se requiere haber determinado los valores de la productividad frontera y del límite inferior de la productividad óptima para poder estimar las pérdidas de productividad por ineficiencias del sistema.

6.4.5 Estimación de la Productividad Óptima.

En las secciones anteriores se explicaron los detalles de cómo se obtuvieron los resultados para determinar los valores de los conceptos propuestos por la metodología de 2-frentes planteada en los trabajos de Kisi, P. K. (2015), Kisi, P. K. et al. (2014) y Mani, N. et al. (2014) y explicada en el capítulo 3 de esta memoria. Esta metodología propone una visión alternativa a las formas de evaluar y estimar los niveles de productividad de la mano de obra que se usan tradicionalmente.

El haber implementado esta metodología a un caso real de una obra de construcción con características tradicionales cumple con el objetivo planteado de abordar la primera línea de acción propuesta al inicio de este trabajo de memoria, estimando la productividad óptima para una operación determinada. Esta línea de acción hacía referencia a proponer algún cambio respecto del enfoque actual. Es decir, se logró proponer una visión alternativa de cómo evaluar la productividad de la mano de obra, y, además, ésta se implementó para poder sacar conclusiones al respecto.

Una vez determinados los valores de los conceptos propuestos por la metodología de 2-frentes de la forma antes explicada, se puede determinar los valores de los límites inferior y superior de la productividad óptima. Promediando estos valores es posible estimar el valor de la productividad óptima de la mano de obra para la operación de “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”.

Este valor corresponde al nivel de productividad al que la empresa constructora a cargo de la obra debería aspirar para futuras operaciones de características similares. El estudio realizado comprendió el análisis de una serie de aspectos relacionados con las características propias de la obra, ya sea desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. Es por estos motivos que se propone que es más correcto compararse con el nivel de productividad encontrado luego de haber realizado el estudio, que compararse con cualquier otro dato, ya sea de rendimientos históricos o de algún *benchmarking*.

6.5 Análisis Crítico Condiciones de la Obra.

Uno de los objetivos de la presente memoria fue implementar la metodología de 2-frentes en una obra con características más tradicionales a proyectos de edificación que las características presentadas en trabajos previos, en donde la implementación de la metodología se realizó en operaciones que tenían condiciones mucho más controladas y favorables que las que se presentan en la realidad de una obra.

Hay ciertas particularidades que se repiten en cada obra de construcción y que son comunes a cualquier tipo de proyecto de construcción. La implementación de la metodología en el proyecto de edificación de viviendas en extensión “Conjunto Habitacional Buin/Villaseca” tenía como principal objetivo verificar la aplicabilidad de la metodología de 2-frentes a una obra que presentara este tipo de condiciones.

Se realiza un análisis de las principales condiciones que se presentan en cualquier obra de construcción y que estaban presentes en la obra en que se realizó el estudio.

- **Ambiente exterior:** Esta es una de las características más comunes y obvias de cualquier proyecto de edificación. La mayoría de estos proyectos deben lidiar con las condiciones ambientales que se presentan debido a que las operaciones realizadas, en su mayoría, se realizan al aire libre. Debido a esto, los trabajadores se ven afectados por las condiciones climáticas y del entorno en que deben ejecutar sus tareas. Aspectos climáticos como el calor, viento, lluvia, neblina, frío, entre otras, influyen en el rendimiento de los trabajadores. Otros aspectos relacionados al entorno, como la contaminación, nivel de ruido, humedad, entre otros, también pueden afectar a los trabajadores.

En la obra donde se realizó el estudio estaba presente esta característica. En particular, la operación analizada se ejecutaba al aire libre, por lo que los trabajadores eran afectados por las condiciones climáticas y ambientales. En este sentido, las altas temperaturas, los ruidos ambientales y la presencia de viento y polvo eran las principales dificultades que afectaban el rendimiento de los trabajadores.

- **Requerimiento de cumplir con Plazos:** En todo proyecto de construcción, dentro de los compromisos que se adquieren con el mandante, se encuentra el de cumplir con los plazos establecidos en la propuesta del proyecto de construcción. Sin embargo, generalmente las empresas constructoras no consideran apropiadamente, en sus planificaciones, el efecto de ciertas dificultades en la gestión y administración de estos proyectos que se derivan de su alta incertidumbre, numerosas partes interesadas y alto nivel de interdependencia entre sus actividades (Capka, J. R., 2004). Esto se traduce en retrasos en la planificación inicial, por lo que la necesidad de cumplir con los plazos para no incurrir en atrasos es imperante en la gestión de cualquier proyecto de construcción.

En la obra donde se realizó el estudio de productividad este factor estaba presente. Es más, las conclusiones respecto al nivel de productividad que se obtuviera del estudio realizado le servirían a la constructora a cargo de la obra para re-planificar sus operaciones relacionadas a la operación analizada. El estudio realizado fue parte de un plan de mejora de los niveles de productividad que se estaban obteniendo para la partida de moldajes.

- **Flexibilidad:** Otra característica común a toda obra de construcción es la flexibilidad en la asignación de personal a la ejecución de cierta tarea/operación y la flexibilidad en el orden de la ejecución de ciertas tareas. Por lo tanto, dependiendo de los requerimientos según la planificación, se puede manejar la asignación de trabajadores o priorizar la ejecución de ciertas actividades por sobre otras. Muchas veces esto resulta ser una ventaja, ya que si se requiere acelerar el ritmo de cierta actividad se puede hacer una reasignación de recursos o una priorización de actividades de forma sencilla. A modo de ejemplo, si se necesita acelerar el ritmo de tareas de moldaje y enfierradura para poder cumplir con el horario de hormigonado, existe la facilidad para reasignar personal y priorizar ciertas tareas claves para cumplir con lo requerido. Sin embargo, Kisi, P. K. (2015) afirma que la interrupción del trabajo que se está realizando puede reducir la productividad, por lo tanto, se puede acelerar el ritmo de la tarea que se requiere, pero esto mismo merma la productividad de la tarea que se deja de ejecutar.

En la obra donde se realizó el estudio, esta característica de la flexibilidad en la asignación de personal y en la ejecución de las tareas estaba presente. Esto generaba que no se tuviera un número de trabajadores constante en la ejecución de los distintos ciclos de la operación, ya que, en ocasiones, se ejecutaban al mismo tiempo distintas operaciones relacionadas a la partida de moldajes. También sucedió que se interrumpió la ejecución de una cierta tarea priorizando la ejecución de otra que no estaba relacionada con la operación estudiada.

- **Entorpecimiento entre Partidas:** Otra de las características que todo proyecto de construcción presenta es que existe un trabajo multidisciplinario relacionado a la ejecución de trabajos de distinto tipo a la vez y un grado de interdependencia entre éstos. Dado que en un proyecto de construcción se requiere cumplir con múltiples tareas relacionadas distintas especialidades - como carpintería, enfierradura, movimiento de tierras, pintura, cableado eléctrico, entre otras - es que se necesitan cuadrillas de trabajadores con distintas funciones para contribuir al proceso constructivo. Estas cuadrillas deben ejecutar sus trabajos de forma paralela intentando no interrumpir ni afectar los trabajos de las otras cuadrillas. Sin embargo, no siempre sucede así entorpeciendo entre cuadrillas de distintas partidas, generando malas condiciones de trabajo. También hay trabajos que requieren de la finalización de labores previas generando dependencia entre algunas operaciones. Por lo tanto, el retraso en la ejecución o finalización de cierta tarea puede generar el atraso en las labores posteriores de otra cuadrilla.

En la obra donde se realizó el estudio ocurrieron situaciones relacionadas a este punto. En varias ocasiones sucedió que las labores de la cuadrilla de moldajeros se entorpecía con la

de los enfierradores. Sin embargo, esto no significó grandes inconvenientes en la ejecución de la operación estudiada. No así para otra operación relacionada a la partida de moldajes, ya que en una oportunidad sucedió que se requería el armado de varios cuerpos de andamios para que la cuadrilla de moldajeros pudiese trabajar en el montaje de moldajes de un segundo piso, sin embargo, la cuadrilla encargada de la instalación de los andamios se retrasó lo que impidió que se trabajara en ese segundo piso. Este ejemplo sirve para mostrar como el retraso en la finalización de las tareas de una partida puede afectar en las labores de una cuadrilla de otra partida.

- **Requerimientos de Obra Calificada:** Otro aspecto común en proyectos de construcción es que, para la ejecución de ciertas labores, se necesita de mano de obra capacitada y con experiencia en cierto tipo de trabajo. En ocasiones, se decide implementar sistemas nuevos para aumentar los niveles de productividad, sin embargo, éstos requieren de personal que esté familiarizado con dicho sistema.

En particular, en la obra donde se realizó el estudio de productividad, se implementó un sistema de moldajes especial. No todos los integrantes de la cuadrilla de moldajeros estaba familiarizado con este sistema, por lo que los rendimientos entre los mismos moldajeros era dispar. Los integrantes más capacitados eran capaces de instalar todas las piezas del set de moldajes, sin embargo, algunos trabajadores no estaban familiarizados con este sistema, por lo que eran capaces de instalar solo algunas piezas.

7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En los capítulos anteriores se indagó en las 3 líneas de acción propuestas al inicio de este trabajo de memoria. Además, en el capítulo 6 se especificó en qué consistió la experiencia en terreno, explicando en detalle el procedimiento de recolección de datos. En el presente capítulo se abordan los análisis realizados a los datos registrados en el proceso de medición con el objetivo de obtener conclusiones que permitan determinar los niveles de productividad que la empresa constructora solicitó al inicio de la implementación del estudio de productividad y, además, comprobar la factibilidad de la implementación de los aportes propuestos en un proyecto de construcción en extensión.

Para los análisis de los datos recolectados se implementó la metodología propuesta en los trabajos de Kisi, P. K. (2015), Kisi, P. K. et al. (2014) y Mani, N. et al. (2014), que se explicaron en el capítulo 3 de esta memoria. Los datos obtenidos del proceso de medición sirvieron para determinar los valores a utilizar para aplicar esta metodología. Finalmente, los análisis realizados permitieron determinar un valor de productividad óptima para la operación estudiada al cual la empresa constructora debería aspirar en futuras operaciones de características similares.

En el proceso de medición se registró información para un total de 5 ciclos correctamente medidos de un total de 7 ciclos, todos correspondientes a modelos de *pareos* de casa B1. El proceso de medición se llevó a cabo durante el mes de febrero de 2017. El detalle de las mediciones realizadas se puede ver en el Anexo B, donde se incluyen los registros de los datos recolectados en terreno.

7.1 Datos Recolectados.

El sistema de recolección de datos empleado permitió recolectar información sobre las tareas de la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso” que estaban ejecutando los trabajadores de la cuadrilla de moldajeros. Con esta información se pudo determinar los *tiempos efectivos* que se necesitaban para la realización de cada una de las tareas involucradas en la operación, además de los *tiempos efectivos* empleados en labores de apoyo y en acciones no-contributivas. También, se obtuvieron las *duraciones cronológicas*, las cuales fueron relevantes al proporcionar el contexto en el cual los datos anteriores fueron medidos.

Hay que destacar que en el caso de las tareas que no fueron analizadas en profundidad, es decir, para el montaje de la enfierradura de losa y el hormigonado, la información proporcionada por sus *duraciones cronológicas* fue la que se consideró a la hora de analizar los ciclos, ya que no se midieron *tiempos efectivos* de éstas al no ser ejecutadas por miembros de la cuadrilla de moldajeros; de estas tareas lo único importante para el estudio de productividad era saber cuál era su duración.

El proceso de recolección de datos se explicó en detalle en la sección 6.3 de la presente memoria, la descripción de la operación y la secuencia estudiada se detalló en la sección 6.2, y el detalle de las tareas y acciones registradas se muestra en el Anexo A.

La unidad que se usó en este trabajo de memoria para determinar los niveles de productividad fue “metros cuadrados de superficie de moldaje instalada por hora-hombre”, es decir, cuántas unidades del insumo fueron instaladas por cierta cantidad de trabajadores en cada unidad de tiempo. Los valores correspondientes a las unidades de tiempo se obtuvieron a partir del sistema de medición de datos que se implementó en la experiencia en terreno. Las unidades del insumo correspondiente al avance logrado en cada ciclo se obtuvieron de los planos del proyecto.

De los planos de moldajes de un *pareo* tipo B1 se obtuvo la información del avance que correspondía a los metros cuadrados del montaje de todos los paneles y piezas del primer piso. Este dato lo usaba la administración de obra para sus evaluaciones de rendimiento y para pagar los contratos de los miembros de la cuadrilla de moldajeros, además esta información la proporcionó la empresa PERI proveedora del sistema de moldajes, quien diseñó un sistema de moldajes especialmente para la obra. Por estas razones es que se determinó usar este dato. El avance en metros cuadrados del montaje de todas las piezas y paneles del primer piso corresponde a 248,3 metros cuadrados.

Con la información del avance logrado al finalizar cada ciclo y la información de los *tiempos efectivos* empleados en cada tarea y, por lo tanto, de cada ciclo; se pudo determinar los valores de productividad de la operación estudiada.

7.2 Análisis de Datos Recolectados

El proceso de recolección de datos proporcionó una gran cantidad de información que no sólo permitió evaluar la productividad de la mano de obra, sino que también permitió realizar una gran cantidad de análisis complementarios respecto a los tiempos empleados por los trabajadores en sus labores. De los datos recolectados también se pudo observar y analizar la proporción entre tiempos contributivos y no-contributivos, ver la dispersión de tiempos obtenidas entre las mismas tareas, análisis de cómo optimizar la secuencia constructiva, análisis de la constante variación en la dotación de personal trabajando en las tareas de la operación estudiada, entre otras cosas.

En esta sección se muestran no solo los *tiempos efectivos* y *duraciones cronológicas* medidos para cada tarea y ciclo, sino que también una serie de análisis complementarios al estudio de productividad propuesto.

7.2.1 Duraciones Cronológicas.

Como se ha mencionado antes, se registró el inicio y fin de todas las tareas involucradas en la operación estudiada. Con esta información se pudo determinar la duración de las tareas sin considerar si es que entre el inicio y fin de ciclo se estuvo o no trabajando y sin considerar tampoco el número de trabajadores involucrado en la ejecución de la tarea.

Por lo antes explicado resulta evidente notar que los efectos de la discontinuidad en la ejecución de la tarea y la variación en la dotación de personal no se verían reflejados en estos datos. Pese a esto, resultaba importante registrar esta información para darle contexto a los datos que sí serían de mayor relevancia para el estudio de productividad realizado. A esta información se le llamó *duración cronológica* para diferenciarla de los *tiempos efectivos*. Los datos de las *duraciones cronológicas* se registraron en las fichas tipo A que se mostraron en la sección 6.3, figura 33.

A continuación, en la tabla 5, se muestran los datos registrados en terreno de las *duraciones cronológicas* de cada tarea para el primer ciclo correctamente medido, correspondiente al ciclo D20-M19 –“Descimbre” en *pareo* 20, “Montaje” en *pareo* 19-. Los datos registrados para el resto de los ciclos correctamente medidos se muestran en el Anexo C. Recordar que los tiempos deben ser contabilizados dentro de una jornada laboral, es decir, desde 8:30 a 18:00 con una interrupción por colación entre las 12:30 y las 13:30.

Tabla 5: Duraciones Cronológicas Ciclo 1 (D20-M19).

Tareas	FECHA INICIO	HORA INICIO	FECHA TERMINO	HORA TERMINO	DURACION [HORAS]
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	01-feb	9:07	01-feb	10:30	1:23
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	01-feb	9:45	01-feb	16:21	5:36
Descimbrar Paneles de Losa	01-feb	11:55	01-feb	16:21	3:26
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	01-feb	8:45	03-feb	9:30	16:45
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	01-feb	10:24	03-feb	9:30	15:06
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	01-feb	10:50	03-feb	17:00	21:10
Montar Paneles de Muro Interiores	01-feb	10:53	01-feb	12:08	1:15
Montar Paneles de Losa	01-feb	13:30	02-feb	11:15	7:15
Montar Paneles de Muro Exteriores	01-feb	11:55	02-feb	11:35	8:10
Montar Paneles de Piezas Especiales	02-feb	10:30	03-feb	17:10	13:10
Montar Enfierradura de Losa	03-feb	9:30	03-feb	17:00	6:30
Hormigonar	03-feb	16:35	03-feb	19:15	2:15

En la tabla 6 se muestra un resumen con las *duraciones cronológicas* de cada una de las tareas para cada ciclo correctamente medido.

Tabla 6: Resumen Duraciones Cronológicas por Ciclo, en [hh:mm].

Tareas	Ciclo				
	1	2	3	4	5
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	1:23	2:50	1:20	1:40	1:20
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	5:36	7:15	2:13	4:30	2:25
Descimbrar Paneles de Losa	3:26	5:05	2:40	4:10	11:25
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	16:45	12:10	7:50	6:10	16:40
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	15:06	12:10	14:35	15:05	32:00
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	21:10	13:50	14:43	15:05	31:30
Montar Paneles de Muro Interiores	1:15	1:45	0:55	1:10	1:27
Montar Paneles de Losa	7:15	6:30	3:45	4:20	13:05
Montar Paneles de Muro Exteriores	8:10	8:25	6:05	4:50	10:10
Montar Paneles de Piezas Especiales	13:10	6:35	10:25	12:31	22:20
Montar Enfierradura de Losa	6:30	5:27	7:10	6:50	5:30
Hormigonar	2:15	1:52	2:30	1:15	2:20

7.2.2 Tiempos Efectivos.

Como se explicó antes, se presentaba un gran inconveniente si se consideraba a las *duraciones cronológicas* como los valores de tiempo necesarios para determinar los niveles de productividad. Es por esto que era necesario encontrar una forma de contabilizar el tiempo que efectivamente estaba siendo empleado por los trabajadores para ejecutar las distintas tareas de la operación estudiada. Además, se debía tener en cuenta la influencia del número de trabajadores que ejecutaban dichas tareas.

De este modo fue que se estableció que la mejor manera de contabilizar los tiempos que se requerían para determinar los valores de productividad se obtendría del método de medición explicado en la sección 6.3. Las observaciones se registraron en las fichas tipo B que se mostraron en la sección 6.3, figura 32. Con este sistema de medición se podía saber el número de trabajadores que estaba involucrado en la ejecución de alguna tarea en cierto instante preestablecido. Según la asignación de tiempo que se le daba a cada observación, siguiendo la metodología explicada en la sección 6.3, se pudo determinar la cantidad de *tiempo efectivo* necesario para la ejecución de cada una de las tareas de los distintos ciclos considerando la cantidad de trabajadores involucrados en la ejecución de éstas.

A continuación, en la tabla 7, se muestran los datos obtenidos de las observaciones realizadas en terreno para los *tiempos efectivos* de cada tarea del primer ciclo correctamente medido (D20-M19). Los datos correspondientes a los otros ciclos correctamente medidos se muestran en el Anexo D. Se muestra el número de observaciones registradas para cada tarea y la transformación a unidades de tiempo que reflejan el *tiempo efectivo* empleado en cada tarea. Además, para cada tarea, se muestran los porcentajes de la cantidad de observaciones realizadas con respecto al total de observaciones del ciclo y los porcentajes del *tiempo efectivo* empleado con respecto al *tiempo efectivo* total del ciclo.

Tabla 7: Observaciones y Tiempos Efectivos Ciclo 1 (D20-M19).

		Total Obs.	%Obs.	[min-hombre]	[hora-hombre]	%Tiempo
TAREAS	Descimbrar Paneles de Muro Interiores	10	2,0%	100	1,67	2,1%
	Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	11	2,2%	110	1,83	2,3%
	Descimbrar Paneles de Losa	21	4,2%	180	3,00	3,7%
	Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	21	4,2%	210	3,50	4,3%
	Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	81	16,3%	805	13,42	16,6%
	Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	44	8,8%	415	6,92	8,6%
	Montar Paneles de Muro Interiores	12	2,4%	120	2,00	2,5%
	Montar Paneles de Losa	68	13,7%	670	11,17	13,8%
	Montar Paneles de Muro Exteriores	21	4,2%	210	3,50	4,3%
	Montar Paneles de Piezas Especiales	69	13,9%	675	11,25	13,9%
	Apoyo	53	10,6%	520	8,67	10,7%
	No-Contributivo	87	17,5%	825	13,75	17,0%
Total	498	100,0%	4840	80,67	100,0%	

En la tabla 8, se muestra la suma de todas las observaciones realizadas a los cinco ciclos correctamente medidos, además de sus correspondientes *tiempos efectivos* y porcentajes.

Tabla 8: Total de Observaciones y Tiempos Efectivos de Ciclos Correctamente Medidos.

		Total Obs.	%Obs.	[min-hombre]	[hora-hombre]	%Tiempo
TAREAS	Descimbrar Paneles de Muro Interiores	77	2,8%	750	12,50	2,9%
	Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	49	1,8%	475	7,92	1,8%
	Descimbrar Paneles de Losa	104	3,8%	1010	16,83	3,9%
	Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	92	3,4%	915	15,25	3,5%
	Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	428	15,8%	4205	70,08	16,1%
	Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	215	7,9%	2070	34,50	7,9%
	Montar Paneles de Muro Interiores	81	3,0%	805	13,42	3,1%
	Montar Paneles de Losa	361	13,3%	3440	57,33	13,2%
	Montar Paneles de Muro Exteriores	133	4,9%	1265	21,08	4,8%
	Montar Paneles de Piezas Especiales	325	12,0%	3135	52,25	12,0%
	Apoyo	348	12,9%	3390	56,50	13,0%
	No-Contributivo	495	18,3%	4680	78,00	17,9%
Total	2708	100,0%	26140	435,67	100,0%	

De esta tabla se observa que se recopilaban un total de 2708 observaciones durante el proceso de recolección de datos, permitiendo establecer los *tiempos efectivos* de cada una de las tareas ejecutadas. Al finalizar el proceso de medición se contaba con más observaciones, pero como pertenecían a ciclos que no fueron adecuadamente medidos, se decidió no incorporar esos datos en el estudio de productividad realizado.

En algunas situaciones especiales no se asignó a ciertas observaciones la totalidad del tiempo entre intervalos de observación, ya que, por ejemplo, en algunas ocasiones, los trabajadores se retiraban unos cuantos minutos antes de la hora asignada para colación. Por lo que estas situaciones se dejaron anotadas y, posteriormente, se tradujo en una corrección de la asignación de tiempo del intervalo al que correspondiese dicha situación. Es así que, para casos como la retirada adelantada de trabajadores, el retraso en el ingreso o cualquier otra situación de estas características, se anotó en las fichas y se corrigió la asignación de tiempo correspondiente.

A modo de resumen, en las tablas 9 a 11, se muestran sólo los *tiempos efectivos* de cada tarea por ciclo. También se incluirá una columna con el *tiempo efectivo* total correctamente medido (TCM), el *tiempo efectivo* promedio entre los cinco ciclos (PROM) y el menor *tiempo efectivo* medido entre los cinco ciclos (TM).

Tabla 9: Tiempos Efectivos en [minutos-hombre].

Tareas	1	2	3	4	5	TCM	PROM	TM
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	100	130	160	250	110	750	150	100
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	110	65	70	180	50	475	95	50
Descimbrar Paneles de Losa	180	250	170	210	200	1010	202	170
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	210	165	180	90	270	915	183	90
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	805	1065	900	735	700	4205	841	700
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	415	555	325	325	450	2070	414	325
Montar Paneles de Muro Interiores	120	200	245	100	140	805	161	100
Montar Paneles de Losa	670	745	690	555	780	3440	688	555
Montar Paneles de Muro Exteriores	210	180	265	270	340	1265	253	180
Montar Paneles de Piezas Especiales	675	670	590	560	640	3135	627	560
Apoyo	520	740	650	650	830	3390	678	520
No – Contributivo	825	1115	980	595	1165	4680	936	595
Total	4840	5880	5225	4520	5675	26140	5228	3945

Tabla 10: Tiempos Efectivos en [horas-hombre].

Tareas	1	2	3	4	5	TCM	PROM	TM
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	1,7	2,2	2,7	4,2	1,8	12,5	2,5	1,7
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	1,8	1,1	1,2	3,0	0,8	7,9	1,6	0,8
Descimbrar Paneles de Losa	3,0	4,2	2,8	3,5	3,3	16,8	3,4	2,8
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	3,5	2,8	3,0	1,5	4,5	15,3	3,1	1,5
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	13,4	17,8	15,0	12,3	11,7	70,1	14,0	11,7
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	6,9	9,3	5,4	5,4	7,5	34,5	6,9	5,4
Montar Paneles de Muro Interiores	2,0	3,3	4,1	1,7	2,3	13,4	2,7	1,7
Montar Paneles de Losa	11,2	12,4	11,5	9,3	13,0	57,3	11,5	9,3
Montar Paneles de Muro Exteriores	3,5	3,0	4,4	4,5	5,7	21,1	4,2	3,0
Montar Paneles de Piezas Especiales	11,3	11,2	9,8	9,3	10,7	52,3	10,5	9,3
Apoyo	8,7	12,3	10,8	10,8	13,8	56,5	11,3	8,7
No – Contributivo	13,8	18,6	16,3	9,9	19,4	78,0	15,6	9,9
Total	80,7	98,0	87,1	75,3	94,6	435,7	87,1	65,8

Tabla 11: Tiempos Efectivos en [hombre-días].

Tareas	1	2	3	4	5	TCM	PROM	TM
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	0,21	0,27	0,33	0,52	0,23	1,56	0,31	0,21
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	0,23	0,14	0,15	0,38	0,10	0,99	0,20	0,10
Descimbrar Paneles de Losa	0,38	0,52	0,35	0,44	0,42	2,10	0,42	0,35
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	0,44	0,34	0,38	0,19	0,56	1,91	0,38	0,19
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	1,68	2,22	1,88	1,53	1,46	8,76	1,75	1,46
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	0,86	1,16	0,68	0,68	0,94	4,31	0,86	0,68
Montar Paneles de Muro Interiores	0,25	0,42	0,51	0,21	0,29	1,68	0,34	0,21
Montar Paneles de Losa	1,40	1,55	1,44	1,16	1,63	7,17	1,43	1,16
Montar Paneles de Muro Exteriores	0,44	0,38	0,55	0,56	0,71	2,64	0,53	0,38
Montar Paneles de Piezas Especiales	1,41	1,40	1,23	1,17	1,33	6,53	1,31	1,17
Apoyo	1,08	1,54	1,35	1,35	1,73	7,06	1,41	1,08
No – Contributivo	1,72	2,32	2,04	1,24	2,43	9,75	1,95	1,24
Total	10,08	12,25	10,89	9,42	11,82	54,46	10,89	8,22

Finalmente, para los cinco ciclos correctamente medidos, se tiene que se invirtió una cantidad de tiempo de 54,46 [hombre-días]; en promedio se empleaba un tiempo de 10,89 [hombre-

días]; y, considerando sólo los menores tiempos medidos para cada tarea, se tiene un ciclo que se hubiese logrado en un tiempo de 8,22 [hombre-días].

Al registrar la cantidad de trabajadores involucrados en cierto instante en la ejecución de alguna tarea, se logró resolver el inconveniente de la dotación variable en las ejecuciones de las tareas y ciclos. Además, como se conoce los momentos en que efectivamente se trabajó en cierta tarea, se logró resolver también el inconveniente que representaba la discontinuidad en la realización de las tareas.

La asignación de tiempo establecida permitió hacer la transformación de observaciones registradas a la unidad de tiempo necesaria para la determinación de los niveles de productividad, es decir, pasar de número de observaciones a horas-hombre (o minutos-hombre) empleadas en la ejecución de las tareas.

7.2.3 Análisis Complementarios.

La recolección de datos realizada y el sistema de medición de tiempo empleado permitió contar con una fuente de información muy valiosa para posteriores análisis. Además de las *duraciones cronológicas* y los *tiempos efectivos* de cada tarea, con los datos reunidos se pudieron realizar varios análisis que complementan el estudio de productividad propuesto, varios de los cuales se muestran de forma resumida en las siguientes secciones.

7.2.3.1 Proporción de Tiempo entre Tipos de Trabajo.

Una vez que ya se cuenta con la información de los *tiempos efectivos* necesarios para la ejecución de la operación analizada, resulta natural preguntarse si el tiempo disponible fue utilizado de buena forma por parte de los trabajadores. Un primer análisis que permite dar luces al respecto es analizar qué proporción de tiempo fue utilizado en labores que agregan valor, de apoyo y no contributivas.

Las acciones y tareas que agregan valor son todas aquellas que contribuyen en forma directa con el avance de la operación constructiva, en este caso con la instalación de moldajes, es por esto que las tareas que se consideran que agregan valor son todas las tareas de “Descimbre” y “Montaje” de paneles y piezas de moldaje además de las tareas de “Transporte” y “Limpieza”. Las tareas de “Montaje de la Enfierradura de Losa” y de “Hormigonado” se dejan fuera de este análisis al no ser realizadas por integrantes de la cuadrilla de moldajeros.

En la tabla 12 se muestra la proporción de tiempo empleada, en cada ciclo y en promedio, en labores no-contributivas, de apoyo y que agregan valor. Se muestran los datos siguiendo los dos enfoques utilizados, es decir, según el número de observaciones y según los *tiempos efectivos* estimados.

Tabla 12: Proporción del Tiempo Efectivo según Tipo de Trabajo.

CICLO	TIPO DE TRABAJO	Total Obs.	%Obs.	[min-hombre]	[hora-hombre]	%Tiempo
1	Agrega Valor	358	71,9%	3495	58,25	72,2%
	Apoyo	53	10,6%	520	8,67	10,7%
	No-Contributivo	87	17,5%	825	13,75	17,0%
2	Agrega Valor	420	68,0%	4025	67,08	68,5%
	Apoyo	78	12,6%	740	12,33	12,6%
	No-Contributivo	120	19,4%	1115	18,58	19,0%
3	Agrega Valor	373	69,1%	3595	59,92	68,8%
	Apoyo	67	12,4%	650	10,83	12,4%
	No-Contributivo	100	18,5%	980	16,33	18,8%
4	Agrega Valor	338	71,9%	3275	54,58	72,5%
	Apoyo	67	14,3%	650	10,83	14,4%
	No-Contributivo	65	13,8%	595	9,92	13,2%
5	Agrega Valor	376	64,6%	3680	61,33	64,8%
	Apoyo	83	14,3%	830	13,83	14,6%
	No-Contributivo	123	21,1%	1165	19,42	20,5%
TOTAL	Agrega Valor	1865	68,9%	18070	301,17	69,1%
	Apoyo	348	12,9%	3390	56,50	13,0%
	No-Contributivo	495	18,3%	4680	78,00	17,9%

7.2.3.2 Dispersión en los Tiempos.

La operación estudiada, al tener la característica de ser cíclica, cuenta con la particularidad de que las mismas tareas se repitieron una y otra vez. Este hecho se tradujo en que, para una misma tarea, se contó con más de un dato de los *tiempos efectivos* empleados en la ejecución de ésta. Es por esto que surge la necesidad de analizar la variabilidad de los datos obtenidos, ya que de este análisis se pueden obtener varias conclusiones respecto al nivel de aprendizaje y automatización del proceso por parte de la cuadrilla de trabajadores.

Para la tarea “Descimbrar Paneles de Muro Interiores” realizada por la cuadrilla de moldajeros, en la tabla 13, se muestran los *tiempos efectivos* registrados en cada ciclo, el valor promedio de estos tiempos y la desviación estándar correspondiente. Además, el gráfico de la figura 36 muestra la variabilidad de los datos obtenidos para esta tarea.

El detalle del resto de las tareas registradas y sus respectivos gráficos, se muestran en el Anexo E.

1. Descimbrar Paneles de Muro Interiores

Tabla 13: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	1,7	2,2	2,7	4,2	1,8	2,5	1,0

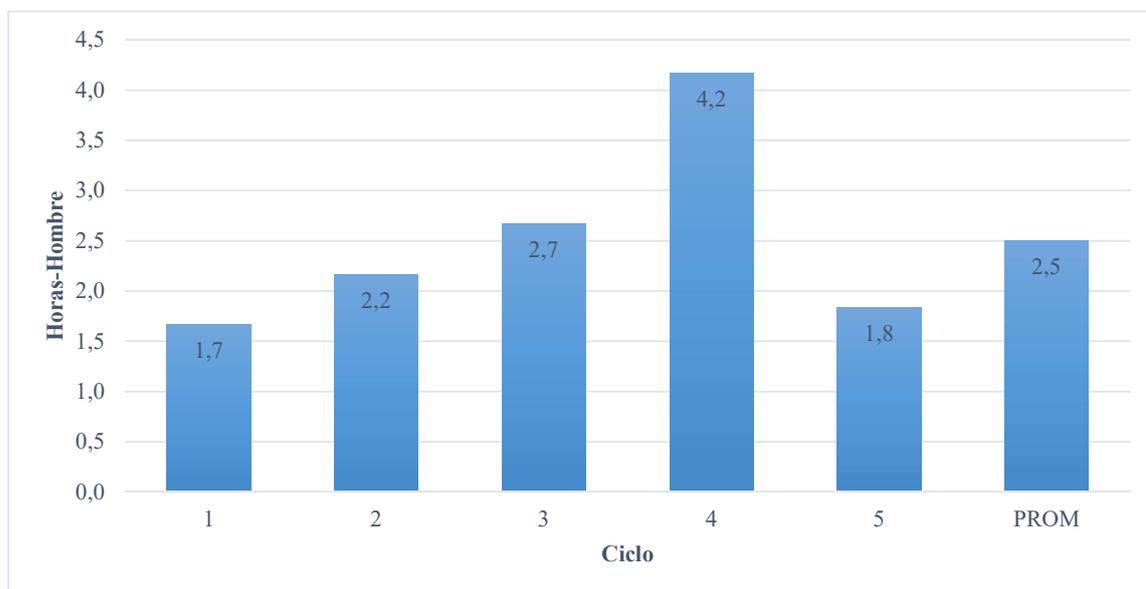


Figura 36: Tiempos Efectivos y Promedio para Descimbrar Paneles de Muro Interiores.

7.2.3.3 Dotación de Personal.

Dos factores que influyeron de forma importante en las mediciones a las tareas de la operación estudiada fueron: la variación en la cantidad de trabajadores asignados en la ejecución de las tareas, y la discontinuidad en la realización de éstas. Por esta razón fue necesario analizar el efecto de la dotación de trabajadores durante los ciclos constructivos.

A continuación, en las tablas 14 y 15, se muestra la información de la dotación máxima y promedio obtenida para cada una de las tareas y ciclos. Esta información permitió establecer la dotación ideal (Tabla 4) necesaria para la realización óptima de la secuencia constructiva.

Tabla 14: Dotación Máxima (Max. Dot.) y Dotación Promedio (Dot. Prom.) para las Tareas de cada Ciclo.

Tareas	1		2		3	
	Max. Dot.	Dot. Prom.	Max. Dot.	Dot. Prom.	Max. Dot.	Dot. Prom.
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	2	1,25	2	1,25	4	2,00
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	2	1,22	1	1,00	1	1,00
Descimbrar Paneles de Losa	4	1,62	2	1,32	1	1,00
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	4	1,62	2	1,21	2	1,13
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	4	1,62	5	2,09	7	3,60
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	3	1,22	3	1,29	3	1,30
Montar Paneles de Muro Interiores	4	1,71	2	1,67	6	4,17
Montar Paneles de Losa	4	2,13	4	2,38	4	3,13
Montar Paneles de Muro Exteriores	3	1,62	3	1,54	3	1,69
Montar Paneles de Piezas Especiales	5	1,97	5	2,33	5	2,03
Apoyo	3	1,23	4	1,56	3	1,72
No – Contributivo	5	1,64	6	2,26	7	2,17
Total	9	5,08	11	6,24	11	5,40

Tabla 15: Dotación Máxima (Max. Dot.) y Dotación Promedio (Dot. Prom.) para las Tareas de cada Ciclo.

Tareas	4		5		TOTAL	
	Max. Dot.	Dot. Prom.	Max. Dot.	Dot. Prom.	Max. Dot.	Dot. Prom.
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	4	2,78	2	1,38	4	1,71
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	3	1,80	1	1,00	3	1,26
Descimbrar Paneles de Losa	2	1,62	2	1,33	4	1,30
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	4	1,80	6	2,45	6	1,56
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	5	1,95	6	1,94	7	2,11
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	3	1,32	4	1,32	4	1,29
Montar Paneles de Muro Interiores	2	1,43	3	2,00	6	2,08
Montar Paneles de Losa	4	2,36	4	1,93	4	2,31
Montar Paneles de Muro Exteriores	3	1,50	2	1,52	3	1,56
Montar Paneles de Piezas Especiales	3	1,73	5	1,50	5	1,88
Apoyo	3	1,68	4	1,57	4	1,55
No – Contributivo	6	1,81	7	1,98	7	1,98
Total	11	7,34	11	4,93	11	5,65

Hay que destacar que estos valores de dotación son en realidad un valor de dotación efectivo, ya que sólo se contabilizaron los intervalos de tiempo en que se registró algún tipo de actividad relacionada a la operación estudiada. Sí es que no se asignaban trabajadores a esta operación, todo ese lapso de tiempo en que no se registró actividad alguna no se consideró para el cálculo de la dotación promedio, ya que, en rigor, los trabajadores estaban asignados a otro tipo de operación de la cual no se llevó registro, lo que se puede interpretar como que estaban produciendo, pero en otra operación que no fue analizada. De haberse considerado los lapsos de tiempo completos, la información obtenida se hubiese distorsionado obteniendo resultados no concordantes con los análisis que se realizaron, ya que los tiempos en que no se registró actividad se considerarían como tiempos ociosos cuando en realidad si estaban siendo ocupados en otras labores.

7.3 Resultados: Metodología de 2-Frentes.

En las siguientes secciones se muestran los resultados obtenidos para los conceptos propuesto en la metodología de Kisi, K. P., Mani, N., et al. y que fueron explicados en el capítulo 3 de la presente memoria.

7.3.1 Productividad Actual.

De las mediciones en terreno se pudieron estimar los *tiempos efectivos* empleados en la realización de cada una de las tareas de los cinco ciclos correctamente medidos. El avance en el insumo involucrado en la operación analizada corresponde a los metros cuadrados de moldaje de los cinco *pareos* involucrados en los ciclos correctamente medidos. Cada *pareo* corresponde a 248,3 metros cuadrados, por lo tanto, el avance logrado correspondiente a los cinco *pareos* es de 1241,5 metros cuadrados.

A continuación, en la tabla 16, se muestran los *tiempos efectivos* estimados para cada uno de los ciclos correctamente medido y el nivel de productividad logrado por la cuadrilla de moldajeros. Además, se muestra el *tiempo efectivo* y el nivel de productividad logrado para la operación estudiada.

Tabla 16: Tiempos Efectivos y Productividad Actual de Ciclos y Operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso”.

	TIEMPO EFECTIVO [hora-hombre]	TIEMPO EFECTIVO [hombre-día]	PRODUCTIVIDAD ACTUAL [m2/hombre-día]
Ciclo 1	80,7	10,08	24,62
Ciclo 2	98,0	12,25	20,27
Ciclo 3	87,1	10,89	22,81
Ciclo 4	75,3	9,42	26,37
Ciclo 5	94,6	11,82	21,00
Operación "Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso"	435,7	54,46	22,80

Usando la unidad [m2/hombre-día] como unidad válida para medir la productividad de la mano de obra, se tiene que la productividad actual estimada para la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso” fue de 22,80 [m2/hombre-día].

7.3.2 Ineficiencias Operacionales.

Para estimar las ineficiencias operacionales se modeló la secuencia constructiva que se repetía de forma cíclica tal como se explicó en la sección 6.4.2. Del análisis realizado con la ayuda del software ARENA® se diseñaron dos modelos que corresponden a dos escenarios para los cuales se obtuvieron dos resultados de productividad. El primer escenario corresponde al escenario actual y sirvió para validar el modelo. El segundo escenario corresponde al escenario artificial, al cual se le removieron las pérdidas asociadas a las acciones no-contributivas, y sirvió para

determinar el valor del límite inferior de la productividad óptima. A continuación, se muestran los datos requeridos y los resultados obtenidos del análisis de ambos escenarios.

En la tabla 17 se muestran los *tiempos efectivos* de las tareas de cada ciclo. Estos tiempos se transformaron a la unidad de tiempo básica -de [minutos-hombre] a [minutos]- con la información de la dotación ideal (Tabla 4), para así calcular los valores promedio y de desviación estándar usados para caracterizar las distribuciones probabilísticas que determinarían la duración de los procesos del modelo.

Tabla 17: Tiempos Efectivos de Tareas realizadas por Moldajeros para cada Ciclo, en [minutos-hombre].

Tareas	1	2	3	4	5
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	100	130	160	250	110
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	110	65	70	180	50
Descimbrar Paneles de Losa	180	250	170	210	200
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	210	165	180	90	270
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	805	1065	900	735	700
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	415	555	325	325	450
Montar Paneles de Muro Interiores	120	200	245	100	140
Montar Paneles de Losa	670	745	690	555	780
Montar Paneles de Muro Exteriores	210	180	265	270	340
Montar Paneles de Piezas Especiales	675	670	590	560	640
No – Contributivo	825	1115	980	595	1165

En la tabla 18 se muestran las duraciones calculadas para cada tarea. Cada una de éstas corresponde a un proceso del modelo.

Tabla 18: Transformación de Tiempos Efectivos [minutos-hombre] a Tiempos en Unidad Básica [minutos]. Además, Desviación Estandar (DE) y Promedio (PROM) de los Tiempos para cada Tarea.

Tareas	Total Trab.	1	2	3	4	5	DE	PROM
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	4	25	33	40	63	28	15,10	37,50
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	4	28	16	18	45	13	13,11	23,75
Descimbrar Paneles de Losa	4	45	63	43	53	50	7,79	50,50
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	6	35	28	30	15	45	10,95	30,50
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	10	81	107	90	74	70	14,67	84,10
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	10	42	56	33	33	45	9,62	41,40
Montar Paneles de Muro Interiores	4	30	50	61	25	35	15,01	40,25
Montar Paneles de Losa	4	168	186	173	139	195	21,55	172,00
Montar Paneles de Muro Exteriores	6	35	30	44	45	57	10,27	42,17
Montar Paneles de Piezas Especiales	6	113	112	98	93	107	8,41	104,50
No – Contributivo	10	83	112	98	60	117	23,19	93,60

Los datos utilizados para caracterizar los procesos correspondientes a las tareas de “Montaje de Enfierradura de Losa” y “Hormigonado” se muestran en la tabla 19.

Tabla 19: Duraciones de las Tareas de "Montaje de Enfierradura de Losa" y "Hormigonado", en [minutos], con sus respectivos Desviaciones Estandar (DE) y Promedios (PROM).

Tareas	1	2	3	4	5	6	7	DE	PROM
Montar Enfierradura de Losa	-	390	327	430	410	410	330	43,96	382,8
Hormigonado	168	135	112	150	120	75	140	30,01	128,6

En la tabla 20 se muestran los resultados obtenidos para al escenario actual. Los niveles de productividad obtenidos de este escenario se compararon con los niveles de productividad obtenidos de las mediciones realizadas en terreno.

Tabla 20: Resultados obtenidos para el Escenario Actual.

N° Replicaciones	1	10	100	500	1000
Tiempo Total [horas]	124,15	118,60	116,64	115,26	116,01
Tiempo que No Agrega Valor (NAV) [horas]	63,86	59,15	58,56	57,94	58,28
Tiempo Efectivo Montaje MOLDAJES [horas]	60,29	59,45	58,08	57,32	57,73
N° Ciclos	7	7	7	7	7
[m2] de avance	1738,1	1738,1	1738,1	1738,1	1738,1
Productividad Esc. Actual [m2/hora-hombre]	2,88	2,92	2,99	3,03	3,01
Productividad Esc. Actual [m2/hombre-día]	23,06	23,39	23,94	24,26	24,09
Productividad Actual Medida [m2/hombre-día]	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
Comparación	+1,14%	+2,59%	+5,00%	+6,40%	+5,66%

Del proceso de validación se obtuvo un nivel de productividad actual de 24,09 [m2/hombre-día]. Se toman los valores de la última columna estimando que se obtienen mejores resultados al haberse replicado la secuencia más veces para dicha simulación. Esto significó una diferencia de menos de un 6% lo que se consideró como aceptable, más aún si se tiene en cuenta que el nivel de productividad obtenido del escenario actual fue superado en dos ocasiones -para el ciclo 1 y 4- si se consideran los niveles de productividad actual obtenidos para cada ciclo (Tabla 16).

En la tabla 21 se muestran los resultados obtenidos para al escenario artificial. El nivel de productividad obtenido a partir del escenario artificial corresponde a la estimación del límite inferior de la productividad óptima, y, la diferencia entre los niveles de productividad obtenidos en terreno y con el escenario artificial, corresponde a la estimación de las pérdidas debido a las ineficiencias operacionales.

Tabla 21: Resultados obtenidos para el Escenario Artificial.

N° Replicaciones	1	10	100	500	1000
Tiempo Total [horas]	113,65	110,07	108,39	108,52	108,21
Tiempo que No Agrega Valor (NAV) [horas]	64,52	60,25	59,11	59,22	59,01
Tiempo Efectivo Montaje MOLDAJES [horas]	49,13	49,82	49,28	49,30	49,20
N° Ciclos	7	7	7	7	7
[m2] de avance	1738,1	1738,1	1738,1	1738,1	1738,1
Productividad Esc. Artificial [m2/hora-hombre]	3,54	3,49	3,53	3,53	3,53
Productividad Esc. Artificial [m2/hombre-día]	28,30	27,91	28,21	28,20	28,26
Productividad Actual Medida [m2/hombre-día]	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80
Pérdidas por Ineficiencias Operacionales [m2/hombre-día]	5,50	5,11	5,41	5,40	5,46
Límite Inferior de la Productividad Óptima [m2/hombre-día]	28,30	27,91	28,21	28,20	28,26

Finalmente, se toman los valores de la última columna estimando que se obtienen mejores resultados al haberse replicado la secuencia más veces. Es así que las pérdidas debido a ineficiencias operacionales se estimaron en 5,46 [m²/hombre-día], y el límite inferior de la productividad óptima se estimó en 28,26 [m²/hombre-día].

7.3.3 Productividad Frontera.

Para determinar el valor de la productividad frontera se intentó implementar los dos enfoques propuestos en la sección 3.2.2.1. Ambos enfoques requieren la información de los *tiempos efectivos* determinados a partir del sistema de medición implementado en obra. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de cada enfoque. La productividad frontera se determinó usando el enfoque de “Duraciones Observadas”.

A continuación, en la tabla 22, se muestran los *tiempos efectivos* de cada tarea y de cada ciclo determinados a partir de las mediciones realizadas. Además, en la última columna (TMO) se muestran los menores *tiempos efectivos* observados para cada tarea, con los cuales se determinó la “menor duración posible observada” para la operación estudiada.

Tabla 22: Menor Duración Posible Observada para la operación "Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso", en [horas-hombre].

Tareas	1	2	3	4	5	TMO
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	1,7	2,2	2,7	4,2	1,8	1,7
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	1,8	1,1	1,2	3,0	0,8	0,8
Descimbrar Paneles de Losa	3,0	4,2	2,8	3,5	3,3	2,8
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	3,5	2,8	3,0	1,5	4,5	1,5
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	13,4	17,8	15,0	12,3	11,7	11,7
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	6,9	9,3	5,4	5,4	7,5	5,4
Montar Paneles de Muro Interiores	2,0	3,3	4,1	1,7	2,3	1,7
Montar Paneles de Losa	11,2	12,4	11,5	9,3	13,0	9,3
Montar Paneles de Muro Exteriores	3,5	3,0	4,4	4,5	5,7	3,0
Montar Paneles de Piezas Especiales	11,3	11,2	9,8	9,3	10,7	9,3
Apoyo	8,7	12,3	10,8	10,8	13,8	8,7
Menor Duración Posible Observada =						55,8

Por lo tanto, siguiendo el enfoque de las “Duraciones Observadas” para determinar la productividad frontera, se tiene que el *tiempo efectivo* correspondiente a la “menor duración posible observada” para la operación estudiada es de 55,8 [horas-hombre], lo que es equivalente a 6,98 [hombre-día]. Considerando que el avance en el insumo de la operación analizada corresponde a 248,3 metros cuadrados de moldaje instalado para un ciclo, se tiene que la productividad frontera corresponde a 35,58 [m²/hombre-día].

Tabla 23: Productividad Frontera estimada con Enfoque "Duraciones Observadas".

Menor Duración Posible Observada [hombre-día]	6,98
Avance en Insumo para Un Ciclo [m ²]	248,3
Productividad Frontera [m ² /hombre-día]	35,58

En la tabla 24, se muestran los *tiempos efectivos* de cada tarea y de cada ciclo determinados a partir de las mediciones realizadas, además de la desviación estándar (DE) y promedio (PROM) para los datos de cada una de las tareas. Finalmente, en la última columna (TME), se muestran los menores *tiempos efectivos* estimados para cada tarea, con los cuales se determinó la “menor duración posible estimada” para la operación estudiada.

Tabla 24: Menor Duración Posible Estimada para la operación "Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso", en [horas-hombre].

Tareas	1	2	3	4	5	DE	PROM	TME
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	1,7	2,2	2,7	4,2	1,8	1,01	2,50	0,84
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	1,8	1,1	1,2	3,0	0,8	0,87	1,58	0,15
Descimbrar Paneles de Losa	3,0	4,2	2,8	3,5	3,3	0,52	3,37	2,51
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	3,5	2,8	3,0	1,5	4,5	1,10	3,05	1,25
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	13,4	17,8	15,0	12,3	11,7	2,44	14,02	10,00
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	6,9	9,3	5,4	5,4	7,5	1,60	6,90	4,26
Montar Paneles de Muro Interiores	2,0	3,3	4,1	1,7	2,3	1,00	2,68	1,04
Montar Paneles de Losa	11,2	12,4	11,5	9,3	13,0	1,44	11,47	9,10
Montar Paneles de Muro Exteriores	3,5	3,0	4,4	4,5	5,7	1,03	4,22	2,53
Montar Paneles de Piezas Especiales	11,3	11,2	9,8	9,3	10,7	0,84	10,45	9,07
Apoyo	8,7	12,3	10,8	10,8	13,8	1,93	11,30	8,13
Menor Duración Posible Observada =								48,9

Por lo tanto, siguiendo el enfoque de las “Duraciones Estimadas” para determinar la productividad frontera, se tiene que el *tiempo efectivo* correspondiente a la “menor duración posible estimada” para la operación estudiada es de 48,9 [horas-hombre], lo que es equivalente a 6,11 [hombre-día]. Considerando que el avance en el insumo de la operación analizada corresponde a 248,3 metros cuadrados de moldaje instalado para un ciclo, se tiene que la productividad frontera corresponde a 40,64 [m²/hombre-día].

Tabla 25: Productividad Frontera estimada con Enfoque "Duraciones Observadas".

Menor Duración Posible Estimada [hombre-día]	6,11
Avance en Insumo para Un Ciclo [m²]	248,3
Productividad Frontera [m²/hombre-día]	40,64

Finalmente, se prefirió usar el valor obtenido con el primer enfoque. Como la cantidad de datos que se tenía para el ajuste de distribuciones probabilísticas no permitió realizar un ajuste apropiado, se consideró que usar el segundo enfoque podría inducir a grandes errores. Por esta razón se prefirió usar el valor obtenido con el primer enfoque, suponiendo que de esta forma se incurre en menos errores y se sigue un procedimiento más correcto. Es así que el valor de la productividad frontera se estimó en 35,58 [m²/hombre-día].

7.3.4 Ineficiencias del Sistema.

Para calcular las pérdidas debido a las ineficiencias del sistema y así poder calcular el límite superior de la productividad óptima, se realizó un cuestionario relativo a los distintos factores que afectaron en la productividad de la ejecución de la operación analizada. El cuestionario realizado corresponde al mostrado en la sección 6.4.4, figura 35. A las personas que se les pidió que

contestaran el cuestionario fueron: el jefe de terreno, el jefe de obra, el supervisor de la cuadrilla de moldajeros, y los dos integrantes de la cuadrilla de moldajeros mejor evaluados.

Los resultados obtenidos de los cuestionarios se muestran en la Anexo F. La tabla 26 muestra los valores promedio de los resultados obtenidos de las encuestas realizadas para los puntajes de gravedad y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los factores, con lo que se unificaron las evaluaciones de los encuestados.

Tabla 26: Resultados de Cuestionarios sobre Factores que afectan la Productividad de la Mano de Obra.

FACTOR	Puntos de Gravedad	Probabilidad de Ocurrencia	Producto
	(Gi)	(Pi)	(Gi*Pi)
Problemas/Errores en Planos	2	14%	0,224
Cantidad de Piezas Pequeñas o Especiales de Moldajes	5	98%	4,508
Supervisión en Terreno	2	49%	0,980
Distribución de Modelos de Casa (Layout por Arquitectura)	5	95%	4,370
Lejanía de zona de trabajo a la Instalación de Faena	4	84%	3,696
Elevados Niveles de Ruido	1	24%	0,336
Altos Niveles de Congestión de Trabajadores	2	40%	0,800
Altas Temperaturas	4	83%	3,139
Polvo en Suspensión	2	43%	0,688
Problemas de Coordinación con Otras Partidas	4	68%	2,856
Experiencia de la Mano de Obra	2	28%	0,616
Trabajadores llegan atrasados, salen más temprano, se toman descansos no programados (Durante Jornada Laboral)	2	8%	0,160
Ausentismo de Trabajadores (No Asiste a Trabajar)	2	8%	0,176
Falta de Mano de Obra Capacitada en la Zona	3	56%	1,456
Equipos en Mal Estado	4	78%	3,432
Falta de Herramientas	5	82%	3,772
Falta de Materiales	3	5%	0,130
Accidentes en Terreno	1	6%	0,084
∑ Puntos de Gravedad	52,20		
∑ Producto	31,42		
(∑ Producto) / (∑ Puntos de Gravedad)	0,602		

En la tabla 26 los puntajes de gravedad se redondean al entero más cercano para ajustarse a la escala de evaluación establecida para estimar el impacto generado por los factores que afectan la productividad de la mano de obra, y las probabilidades de ocurrencia se muestran como porcentajes. Lo antes descrito explica el hecho de que los datos mostrados en la columna “Producto” no se ajusten al resultado de realizar la operación directa entre los datos mostrados en las otras columnas.

Aparte de la información extraída de los cuestionarios, también se requiere el valor de la productividad frontera y del límite inferior de la productividad óptima para determinar las pérdidas debido a las ineficiencias del sistema. El valor de la productividad frontera se estimó en 35,58 [m²/hombre-día], según se explicó en la sección 7.3.3. El límite inferior de la productividad óptima se estimó en 28,26 [m²/hombre-día], según se explicó en la sección 7.3.2. Se reemplazaron los

valores requeridos en la ecuación mostrada en la sección 6.4.4 para estimar las pérdidas debido a las ineficiencias del sistema.

Tabla 27: Cálculo de las Pérdidas por Ineficiencias del Sistema.

Productividad Frontera [m²/hombre-día]	35,58
Límite Inferior de la Productividad Óptima [m²/hombre-día]	28,26
Δ (Prod. Front. - Lim. Inf. Prod. Ópt.)	7,31
Σ Puntos de Gravedad	52,20
Σ Producto	31,42
(Σ Producto) / (Σ Puntos de Gravedad)	0,602
Estimación de Pérdidas por Ineficiencias del Sistema [m²/hombre-día]	4,402

Finalmente, se calculó el límite superior de la productividad óptima restándole a la productividad frontera las pérdidas por ineficiencias del sistema. Por lo tanto, el límite superior de la productividad óptima se estimó en 31,17 [m²/hombre-día].

Tabla 28: Cálculo del Límite Superior de la Productividad Óptima.

Productividad Frontera [m²/hombre-día]	35,58
Estimación de Pérdidas por Ineficiencias del Sistema [m²/hombre-día]	4,40
Límite Superior de la Productividad Óptima [m²/hombre-día]	31,17

7.3.5 Productividad Óptima.

Con los resultados obtenidos para los conceptos antes explicados se pudo determinar los valores de los límites inferior y superior de la productividad óptima. Promediando estos valores se estimó el valor de la productividad óptima de la mano de obra para la operación de “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”. Los resultados obtenidos para los conceptos propuestos por la metodología y el valor final obtenido para el nivel de productividad óptimo se muestran en la tabla 29.

Tabla 29: Resultados obtenidos del Estudio de Productividad e Implementación de la Metodología de 2-Frentes.

	[m²/hombre-día]
Productividad Actual	22,80
Pérdidas debido a Ineficiencias Operacionales	5,47
Límite Inferior de la Productividad Óptima	28,26
Productividad Frontera	35,58
Pérdidas debido a Ineficiencias del Sistema	4,40
Límite Superior de la Productividad Óptima	31,17
Productividad Óptima	29,72

El nivel de productividad óptima propuesto es de 29,72 [m²/hombre-día]. Comparado con el nivel de productividad actual medido, el cual es 22,80 [m²/hombre-día], puede resultar bastante alto. Sin embargo, se tiene la información de productividad lograda para un día en que todos los recursos se concentraron en la ejecución de la operación estudiada y se alcanzó un nivel de productividad de 27,33 [m²/hombre-día], lo que es bastante cercano al nivel de productividad

propuesto. Además, si los *tiempos efectivos* asociados a las acciones no-contributivas de ese día se eliminaran se alcanzaría un nivel de productividad de 31,90 [m2/hombre-día], lo que supera el nivel de productividad óptimo propuesto.

Tabla 30: Productividad lograda el día 15/02/2017 durante el ciclo D37-M38.

	Contributivo	Apoyo	No- Contributivo	TOTAL
Total Obs/Día	307	67	63	437
%Obs.	70,25%	15,33%	14,42%	100,0%
[min-hombre]	3000	650	610	4260
[hora-hombre]	50,00	10,83	10,17	71,00
[hombre-día]	6,25	1,35	1,27	8,88
%Tiempo	70,42%	15,26%	14,32%	100,0%
Dotación Promedio				8,7
Periodo Observación [hh:mm]				8:20
Avance Logrado [m2]				242,59
Productividad Actual [m2/hombre-día]				27,33
Productividad (Contr. + Ap.) [m2/hombre-día]				31,90

Esto indica que, a pesar de que alcanzar el nivel de productividad propuesto es bastante desafiante, y que más difícil aún sería lograr mantener este nivel de forma sostenida, no es algo que este alejado de la realidad. Es decir, optimizando algunos aspectos de la secuencia constructiva y reduciendo las pérdidas por ineficiencias operacionales es factible alcanzar este nivel de productividad.

El valor de la productividad óptima obtenido corresponde al nivel de productividad al que la empresa constructora a cargo de la obra debería aspirar para futuras operaciones de características similares. El estudio realizado comprendió el análisis de una serie de aspectos relacionados con las características propias de la obra, ya sea desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. Es por estos motivos que se propone que es más correcto compararse con el nivel de productividad encontrado luego de haber realizado el estudio, que compararse con cualquier otro dato, ya sea de rendimientos históricos o de algún *benchmarking*.

8 CONCLUSIONES

En este capítulo se resumen las conclusiones obtenidas a partir del trabajo de investigación realizado, el proceso de recolección de datos de terreno, el estudio de productividad implementado en obra y los resultados obtenidos. Se ahonda en cuales fueron los aportes de cada una de las líneas de acción propuestas. Finalmente, se proponen posibles líneas de investigación para continuar con el trabajo realizado en esta memoria.

8.1 Implementación en Obra.

Implementación de metodología de 2-frentes en terreno.

Se logró implementar de forma satisfactoria la metodología de 2-frentes a la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso” para los modelos de casa B1. Se lograron determinar los niveles de la productividad actual y frontera. Además, se lograron estimar satisfactoriamente las pérdidas debido a las ineficiencias del sistema y operacionales mediante el análisis cualitativo y cuantitativo -respectivamente- de los factores presentes en la obra que afectaban la productividad de los trabajadores. Finalmente, se logró estimar el nivel de productividad óptimo de la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso” para el modelo de casa B1, al cual la empresa constructora debería aspirar para futuras operaciones de similares características. La implementación no resulto ser muy compleja, no obstante, se requiere de un trabajo de análisis de datos exhaustivo.

- ***Estimación Productividad Actual.***

Respecto a la estimación del nivel de productividad actual de la operación analizada, el sistema de medición empleado permitió realizar una correcta estimación de los niveles de productividad alcanzados en terreno para cada ciclo correctamente medido. De esta forma, se logró establecer adecuadamente el nivel de productividad actual.

- ***Estimación pérdidas debido a Ineficiencias Operacionales.***

Respecto a la estimación de las pérdidas debido a las ineficiencias operacionales, el uso de la técnica de modelación de eventos discretos en algunos aspectos cumplió satisfactoriamente y en otros presentó alguno inconvenientes.

Con la ayuda del programa de simulación ARENA® se modeló la secuencia constructiva ejecutada en terreno para la operación estudiada. El resultado obtenido para el escenario actual se acercó mucho al nivel de productividad medido en terreno -variación de un 5%- por lo que se concluye que la secuencia constructiva logró ser modelada correctamente.

Hay que destacar que, para las duraciones de las tareas, no se lograron realizar los ajustes a distribuciones de probabilidad como se esperaba. Esto debido a la poca cantidad de datos de duración de cada tarea que se contaba -5 ciclos correctamente medidos y sólo 7 modelos de casa

B1-. Los ajustes de las distribuciones de probabilidad de cada proceso se realizaron caracterizando éstas como distribuciones normales, calculando los parámetros de desviación estándar y promedio de las duraciones para cada tarea. A partir de los resultados obtenidos para el escenario actual, se concluye que se logró superar el inconveniente que significaba la insuficiente cantidad de datos que se tenía de las duraciones de cada tarea.

Con la ayuda del programa de simulación ARENA® se modeló la secuencia constructiva optimizada para la operación estudiada removiendo los tiempos relacionados a acciones no-contributivas. El resultado obtenido para el escenario artificial entregó un nivel de productividad mayor al obtenido con el escenario actual y corresponde al límite inferior de la productividad óptima. Este valor no difiere de los niveles observados en terreno (+25% respecto a la productividad actual) por lo que se concluye que se puede considerar como un nivel optimizado para la productividad de la operación estudiada.

- ***Estimación Productividad Frontera.***

Respecto a la estimación de la productividad frontera de la operación analizada, se calculó utilizando los dos enfoques propuestos, finalmente se determinó a partir del enfoque de las “duraciones observadas”. El valor obtenido se ajusta a la realidad observada en terreno.

El enfoque de las “duraciones observadas” permite determinar de forma sencilla el nivel de la productividad frontera al utilizar los datos registrados. En cambio, el enfoque de las “duraciones estimadas” presenta el inconveniente de que se debe contar con una cantidad de datos importante para poder realizar el análisis estadístico requerido. Para el caso particular de este trabajo de memoria, no se contó con la cantidad de datos necesarios para disponer de un adecuado análisis estadístico -5 ciclos correctamente medidos-. Por este motivo se determinó que era más correcto determinar el valor de la productividad frontera con el enfoque de las “duraciones observadas”.

- ***Estimación pérdidas debido a Ineficiencias del Sistema.***

Respecto a la estimación de las pérdidas debido a las ineficiencias del sistema, se lograron estimar con la ayuda de los resultados obtenidos a partir del cuestionario realizado a personas involucradas y responsables de la operación estudiada y la aplicación del modelo cualitativo de factores propuesto.

Se concluye que el análisis cualitativo de los factores que afectan la productividad óptima a través del cuestionario realizado cumple satisfactoriamente con el propósito de cuantificar el impacto y la recurrencia de los factores encuestados. Sin embargo, la metodología de 2-frentes debería considerar mejoras en este punto. En primer lugar, deberían estandarizarse los factores preguntados. De esta forma se podría evitar que en el análisis se omita algún factor, que se repitan factores y que se sobredimensione algún ámbito por sobre otros al considerar muchos factores relacionados a algún ámbito en particular.

Sistema de medición empleado.

El sistema de medición diseñado para el presente trabajo de memoria y detallado en la sección 6.3 del capítulo 6, fue exitosamente aplicado en el proceso de recolección de datos de terreno para determinar los niveles de productividad de la operación estudiada en la obra “Conjunto Habitacional Buin/Villaseca”, cumpliendo con todos los requerimientos que se plantearon.

En primer lugar, significó un método muy económico para el cual no se necesitaron muchos recursos para su implementación. Sólo se necesitaron de fichas impresas en hojas de papel, lápiz para el registro de las observaciones, un reloj y un observador que estuviese presente durante la ejecución completa de los distintos ciclos de la operación estudiada.

Se debe destacar que la implementación de este sistema de medición no entorpeció en las labores de los trabajadores, ya que el observador no se involucró de ninguna forma en las labores realizadas por los trabajadores. Es decir, el observador no dio instrucciones, no corrigió secuencias erróneas, ni siquiera corrigió a los trabajadores cuando incurrían en acciones no contributivas, sólo se limitó a realizar el registro de sus observaciones. Este hecho es relevante, ya que los datos registrados deberían reflejar de mejor forma la realidad vivida en obra.

También, se debe mencionar que el proceso de medición requirió de la presencia permanente de un observador en la zona de trabajo donde se desempeñaban las labores de la cuadrilla de moldajeros. El sistema de medición empleado requería que el observador estuviese presente durante la ejecución completa del ciclo de la operación estudiada y de varios ciclos. De este modo se podía contar con la cantidad de datos necesaria para poder realizar los análisis de forma adecuado. Por lo tanto, el sistema de medición requiere de una gran cantidad de tiempo en que un observador se tiene que restringir solamente registrar datos en terreno.

Respecto a la precisión del método empleado, a pesar de su simplicidad, no fue necesaria la implementación de uno más sofisticado. Es más, se puede destacar como una virtud la fácil implementación del sistema de medición. Los datos recolectados permitieron un correcto análisis y los resultados obtenidos reflejaron de buena forma lo que se observó en terreno.

Unidad utilizada en la contabilización de las duraciones de las tareas.

Del proceso de medición, para las tareas observadas, se obtuvieron dos medidas de tiempo: las *duraciones cronológicas* -medición del tiempo entre el inicio y fin de las tareas- y los *tiempos efectivos* -transformación de la cantidad de observaciones registradas a unidades de tiempo según la duración del intervalo entre observaciones-. El uso de los *tiempos efectivos* resultó ser más apropiado para contabilizar las unidades de tiempo de los niveles de productividad, ya que, debido a la forma en que se determinaron los *tiempos efectivos*, se podía obtener la cantidad de tiempo por hombre empleada en la ejecución de las distintas tareas de forma sencilla y directa -en [minutos-hombre], [hora-hombre] o [hombre-día]-.

Además, se debe destacar que la medición de *tiempos efectivos* logró solucionar los inconvenientes en la medición de las duraciones de las tareas que significaban la variación en la cantidad de trabajadores asignados en la ejecución de las tareas, y la discontinuidad en la realización de éstas. Principalmente por estos dos factores es que no era conveniente usar las *duraciones cronológicas* para medir el tiempo de las tareas, porque, tanto un cambio en la asignación de personal como una interrupción en la ejecución de una tarea, provocaba que los datos obtenidos se alteraran y no podían ser utilizados en la determinación de los niveles de productividad. Para haber podido utilizar estos datos, las condiciones de asignación de personal no deberían haberse modificado y las tareas no deberían haberse interrumpido en ningún momento, lo que claramente es muy difícil de que suceda en la realidad de una obra.

Por otra parte, la forma de determinar la duración de las tareas mediante la medición de los *tiempos efectivos* permitió que la duración entre tareas fuese comparable. Por lo tanto, de esta forma se pudieron comparar los tiempos de duración de todas las tareas independiente de la cantidad de trabajadores asignados y de si la tarea se realizó de forma continua o si se tuvo que interrumpir. Con esto se contó con una unidad de tiempo “normalizada” para la duración de cada tarea de cada ciclo. Es así que se pudo hacer la comparación entre las tareas de un mismo ciclo y entre las mismas tareas de ciclos distintos.

Finalmente, al medir los *tiempos efectivos* según el tiempo empleado por cada trabajador y contabilizarlo como una unidad de [*tiempo-hombre*], se pudieron hacer las transformaciones a unidades de tiempo básicas -[min], [hora] o [día]- conociendo la dotación de personal de cada tarea de forma sencilla. Es así que, por ejemplo, se obtuvieron los tiempos de duración de cada tarea que requería el análisis realizado para el modelo de eventos discretos.

8.2 Resultados.

Tiempo empleado en los distintos tipos de acciones.

Del análisis de los datos registrado en terreno, se concluye que los integrantes de la cuadrilla de moldajeros destinaron en promedio un 69,1% de su tiempo en acciones que agregan valor, un 13,0% de su tiempo en acciones de apoyo y un 17,9% de su tiempo en acciones no contributivas (ver tabla 12).

Estudio de productividad con metodología de 2-frentes.

Del estudio de productividad realizado se logró obtener el valor de la productividad óptima para el ciclo de la operación estudiada. Se determinó que este nivel debía ser de 29,72 [m²/hombre-día], el que al ser comparado con el nivel de productividad promedio logrado en terreno de 22,80 [m²/hombre-día], resulta ser un nivel bastante alto. Sin embargo, se concluye que este nivel no es inalcanzable, ya que de las mediciones realizadas en terreno y de un análisis explicado en la sección 7.3.5, se observó que en la obra se logró llegar a un nivel de productividad de 31,90 [m²/hombre-día] para un día en particular (ver tabla 30).

El desafío para la administración de la obra será sostener en el tiempo niveles de productividad más alto intentando reducir sus pérdidas por ineficiencias operacionales, en particular por tiempos perdidos en acciones no contributivas, y optimizar la ejecución de la operación estudiada mejorando los procedimientos de las tareas ejecutadas, principalmente de las tareas de “Limpieza” y “Transporte”. En especial en la ejecución de estas dos tareas se presenta una clara oportunidad de mejora, ya que se observó que éstas presentan un nivel alto nivel de discontinuidad. Si bien el grueso de estas tareas se realizaba en una primera instancia, no se terminaban completamente, esto generaba que los trabajadores continuamente debían interrumpir la ejecución de tareas posteriores para finalizar con labores pendientes. A modo de ejemplo, se repetía constantemente que los trabajadores interrumpían muchas veces las tareas de “Montaje” para remover restos de hormigón que aún estaban adheridos al moldaje, a pesar de que estos ya se habían limpiado con anterioridad; también se observó que los trabajadores se quedaban sin piezas pequeñas, como cerrojos, y tenían que interrumpir la tarea que estaban realizando para ir a buscar las piezas faltantes para continuar. La proporción de tiempo empleado por los trabajadores en estas dos labores es de un 24,0% (16,1% en “Transporte” y 7,9% en “Limpieza”, ver tabla 8). Se concluye que una gran oportunidad de mejora para optimizar la ejecución de la operación sería promover que la ejecución de las tareas de “Limpieza” y “Transporte” se ejecuten de mejor manera y así reducir la cantidad de tiempo empleada en estas tareas.

8.3 Líneas de Acción.

8.3.1 Cambio en el Enfoque Actual.

De la investigación y análisis realizado a la propuesta innovadora de la metodología de 2-frentes se puede concluir que ésta es una alternativa con gran potencial en el planteamiento de cómo enfrentar la evaluación de la productividad de la mano de obra de una operación de construcción. Si bien falta que se realicen más estudios que pongan a prueba a esta metodología, a partir de la implementación realizada en terreno, se pueden obtener varias conclusiones al respecto.

En primer lugar, se concluye que la metodología de 2-frentes propone un marco conceptual sólido. Los conceptos en los que se respalda siguen una línea lógica y se ajustan de buena forma a los distintos aspectos presentes en cualquier operación de construcción.

Además, el cambio de enfoque de determinar los valores de productividad analizando las características propias de cada obra es un aspecto realmente significativo, considerando que, como cada obra presenta singularidades, esto las hace únicas entre sí. Los enfoques tradicionales - comparación con datos históricos o *benchmarking*- pasan por alto muchos aspectos que son importantes dentro de los análisis de productividad. La metodología de 2-frentes permite determinar los niveles de productividad realizando un análisis cuantitativo y cualitativo de las características y condiciones de cada obra lo que la convierte en una alternativa muy conveniente para evaluar los niveles de productividad de una operación en construcción por sobre las comparaciones simples con datos de productividad.

De la implementación en terreno se concluye que la metodología de 2-frentes es aplicable para operaciones y obras de construcción que tengan un carácter cíclico. Es decir, es necesario que las operaciones ejecutadas se realicen de forma reiterativa, repitiendo las mismas secuencias constructivas y características de trabajo. En particular, para la presente memoria, este carácter cíclico se cumplió al implementarse la metodología en un proyecto de edificación de viviendas en extensión, en donde se construían de forma repetitiva los mismos modelos de vivienda. Sin embargo, aún se debe verificar la aplicabilidad de esta metodología para proyectos que no presenten un carácter cíclico.

Como enfoque alternativo al tradicional, la metodología de 2-frentes es un gran aporte en el propósito de evaluar los niveles de productividad de la mano de obra logrados en la realidad de un proyecto de edificación considerando las características propias de cada obra.

8.3.2 Intervención a través de la Medición.

De la revisión bibliográfica realizada se puede concluir que actualmente existen esfuerzos por mejorar los procedimientos de medición de la productividad de la mano de obra. Estos apuntan a automatizar el procedimiento del muestreo del trabajo.

Además, se concluye que los sistemas de reconocimiento de actividades (SRA) son los métodos más útiles en el propósito de medir en forma automatizada la productividad de los trabajadores. Sin embargo, los sistemas de localización en tiempo real (SLTR) no se deben ignorar, ya que estos pueden ser perfectos complementos de los SRA.

La complementación de los SRA con los SLTR es necesaria para poder realizar una interpretación más amplia de la realidad que se vive en una obra. Los SRA son sistemas que permiten realizar mediciones más directas de los tiempos que los trabajadores emplean en sus distintas labores a través del reconocimiento de sus movimientos. Por otro lado, los SLTR son sistemas que permiten realizar el seguimiento de la trayectoria de trabajadores u objetos de interés, al conocer los desplazamientos de éstos se pueden hacer ciertas suposiciones sobre cómo se emplea el tiempo de trabajo. A través de la complementación de ambos sistemas se pueden superar las falencias que posee cada uno.

Se concluye que la iniciativa de realizar mediciones de productividad de un trabajador con el uso de acelerómetros tiene un enorme potencial. Sin embargo, cuenta con el inconveniente de que sólo realiza el reconocimiento de los movimientos de un sujeto y no tiene como reconocer el lugar donde éstos se realizan. Por lo tanto, eventualmente un trabajador podría estar realizando movimientos que correspondan a una actividad que se puede interpretar como trabajo (por ejemplo: martillar), pero en un lugar en donde esto no signifique ningún aporte al proceso constructivo. El sistema de acelerómetros que portan los trabajadores debería ser complementado con un sistema de localización que permita realizar un seguimiento del individuo. Esto podría ayudar en el propósito de identificar si el trabajador se encuentra en una “zona de trabajo activo”, es decir, en

algún lugar en donde se estén ejecutando labores que contribuyan al avance del proceso constructivo.

Finalmente se concluye que la fácil implementación de un sistema de medición automatizado aun no es factible. Se requiere de recursos económicos importantes, además de una serie de fases de calibración, de pruebas y análisis de datos. Estas aplicaciones aún están en una fase de investigación. Por estas razones es que, para el estudio de productividad realizado en obra, se optó por diseñar un sistema de recolección de datos manual que no requirió de recursos económicos importantes y se logró implementar de forma sencilla cumpliendo con el propósito de recolectar datos que permitieran determinar los niveles de productividad de la operación estudiada.

8.3.3 Contribución de la Modelación.

De la investigación realizada se concluye que hoy en día existen una serie de herramientas de simulación que han sido utilizadas en el área de la construcción con el propósito de predecir y evaluar los niveles de productividad de las operaciones a implementar. Estas herramientas se utilizan ampliamente en la etapa de planificación y también cuando se requiere optimizar algún proceso o secuencia.

En particular, la técnica de simulación de eventos discretos ha sido usada en la construcción desde la década de 1970, es en este período que se desarrollaron las primeras iniciativas. A lo largo del tiempo las técnicas de modelación de eventos discretos fueron mejorando de la mano del desarrollo de las herramientas computacionales y los lenguajes de programación. Las iniciativas que se están impulsando hoy en día apuntan hacia la complementación de la técnica de simulación de eventos discretos con otras técnicas de modelación y herramientas computacionales para abarcar una mayor cantidad de aspectos. Sin embargo, a pesar de todas las investigaciones e iniciativas desarrolladas por distintos académicos, aun no existe una aceptación generalizada al uso de esta herramienta en la industria de la construcción.

A partir de la implementación del modelo de eventos discretos de la secuencia constructiva estudiada en la presente memoria, se concluye que la modelación de eventos discreto es una herramienta muy útil con la que se logró simular la secuencia constructiva que se ejecutó en terreno. Se pudieron modelar las relaciones de dependencia entre actividades y tareas. Además, permitió analizar distintos escenarios sin tener la necesidad de implementarlos en terreno. Sin embargo, hay ciertos aspectos de la realidad de una obra que resultan muy difícil de modelar, como el efecto de la discontinuidad en la ejecución de las tareas, la flexibilidad en la asignación de personal y el aporte a la productividad de los distintos trabajadores, ya que algunos producen más que otros.

Finalmente, se concluye que la modelación de eventos discretos puede aportar de forma más relevante en la etapa de planificación de un proyecto de edificación, en donde se puede utilizar esta técnica para analizar distintos escenarios, para optimizar las secuencias constructivas a ejecutar y para optimizar la distribución de los recursos disponibles.

8.4 Recomendaciones para Futuras Investigaciones.

- La metodología de 2-frentes fue implementada en un proyecto de edificación en extensión en el cual se construían de forma repetitiva cinco modelos de casas. Esta característica le dio el carácter de cíclico a la operación estudiada, condición necesaria para la implementación de la metodología propuesta. Para futuras investigaciones se podría buscar adaptar la metodología para casos de proyectos en que este carácter cíclico no sea tan evidente, como en los casos de edificios en altura.
- En el presente trabajo de memoria, dadas las condiciones que se tuvieron, se realizó correctamente la medición de 5 ciclos de la operación analizada. Futuras investigaciones podrían estudiar operaciones que se repitan una mayor cantidad de veces o extender el período de mediciones para contar más datos para la implementación de la metodología.
- La medición de los datos se realizó durante el periodo del mes de febrero del 2017, durante el verano, por lo que las condiciones climáticas que estuvieron presentes fueron días soleados y con altas temperaturas (máximas en torno a 35°C). Una futura investigación podría abarcar el efecto de las condiciones climáticas opuestas, es decir, en pleno invierno con presencia de lluvia, frío y humedad, midiendo y evaluando la misma operación constructiva con el propósito de comparar resultados.
- El sistema de medición empleado fue uno bastante sencillo y manual. Futuras investigaciones deberían ahondar en el uso de sistemas de medición automatizados, ya sea siguiendo lo propuesto en las conclusiones de la sección 8.3.2 o algún otro sistema de recolección de datos de terreno automatizado.
- En la presente memoria se utilizó la técnica de simulación de eventos discretos para la estimación de las ineficiencias operacionales. En futuras investigaciones se podría abarcar otras herramientas de simulación y computacionales para este propósito.
- Futuras investigaciones podrían proponer un análisis cualitativo alternativo al presentado en el presente trabajo de memoria.

9 BIBLIOGRAFÍA

1. AbouRizk, S. (2010). Role of simulation in construction engineering and management. *Journal of construction engineering and management*, 136(10), 1140-1153.
2. Achell, J. F. P. (2014). *Introducción a Lean Construction*. Fundación Laboral de la Construcción.
3. Alarcón, L., & Diethelm, S. (2005). *Lean Construction: Mejoramiento de la gestión de proyectos y empresas en la construcción*. [diapositivas de Power Point]. Presentación a la Corporación de Desarrollo Tecnológico. Recuperado de: <http://www.cdt.cl/2005/04/lean-construction-mejoramiento-de-la-gestion-de-proyectos-y-empresas-en-la-construccion/>
4. Alzraiee, H., Moselhi, O., & Zayed, T. (2012). A hybrid framework for modeling construction operations using discrete event simulation and system dynamics. In *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World* (pp. 1063-1073).
5. Cámara Chilena de la Construcción (2014) *Escenario económico y perspectivas para el sector construcción*. Presentación de Jorge Mas Figueroa. [diapositivas de Power Point]. Recuperado de: <http://www.cpc.cl/wp-content/uploads/2015/11/CChC1.pdf>
6. Cámara Chilena de la Construcción. (2016). *Informe MACH Macroeconomía y Construcción*. Santiago, Chile. Recuperado de: http://www.cchc.cl/uploads/archivos/archivos/MACH45-2016_14-12-2016.pdf
7. Cheng, J., & Greiner, R. (1999, July). Comparing Bayesian network classifiers. In *Proceedings of the Fifteenth conference on Uncertainty in artificial intelligence* (pp. 101-108). Morgan Kaufmann Publishers Inc..
8. Chile Transforma. (2017) *Construye 2025*. [on-line]. Disponible en: <http://www.chiletransforma.cl/programa/programa-construye-2025/> [Visitado 5 Junio, 2017].
9. Comisión Nacional de Productividad. (2016) Informe Anual. *La productividad en Chile: una mirada de largo plazo*. Recuperado de: <http://consejofp.mineduc.cl/wp-content/uploads/2016/12/Comisi%C3%B3n-Nacional-de-Productividad-2016.-La-productividad-en-Chile.-Una-mirada-de-largo-plazo.pdf>
10. Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2013). *Análisis de la productividad en obras de construcción en Chile*. Santiago, Chile. Recuperado de: <http://www.cdt.cl/informe-de-productividad/>
11. de Esis, B. F., de Weffer, R. V., & Barboza, E. O. (1996). Reingeniería para la competitividad de una empresa de la construcción. *Revista Venezolana de Gerencia*, 1(2).
12. Dhilipan, A., Preethi, J., Sreeshakthy, M., & Sangeetha, V. (2014). A Survey on Pattern Recognition Using Spiking Neural Networks with Temporal Encoding and Learning. *International Journal of Research in Advent Technology*, 2(11), 121-125.
13. Dozzi, S. P., & AbouRizk, S. M. (1993). *Productivity in construction*. Ottawa: Institute for Research in Construction, National Research Council.
14. Escalera, G., Masa, C., & García, E. (2008). Implantación de la reingeniería por procesos, actividades, técnicas y herramientas. *Salamanca, España: Asociación Europea de Dirección y Economía de Empresa*.
15. Fukunaga, K. (2013). *Introduction to statistical pattern recognition*. Academic press.

16. Giacomantone, J., Violini, L., Lorenti, L., Naiouf, M., Bria, O. N., & Abásolo Guerrero, M. J. (2014). Reconocimiento de patrones y generación de características con restricciones temporales. In *XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*.
17. Halpin, D. W., Jen, H., & Kim, J. (2003, December). Construction engineering and project management I: a construction process simulation web service. In *Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation* (pp. 1503-1509). Winter Simulation Conference.
18. Hammer, M., & Champy, J. (1994). *Reingeniería*. Editorial Norma.
19. Joshua, L., & Varghese, K. (2010). Accelerometer-based activity recognition in construction. *Journal of computing in civil engineering*, 25(5), 370-379.
20. Joshua, L., & Varghese, K. (2014). Automated recognition of construction labour activity using accelerometers in field situations. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(7), 841-862.
21. Kisi, K. P. (2015). Estimation of optimal productivity in labor-intensive construction operations. (Ph.D. thesis). Universidad de Nebraska. Lincoln, Nebraska.
22. Kisi, K. P., Mani, N., & Rojas, E. M. (2014). Estimating Optimal Labor Productivity: A Two-Prong Strategy. In *Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network* (pp. 757-766).
23. Kisi, K. P., Mani, N., Rojas, E. M., & Foster, E. T. (2016). Optimal Productivity in Labor-Intensive Construction Operations: Pilot Study. *Journal of Construction Engineering and Management*, 04016107.
24. Kisi, K. P., Mani, N., Rojas, E. M., & Foster, E. T. (2016). A Case Study on Estimating Optimal Labor Productivity. In *Construction Research Congress 2016* (pp. 1762-1771).
25. Li, H., Chan, G., Wong, J. K. W., & Skitmore, M. (2016). Real-time locating systems applications in construction. *Automation in Construction*, 63, 37-47.
26. Lu, M. (2003). Simplified discrete-event simulation approach for construction simulation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(5), 537-546.
27. Mani, N. (2015). A framework for estimating labor productivity frontiers. (Ph.D. thesis). Universidad de Nebraska. Lincoln, Nebraska.
28. Mani, N., Kisi, K. P., & Rojas, E. M. (2014). Estimating labor productivity frontier: A pilot study. In *Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network* (pp. 807-816).
29. Martinez, J. C. (2009). Methodology for conducting discrete-event simulation studies in construction engineering and management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(1), 3-16.
30. Martinez, J. C., & Ioannou, P. G. (1999). General-purpose systems for effective construction simulation. *Journal of construction engineering and management*, 125(4), 265-276.
31. Mavroforakis, M. E., & Theodoridis, S. (2005, September). Support Vector Machine (SVM) classification through geometry. In *Signal Processing Conference, 2005 13th European* (pp. 1-4). IEEE.
32. McKinsey & Company. (2015) *Desarrollando una agenda para impulsar la productividad en Chile Diagnóstico Macro*. Presentación a la Comisión de productividad de CPC. [diapositivas

- de Power Point]. Recuperado de: <http://www.productividadchile.cl/wp-content/uploads/2016/04/Diagnostico-General-McKinsey-2015.pdf>
33. Motwani, J., Kumar, A., & Novakoski, M. (1995). Measuring construction productivity: a practical approach. *Work study*, 44(8), 18-20.
 34. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2016). *Impulsando la productividad y el crecimiento inclusivo en Latinoamérica*. Recuperado de: http://www.oecd.org/latin-america/Impulsando_Productividad_Crecimiento_Inclusivo.pdf
 35. Rivas, R. A., Borcharding, J. D., González, V., & Alarcón, L. F. (2010). Analysis of factors influencing productivity using craftsmen questionnaires: case study in a Chilean construction company. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(4), 312-320.
 36. Rojas, E. M., & Aramvareekul, P. (2003). Is construction labor productivity really declining? *Journal of construction engineering and management*, 129(1), 41-46.
 37. Thomas, H. R., & Daily, J. (1983). Crew performance measurement via activity sampling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 109(3), 309-320.
 38. Thomas, H. R., & Mathews, C. T. (1986). *An analysis of the methods for measuring construction productivity*. Bureau of Engineering Research, University of Texas at Austin.
 39. Winch, G., & Carr, B. (2001). Benchmarking on-site productivity in France and the UK: a CALIBRE approach. *Construction Management & Economics*, 19(6), 577-590.

ANEXO A: Descripción de las Tareas y Acciones que componen la Operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso”

A continuación, se detallan todas las tareas y acciones que realizaban los trabajadores en la ejecución de la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso”. Se le asignaba una observación a la tarea correspondiente si es que alguna de estas acciones era observada durante el proceso de medición y recolección de datos. También, se especifica la cantidad de trabajadores que estaba involucrado en la ejecución de cada una de las tareas.

A.1 Montar Paneles de Muro Interiores.

La primera tarea involucrada en la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso” es colocar en la posición correspondiente los paneles de muro interiores, es decir, todos los paneles de muro que van por el interior de las casas. Los trabajadores encargados de la realización de esta tarea ejecutaban las acciones que se muestran en la tabla 31. Las acciones no siempre eran ejecutadas de la misma manera y en el mismo orden por los distintos trabajadores, ya que las realizaban según como más les acomodara.

Tabla 31: Descripción de cada Acción involucrada en la Tarea de Montar Paneles de Muro Interiores.

Tarea	Acción	Descripción
Montar Paneles de Muro Interiores	Levantar panel	<ul style="list-style-type: none"> Los paneles se acopiaban apoyados en el suelo, por lo que había que levantarlos para colocarlos en su posición.
	Situar panel en posición	<ul style="list-style-type: none"> Cada panel tenía una cierta posición asignada según los planos de moldaje, los trabajadores ordenaban los paneles según estos planos.
	Sostener panel	<ul style="list-style-type: none"> Cuando los paneles eran situados en su posición, los trabajadores los sostenían para que mantuvieran la posición vertical y para colocarlos al lado de otro panel.
	Ajustar cerrojos	<ul style="list-style-type: none"> Cuando se tenían dos paneles colocados uno al lado de otro, se ajustaban unos cerrojos para unir los paneles. Con la ayuda de un martillo de goma se golpeaban los cerrojos para apretarlos y así unir los paneles.
	Colocar tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> En la unión entre paneles quedaban dos orificios por donde se colocan los tornillos de anclaje. Los tornillos debían pasar de un lado del muro hasta el otro.
	Apretar tuercas de tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> Por el otro lado del muro de donde se colocaban los tornillos de anclaje, se colocaba una tuerca para apretar los muros y ajustar el espesor de éstos. Las tuercas se apretaban con una llave de carraca.

Esta tarea la realizaban 4 maestros de primera que se separaban en dos equipos de dos maestros cada uno. Cada equipo se preocupaba de montar los paneles de muro de una de las casas del *pareo*. En ocasiones, cuando el supervisor a cargo lo decidía, los ayudantes también ayudaban en la realización de esta tarea. En la imagen 9 se puede ver a un maestro de primera realizando esta tarea.



Imagen 9: Tarea de Montaje de Paneles de Muro Interiores por Maestro de Primera.

A.2 Montar Paneles de Muro Exteriores.

La segunda tarea involucrada en la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso” es colocar en la posición correspondiente los paneles de muro exteriores, es decir, los paneles de muro que van por fuera de las casas. Los trabajadores encargados de la realización de esta tarea ejecutaban las acciones que se muestran en la tabla 32. Las acciones no siempre eran ejecutadas de la misma manera y en el mismo orden por los distintos trabajadores, ya que las realizaban según como más les acomodara. Las acciones son prácticamente las mismas que las de la tarea anterior, sólo que las piezas montadas son otras.

Tabla 32: Descripción de cada Acción involucrada en la Tarea de Montar Paneles de Muro Exteriores.

Tarea	Acción	Descripción
Montar Paneles de Muro Exteriores	Levantar panel	<ul style="list-style-type: none"> Los paneles se acopiaban apoyados en el suelo, por lo que había que levantarlos para colocarlos en su posición.
	Situar panel en posición	<ul style="list-style-type: none"> Cada panel tenía una cierta posición asignada según los planos de moldaje, los trabajadores ordenaban los paneles según estos planos.
	Sostener panel	<ul style="list-style-type: none"> Cuando los paneles eran situados en su posición, los trabajadores los sostenían para que mantuvieran la posición vertical y para colocarlo al lado de otro panel.
	Ajustar cerrojos	<ul style="list-style-type: none"> Cuando se tenían dos paneles colocados uno al lado de otro, se ajustaban unos cerrojos para unir los paneles. Con la ayuda de un martillo de goma se golpeaban los cerrojos para apretarlos y así unir los paneles.
	Colocar tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> En la unión entre paneles quedaban dos orificios por donde se colocan los tornillos de anclaje. Los tornillos debían pasar de un lado del muro hasta el otro.
	Apretar tuercas de tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> Por el otro lado del muro de donde se colocaban los tornillos de anclaje, se colocaba una tuerca para apretar los muros y ajustar el espesor de éstos. Las tuercas se apretaban con una llave de carraca.

Esta tarea la realizaban principalmente los ayudantes, pero también los maestros de primera según estuviesen disponibles. En general se dejaba a dos ayudantes para esta tarea, uno por *pareo*, o también podía asignarse a un ayudante y un maestro de primera. Sin embargo, cuando se requería avanzar más rápido, se asignaba adicionalmente a los maestros de primera para que ayudaran con esta tarea a medida que se iban desocupando. En la imagen 10 se puede ver a dos maestros de primera realizando esta tarea.



Imagen 10: Tarea de Montaje de Paneles de Muro Exteriores por dos Maestros de Primera.

A.3 Montar Paneles de Piezas Especiales.

La tercera tarea involucrada en la secuencia de la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso” es colocar las piezas especiales. Los paneles o piezas a las que se le llaman “piezas especiales” corresponde a 3 casos de paneles/piezas muy particulares. El primer caso es para los moldajes que, dado el diseño de arquitectura de un ventanal en particular de cada casa, se tienen paneles de menor tamaño y paneles de formas muy especiales que conforman a una sección del diseño de arquitectura que se le llamo “*box-window*”, para esta sección el montaje de las piezas era particularmente complejo debido a la cantidad de piezas y la posición en que se debían poner. El segundo caso era para unas piezas conocidas como “*tapes*”, estas piezas eran diferentes en su forma y tamaño a los paneles de los muros, y se colocaban como reales tapas en los espacios que quedaban donde los muros empezaban o terminaban y en los lugares donde se ubicaban las ventanas. El tercer caso era para unos paneles de moldajes, llamados “*rebalses*”, que se ubicaban por sobre los paneles de muro exteriores, estas piezas tenían una altura igual al espesor de losa y solo se podían colocar una vez que el montaje de la enfierradura de losa estaba finalizado, ya que si estas piezas se colocaban de forma previa a la enfierradura entorpecían en las labores de los enfierradores.

Los trabajadores encargados de la realización de esta tarea ejecutaban las acciones que se muestran en la tabla 33. Las acciones no siempre eran ejecutadas de la misma manera y en el mismo

orden por los distintos trabajadores, ya que las realizaban según como más les acomodara. Además, como esta tarea involucra 3 casos diferentes de paneles especiales, la tarea no se ejecutaba necesariamente de forma continua, ya que los momentos en que se debían colocar los paneles de los “*box-windows*”, los “*tapes*” y los “*rebalses*” no tenían ninguna relación especial y eran totalmente independientes entre sí, por lo cual, no se necesitaba que ciertas piezas especiales estuviesen instaladas para continuar con las otras y tampoco la instalación de alguna de estas piezas impedía la instalación de las otras. Por lo tanto, dependiendo del avance o de las instrucciones del supervisor a cargo, la instalación de las distintas piezas especiales se podía hacer en paralelo o muy separadas en el tiempo sin que se afectará la instalación de uno u otro tipo de pieza especial.

Tabla 33: Descripción de cada Acción involucrada en la Tarea de Montar Paneles de Piezas Especiales.

Tarea	Acción	Descripción
Montar Paneles de Piezas Especiales	Levantar paneles/piezas	<ul style="list-style-type: none"> Los paneles/piezas se acopiaban apoyados en el suelo, por lo que había que levantarlos.
	Situar panel/pieza en posición	<ul style="list-style-type: none"> Cada panel/pieza tenía una cierta posición asignada según los planos de moldajes, los trabajadores ordenaban los paneles/piezas según estos planos.
	Sostener panel/pieza	<ul style="list-style-type: none"> Cuando los paneles/piezas eran situados en su posición, los trabajadores los sostenían para que mantuvieran la posición requerida y para colocarlo al lado de otro panel.
	Ajustar cerrojos	<ul style="list-style-type: none"> Cuando se tenían dos paneles colocados uno al lado de otro, se ajustaban unos cerrojos para unir los paneles. Con la ayuda de un martillo de goma se golpeaban los cerrojos para apretarlos.
	Ajustar cerrojos de tornillo	<ul style="list-style-type: none"> También se podían apretar otro tipo de cerrojo para unir piezas. Para apretar el cerrojo de tornillo se debía utilizar la llave de carraca.
	Ajustar cerrojos de los <i>tapes</i>	<ul style="list-style-type: none"> Los <i>tapes</i> tenían unos cerrojos especiales. Estos cerrojos se colocaban a lo ancho de los <i>tapes</i>. A cada lado tenían una especie de tornillo que permitía apretar los <i>tapes</i> contra los muros. Para apretar estos cerrojos se usaba la llave de carraca.
	Colocar tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> En la unión entre paneles quedaban dos orificios por donde se colocan los tornillos de anclaje. Los tornillos debían pasar de un lado del muro hasta el otro. En algunas secciones de los <i>box-windows</i> se debían colocar tornillos de anclaje.
	Apretar tuercas de tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> Por el otro lado del muro de donde se colocaron los tornillos de anclaje, se colocaba una tuerca para apretar los muros y ajustar el espesor de éstos. Las tuercas se apretaban con una llave de carraca. En algunas secciones de los <i>box-windows</i> se debían colocar tornillos de anclaje y, por ende, sus tuercas.
Ajustar puntales	<ul style="list-style-type: none"> En los <i>box-windows</i> se debían sostener unos paneles que formaban parte de la losa, por lo que se debían colocar y ajustar unos puntales para sostener esta parte del <i>box-window</i>. 	

Esta tarea la realizaban entre los maestros de primera y los ayudantes. Se separaban en dos equipos, cada equipo se preocupaba de montar las piezas de una de las casas del *pareo*. El montaje de las piezas que conformaban el *box-window* lo realizaban 4 maestros de primera, 2 por equipo. Los *tapes* eran montados principalmente por los ayudantes, aunque según la disponibilidad de maestros de primera, éstos también colaboraban. Los *rebalses* eran montados generalmente por 2 ayudantes. En la imagen 11 se puede ver a dos maestros de primera montando las piezas de un *box-window*.



Imagen 11: Tarea de Montaje de Paneles de Piezas Especiales por dos Maestros de Primera.

A.4 Montar Paneles de Losa.

La cuarta tarea involucrada en el ciclo de la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso” es colocar en la posición correspondiente los paneles de losa. Dentro del montaje de los paneles de losa se consideró también el montaje de unas piezas especiales que se les llamo “*piezas de transición*” o simplemente “*transiciones*”. Estas piezas permitían la unión entre los paneles de muro y de losa. Los trabajadores encargados de la realización de esta tarea ejecutaban las acciones que se muestran en las tablas 34 y 35. Las acciones no siempre eran ejecutadas de la misma manera y en el mismo orden por los distintos trabajadores, ya que las realizaban según como más les acomodara.

Tabla 34: Descripción de cada Acción involucrada en la Tarea de Montar Paneles de Losa.

Tarea	Acción	Descripción
Montar Paneles de Losa	Levantar panel/ <i>transición</i>	<ul style="list-style-type: none"> Los paneles/<i>transiciones</i> se acopiaban apoyados en el suelo, por lo que había que levantarlos. En este caso por sobre la altura de la cabeza.
	Situar panel/ <i>transición</i> en posición	<ul style="list-style-type: none"> Cada panel/<i>transición</i> tenía una cierta posición asignada según los planos de moldajes, los trabajadores ordenaban los paneles según estos planos.
	Sostener panel/ <i>transición</i>	<ul style="list-style-type: none"> Cuando los paneles/<i>transiciones</i> eran situados en su posición, los trabajadores los sostenían para que mantuvieran la posición requerida y para colocarlo al lado de otro panel/<i>transición</i>.
	Ajustar cerrojos	<ul style="list-style-type: none"> Cuando se tenían dos paneles colocados uno al lado de otro, o cuando se colocaban las <i>transiciones</i>, se ajustaban unos cerrojos para unir los paneles o para unir las <i>transiciones</i> a los paneles de muro y losa. Con la ayuda de un martillo de goma se golpeaban los cerrojos para apretarlos.
	Ajustar cerrojos de tornillo	<ul style="list-style-type: none"> También se podían apretar otro tipo de cerrojo para unir piezas. Para apretar el cerrojo de tornillo se debía utilizar la llave de carraca.

Tabla 35: Continuación Tabla 34.

Montar Paneles de Losa	Situar puntales	<ul style="list-style-type: none"> Los puntales que sostenían a la losa estaban diseñados de tal manera que formaban parte de la losa misma. Estos se debían situar según se especificaba en los planos.
	Enganchar losa a cabeza de puntales	<ul style="list-style-type: none"> La cabeza de los puntales estaba diseñada de manera tal que la forma de unir los puntales a los paneles de losa se lograba enganchar unos paneles de losa especiales a la cabeza de los puntales. Si no se lograban enganchar bien las piezas, con la ayuda de un martillo de goma, se golpeaban las piezas para lograr una correcta unión.
	Nivelar puntales	<ul style="list-style-type: none"> Los puntales debían quedar en perfecta posición vertical para que la losa no sufriera desniveles. Con la ayuda de un nivel se ajustaba la posición de los puntales.
	Nivelar losa	<ul style="list-style-type: none"> Los puntales se ajustaban para subir o bajar la altura de la losa. Con la ayuda de un nivel se verificaba que la losa estuviera bien nivelada en correcta horizontalidad.

Esta tarea la realizaban 4 maestros de primera que se separaban en dos equipos de dos maestros cada uno. Cada equipo se preocupaba de montar los paneles losa de una de las casas del *pareo*. En la imagen 12 se puede ver a dos maestros de primera realizando esta tarea. En la imagen 13 se puede ver a un maestro de primera colocando una *transición*. En la imagen 14 se puede ver a dos maestros de primera nivelando una losa.



Imagen 12: Tarea de Montaje de Paneles de Losa por dos Maestros de Primera.



Imagen 13: Tarea de Montaje de Paneles de Losa por un Maestro de Primera.



Imagen 14: Tarea de Montaje de Paneles de Losa por dos Maestros de Primera.

A.5 Montar Enfierradura de Losa.

La quinta tarea involucrada en el ciclo estudiado es la que corresponde a montar la enfierradura de la losa del primer piso para el posterior hormigonado. Hay que recordar que las armaduras de muro fueron montadas de forma previa a todas las actividades de montaje de moldaje y de modo tal que el avance logrado en el montaje de éstas no afectara en el ciclo de la operación “Montaje de Moldajes del Primer Piso”. No era posible realizar el montaje de la enfierradura de losa de forma previa, como en el caso de los muros, y así evitar que esta tarea impactara en ciclo, ya que para el montaje de la armadura se requería que los moldajes de losa estuviesen montados

para que la cuadrilla de enfierradores pudiese trabajar y para tener una superficie donde apoyar la enfierradura de losa.

Los trabajadores encargados de la realización de esta tarea era una cuadrilla de enfierradores que la empresa constructora subcontrataba. La estrategia de gestión que siguió la administración de obra fue subcontratar la partida de enfierradura. El estudio realizado se enfocó exclusivamente en el desempeño logrado por la cuadrilla de moldajeros, por lo tanto, no se analizaron ni estudiaron las labores de la cuadrilla de enfierradores, sin embargo, es necesario mencionar esta tarea porque su ejecución tiene impacto en el ciclo de la operación estudiada y, en consecuencia, en el desempeño de la cuadrilla de moldajeros. Por lo antes explicado no se analizó en detalle las acciones que realizaban los miembros de la cuadrilla de moldajeros. La recolección de datos y análisis asociados a esta tarea se realizaron para determinar de qué modo podía afectar en el ciclo estudiado y en el desempeño de la cuadrilla de moldajeros. Un claro ejemplo de cómo afectaba esta tarea en alguna de las labores de los moldajeros era que, para colocar los paneles de moldaje llamados “rebalses”, debía estar ya montada la armadura de la losa, ya que, si se ponían los rebalses antes que la armadura de la losa, éstos impedían la correcta colocación de algunos de los fierros que componían la armadura de la losa entorpeciendo la labor de los enfierradores y resultando en una secuencia lógica de la operación poco óptima. En la imagen 15 se puede ver como la cuadrilla de enfierradores trabajaba en el montaje de la armadura de la losa.



Imagen 15: Tarea de Montaje de Enfierradura de Losa por Cuadrilla de Enfierradores.

A.6 Hormigonar.

La sexta tarea involucrada en la secuencia lógica de la operación estudiada es el vertimiento de hormigón y llenado de muros y losa del primer piso. El sistema de moldajes permitía que se realizara el hormigonado de los elementos de muro y losa del primer piso de una sola vez, por lo tanto, se podía hormigonar un piso completo al finalizar la jornada laboral dejando tiempo durante el resto de la tarde y toda la noche para el proceso de fraguado del hormigón y así, al inicio de la siguiente jornada laboral, el hormigón ya contaba con suficiente resistencia y se podía iniciar con el descimbre de los moldajes.

Los trabajadores que realizaban esta tarea era una cuadrilla de concreteros y se realizaba el vertimiento con la ayuda de una bomba telescópica. Similar a la situación de la tarea anterior, el estudio se enfocó principalmente en las labores de los integrantes de la cuadrilla de moldajeros, por lo tanto, el análisis y estudio de las acciones y tareas desempeñadas por los integrantes de la cuadrilla de concretero no era de mayor interés. La recolección de datos y análisis asociados a esta tarea se realizaron para determinar de qué modo podía afectar en el ciclo estudiado y en el desempeño de la cuadrilla de moldajeros. En la imagen 16 se ve la bomba telescópica utilizada para el vertimiento de hormigón. En la imagen 17 se puede ver a la cuadrilla de concreteros en sus labores.



Imagen 16: Bomba Telescópica utilizada para el Vertimiento de Hormigón.



Imagen 17: Tarea de Hormigonado por Cuadrilla de Concreteros.

A.7 Descimbrar Paneles de Piezas Especiales.

La séptima tarea involucrada en la secuencia de la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso”, y con la que se inician las tareas de Descimbre, es remover los paneles de piezas especiales. Al igual que para el montaje de las piezas especiales, el descimbre de los distintos tipos de piezas también es totalmente independiente, por lo cual, el descimbre de uno u otro tipo de pieza especial se podía realizar en paralelo a otra pieza especial o muy separado en el tiempo sin que afecte en nada. En general se iniciaban las tareas de Descimbre con el desmontaje de los *tapes*, ya que estos debían ser removidos para descimbrar los paneles de muro exterior e interior que se encontraban en los inicios y términos de muro. Los trabajadores encargados de la realización de esta tarea ejecutaban las acciones que se muestran en la tabla 36. Las acciones no siempre eran ejecutadas de la misma manera y en el mismo orden por los distintos trabajadores, ya que las realizaban según como más les acomodara.

Tabla 36: Descripción de cada Acción involucrada en la Tarea de Descimbrar Paneles de Piezas Especiales.

Tarea	Acción	Descripción
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	Soltar y remover cerrojos de los <i>tapes</i>	<ul style="list-style-type: none"> Los <i>tapes</i> tenían unos cerrojos especiales que se colocaban a lo ancho de estas piezas. A cada lado tenían una especie de tornillo que apretaba los <i>tapes</i> a los muros. Estos tornillos se soltaban con la ayuda de una llave de carraca para remover los cerrojos.
	Soltar y remover cerrojos	<ul style="list-style-type: none"> Con la ayuda de un martillo de goma se golpeaban los cerrojos para soltarlos y luego removerlos. Para remover los paneles/piezas de los <i>box-windows</i> y <i>rebalses</i> se debían soltar este tipo de cerrojos.
	Soltar y remover cerrojos de tornillo	<ul style="list-style-type: none"> Con la ayuda de una llave de carraca se soltaban los cerrojos de tornillo para luego removerlos. Para remover los paneles/piezas de los <i>box-windows</i> y <i>rebalses</i> se debían soltar este tipo de cerrojos.
	Soltar tuercas de tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> En algunos paneles de los <i>box-windows</i> se colocaban tornillos y tuercas de anclaje. Las tuercas de los tornillos de anclaje se soltaban con la ayuda de una llave de carraca.
	Remover tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> En algunos paneles de los <i>box-windows</i> se colocaban tornillos y tuercas de anclaje. Los tornillos de anclaje se debían remover.
	Remover/Cambiar puntales	<ul style="list-style-type: none"> Los puntales que sostenían parte de la losa que conformaba los <i>box-windows</i> debían ser removidos y cambiados por otro tipo de puntales que sostuvieran la losa durante el resto del tiempo del proceso de fraguado.
	Remover panel/pieza	<ul style="list-style-type: none"> Una vez que se soltaban y removían los cerrojos de los paneles/piezas, éstos se debían remover de donde estaban. Cuando se deseaba remover cualquier panel, en general éstos quedaban pegados al hormigón seco, por lo que los trabajadores utilizaban martillos de goma y/o una palanca para soltar los paneles del hormigón seco.

Esta tarea la realizaban entre los maestros de primera y los ayudantes. Se separaban en dos equipos, cada equipo se preocupaba de descimbrar las piezas de una de las casas del *pareo*. El desmontaje de las piezas que conformaban el *box-window* lo realizaban 2 maestros de primera, 1 por equipo. Los *tapes* eran descimbrados principalmente por los ayudantes, aunque según la disponibilidad de maestros de primera, éstos también colaboraban. Los *rebalses* eran desmontados generalmente por 2 ayudantes. En la imagen 18 se puede ver a un maestro de primera desmontando

las piezas de un *box-window*. En la imagen 19 se puede ver a un maestro de primera descimbrando un *rebalse*.



Imagen 18: Tarea de Descimbre de Paneles de Piezas Especiales por Maestro de Primera.



Imagen 19: Tarea de Descimbre de Paneles de Piezas Especiales por Maestro de Primera.

A.8 Descimbrar Paneles de Muro Interiores.

La octava tarea involucrada en la secuencia de la operación estudiada es desmontar los paneles de muro interiores, es decir, todos los paneles de muros que van por el interior de la casa. Los trabajadores encargados de la realización de esta tarea ejecutaban las acciones que se muestran

en la tabla 37. Las acciones no siempre eran ejecutadas de la misma manera y en el mismo orden por los distintos trabajadores, ya que las realizaban según como más les acomodara.

Tabla 37: Descripción de cada Acción involucrada en la Tarea de Descimbrar Paneles de Muro Interiores.

Tarea	Acción	Descripción
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	Soltar y remover cerrojos	<ul style="list-style-type: none"> Con la ayuda de un martillo de goma se golpeaban los cerrojos para soltarlos y luego removerlos.
	Soltar tuercas de tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> Las tuercas de los tornillos de anclaje se soltaban con la ayuda de una llave de carraca.
	Remover tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> Los tornillos de anclaje se debían remover para luego remover los paneles de muro.
	Remover panel	<ul style="list-style-type: none"> Una vez que se soltaban y removían los cerrojos de los paneles, éstos se debían remover de donde estaban. Cuando se deseaba remover cualquier panel, en general éstos quedaban pegados al hormigón seco, por lo que los trabajadores utilizaban martillos de goma y/o una palanca para soltar los paneles del hormigón seco.

Esta tarea la realizaban 4 maestros de primera que se separaban en dos equipos de dos maestros cada uno. Cada equipo se preocupaba de desmontar los paneles de muro de una de las casas del *pareo*. En ocasiones, cuando el supervisor a cargo lo decidía, los ayudantes también ayudaban en la realización de esta tarea. En la imagen 20 se puede ver a un maestro de primera realizando esta tarea.



Imagen 20: Tarea de Descimbre de Paneles de Muro Interiores por Maestro de Primera.

A.9 Descimbrar Paneles de Muros Exteriores.

La novena tarea involucrada en el ciclo estudiado es desmontar los paneles de muro exteriores, es decir, los paneles de muro que van por fuera de las casas. Los trabajadores encargados de la realización de esta tarea ejecutaban las acciones que se muestran en la tabla 38. Las acciones no siempre eran ejecutadas de la misma manera y en el mismo orden por los distintos trabajadores,

ya que las realizaban según como más les acomodara. Las acciones son prácticamente las mismas que las de la tarea anterior, sólo que los paneles desmontados son otras.

Tabla 38: Descripción de cada Acción involucrada en la Tarea de Descimbrar Paneles de Muro Exteriores.

Tarea	Acción	Descripción
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	Soltar y remover cerrojos	<ul style="list-style-type: none"> Con la ayuda de un martillo de goma se golpeaban los cerrojos para soltarlos y luego removerlos.
	Soltar tuercas de tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> Las tuercas de los tornillos de anclaje se soltaban con la ayuda de una llave de carraca.
	Remover tornillos de anclaje	<ul style="list-style-type: none"> Los tornillos de anclaje se debían remover para luego remover los paneles de muro.
	Remover paneles	<ul style="list-style-type: none"> Una vez que se soltaban y removían los cerrojos de los paneles, éstos se debían remover de donde estaban. Cuando se deseaba remover cualquier panel, en general éstos quedaban pegados al hormigón seco, por lo que los trabajadores utilizaban martillos de goma y/o una palanca para soltar los paneles del hormigón seco.

Esta tarea la realizaban principalmente los ayudantes, pero también los maestros de primera según estuviesen disponibles. En general se asignaba a dos ayudantes para esta tarea, uno por *pareo*, o también podía asignarse a un ayudante y un maestro de primera. Sin embargo, cuando se requería avanzar más rápido, se asignaba adicionalmente a los maestros de primera para que ayudaran con esta tarea a medida que se iban desocupando. En la imagen 21 se puede ver a un maestro de primera realizando esta tarea.



Imagen 21: Tarea de Descimbre de Paneles de Muro Exteriores por Maestro de Primera.

A.10 Descimbrar Paneles de Losa.

La décima tarea involucrada en la operación estudiada es desmontar los paneles de losa. Dentro del desmontaje de los paneles de losa se consideró también el descimbre de las *transiciones*. Los trabajadores encargados de la realización de esta tarea ejecutaban las acciones que se muestran en la tabla 39. Las acciones no siempre eran ejecutadas de la misma manera y en el mismo orden por los distintos trabajadores, ya que las realizaban según como más les acomodara.

Tabla 39: Descripción de cada Acción involucrada en la Tarea de Descimbrar Paneles de Losa.

Tarea	Acción	Descripción
Descimbrar Paneles de Losa	Soltar y remover cerrojos	<ul style="list-style-type: none"> Con la ayuda de un martillo de goma se golpeaban los cerrojos para soltarlos y luego removerlos.
	Soltar y remover cerrojos de tornillo	<ul style="list-style-type: none"> Con la ayuda de una llave de carraca se soltaban los cerrojos de tornillo para luego removerlos.
	Remover <i>transición</i>	<ul style="list-style-type: none"> Con la ayuda de una herramienta especial y de un martillo de goma, los trabajadores soltaban y removían las <i>transiciones</i>. La herramienta especial mencionada era una especie de palanca que en un extremo tenía una forma especial que permitía enganchar la herramienta a las <i>transiciones</i> y en el otro extremo tenía forma de L para que fuera golpeada.
	Remover panel	<ul style="list-style-type: none"> Una vez que se soltaban y removían los cerrojos de los paneles, éstos se debían remover. Cuando se deseaba remover cualquier panel, en general éstos quedaban pegados al hormigón seco, por lo que, si llegaba a ser necesario, los trabajadores utilizaban martillos de goma y/o una palanca para soltar los paneles del hormigón seco.
	Remover/Cambiar puntales	<ul style="list-style-type: none"> Los puntales que sostenían la losa debían ser removidos y cambiados por otro tipo de puntales que sostuvieran la losa durante el resto del tiempo del proceso de fraguado.

Esta tarea la realizaban 4 maestros de primera que se separaban en dos equipos de dos maestros cada uno. Cada equipo se preocupaba de descimbrar los paneles losa de una de las casas del *pareo*. En la imagen 22 se puede ver a un maestro de primera realizando esta tarea.



Imagen 22: Tarea de Descimbre de Paneles de Losa por Maestro de Primera.

A.11 Transporte de Paneles y Piezas de Moldaje.

La onceava tarea involucrada en el ciclo de la operación estudiada es transportar todos los paneles y piezas de moldaje al sector en donde se volverían a montar para la construcción del siguiente *pareo* y así iniciar con el próximo ciclo. Los trabajadores ejecutaban las acciones que se muestran en la tabla 40. Además, hay que mencionar que las distancias entre *pareos* del mismo tipo (en este caso B1) era variable. También, en ciertas ocasiones, se contó con la ayuda de un tractor y un carro coloso para facilitar el transporte de las piezas y paneles.

Tabla 40: Descripción de cada Acción involucrada en la Tarea de Transportar Piezas de Moldaje.

Tarea	Acción	Descripción
Transporte de Piezas de Moldaje	Transportar moldajes	<ul style="list-style-type: none"> En general, el transporte de los paneles y piezas se hacía a pie, es decir, los trabajadores cargaban con los paneles y piezas y caminaban hasta el sector donde se iniciaría con el nuevo ciclo. Dependiendo de disponibilidad y del tipo de pieza a transportar, se usaban carretillas para el transporte.
	Cargar coloso	<ul style="list-style-type: none"> Cuando se contaba con la ayuda del tractor y el carro coloso para el transporte de los paneles y piezas, éstos se cargaban y ordenaban en el carro por los trabajadores.
	Descargar coloso	<ul style="list-style-type: none"> Cuando el tractor llevaba el carro coloso al sector donde se iniciaría con el nuevo ciclo, los trabajadores debían descargar los paneles y piezas del carro.
	Acopiar paneles y piezas	<ul style="list-style-type: none"> En el sector donde se realizaría el siguiente montaje, los moldajes y piezas eran acopiados de forma ordenada.

Esta tarea la realizaban generalmente los ayudantes, en algunas ocasiones se sumaban los maestros de primera dependiendo de la disponibilidad de éstos, ya que, en general, el supervisor a cargo mantenía a los maestros de primera en labores más complicadas. En la imagen 23 se puede ver cómo se realizaba el transporte a pie. En la imagen 24 se puede ver cómo se realizaba el transporte con el uso del tractor y el carro coloso.



Imagen 23: Tarea de Transporte de Piezas de Moldaje por Cuadrilla de Moldajeros.



Imagen 24: Tarea de Transporte de Piezas de Moldaje por Tractor y Carro Coloso.

A.12 Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje.

La doceava y última tarea involucrada en la secuencia lógica de la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso” es remover y limpiar los restos de hormigón seco de los distintos paneles y piezas y aplicar desmoldante en la cara de los paneles que quedará en contacto con el hormigón al ser vertido. La correcta remoción de los restos de hormigón es necesaria para lograr los niveles de calidad estipulados, y, la aplicación de desmoldante se requiere para facilitar la remoción de los restos de hormigón seco y para facilitar las tareas de “Descimbre”. Los trabajadores encargados de la realización de esta tarea ejecutaban las acciones que se muestran en la tabla 41. Las acciones no siempre eran ejecutadas de la misma manera y en el mismo orden por los distintos trabajadores, ya que las realizaban según como más les acomodara.

Tabla 41: Descripción de cada Acción involucrada en la Tarea de Limpiar Piezas de Moldaje.

Tarea	Acción	Descripción
Limpieza de Piezas de Moldaje	Remover restos de hormigón seco	<ul style="list-style-type: none"> Los restos de hormigón seco se debían remover de los paneles y piezas de moldaje. Los cantos de los paneles de moldaje quedaban con una mayor cantidad de restos de hormigón seco. Cada trabajador usaba su martillo de goma y su llave de carraca como punzón para remover los restos de hormigón que quedaban en los cantos y que no fueron removidos fácilmente.
	Aplicar desmoldante	<ul style="list-style-type: none"> En los cantos y, principalmente, en las caras de los moldajes que quedaban en contacto con el hormigón al ser vertido, se aplicaba una mezcla de desmoldante para facilitar las labores de Descimbre y Limpieza. El desmoldante se aplicaba con brochas y rodillos.

Esta tarea la realizaban prácticamente en su totalidad todos los trabajadores que componían la cuadrilla de moldajeros. La particularidad de esta tarea es que no se ejecutaba de forma continua, en particular, la acción de remover por completo los restos de hormigón seco, ya que constantemente se observó a trabajadores removiendo restos de hormigón en medio de la ejecución de alguna tarea de “Montaje”. En la imagen 25 se puede ver a un maestro de primera aplicando desmoldante a un panel de muro. En la imagen 26 se puede ver a un maestro de primera removiendo restos de hormigón seco de un panel de muro. En la imagen 27 se puede ver a un maestro de primera removiendo restos de hormigón seco antes de montar una pieza de moldaje de losa.



Imagen 25: Tarea de Limpieza de Piezas de Moldaje por Maestro de Primera.

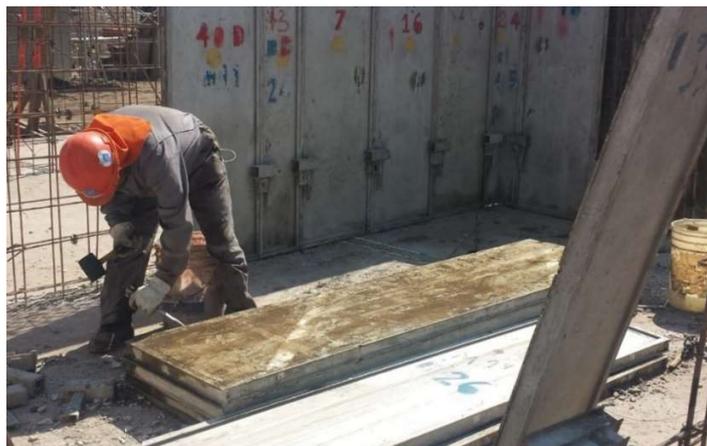


Imagen 26: Tarea de Limpieza de Piezas de Moldaje por Maestro de Primera.



Imagen 27: Tarea de Limpieza de Piezas de Moldaje por Maestro de Primera.

A.13 Tareas de Apoyo.

Aparte de las tareas que fueron descritas anteriormente, durante la ejecución de la operación estudiada, también se observaron otro tipo de acciones que contribuían al trabajo, sin embargo, éstas no tenían una directa relación con la instalación/desinstalación de los moldajes, a pesar de esto, la realización de estas acciones era necesaria para la correcta ejecución de los ciclos de montaje. A las acciones que se hace referencia tienen que ver con labores que apoyan la principal función de la cuadrilla de moldajeros, la cual es: instalar, desinstalar y volver a instalar metros cuadrados de moldajes. Dentro de este tipo de labores se pueden nombrar el calafateo, el aplomo de los muros, entre otros. A continuación, en la tabla 42, se describirán las distintas tareas de apoyo observadas durante la ejecución de la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso”.

Tabla 42: Descripción de cada Acción involucrada en las Tareas de Apoyo.

Tarea	Acción	Descripción
Tareas de Apoyo	Mantener paneles dentro del trazo	<ul style="list-style-type: none"> La cuadrilla de moldajeros, al instalar los paneles de moldaje, no se preocupaban de ser meticulosos y respetar el trazo dentro del que debían quedar los paneles. Por esta razón los moldajes debían ser corridos y ajustados para que quedaran dentro del trazo. Con la ayuda de una palanca y, de ser necesario, un puntal, se corrían los moldajes.
	Instalación de topes y escuadras	<ul style="list-style-type: none"> Una vez que los moldajes se corrían y dejaban dentro del trazo, se instalaban topes y escuadras para que los moldajes no se volvieran a correr de su posición. Las escuadras se fijaban con dowers. Los topes eran de madera, se fijaban con clavos y una pistola Hilti para atravesar el hormigón. A los paneles de muro interior se les instalaban topes y escuadras, a los paneles de muro exterior solo topes.
	Calafateo	<ul style="list-style-type: none"> En la junta entre los moldajes y el radier se introducía espuma de poliuretano flexible con el propósito de evitar que el hormigón, al verterlo, se escurriera, ya sea la mezcla o el agua de la mezcla.
	Aplomo de muros	<ul style="list-style-type: none"> La cuadrilla de moldajeros, al instalar los paneles de moldaje, no se preocupaban de ser meticulosos y verificar si los paneles se encontraban en perfecta posición vertical. Por esta razón los moldajes debían ser verificados de que estuviesen, dentro de los márgenes de tolerancia estipulados, en correcta posición vertical, de lo contrario, se debía corregir la verticalidad del panel.
	Apuntalamiento	<ul style="list-style-type: none"> Para sostener la losa de hormigón durante su etapa de endurecimiento se deben cambiar puntales y realizar un apuntalamiento especial en ciertos sectores de la losa.
	Corregir armadura	<ul style="list-style-type: none"> Por errores entre los planos de moldaje y de cálculo, se tuvo que corregir la armadura para ajustarla a un par de ventanas por <i>pareo</i>. Se corrigió la armadura con la ayuda de una palanca y, cuando se requirió, de una cierra circular.

Esta tarea la realizaban principalmente 2 maestros que estaban especialmente designados para que se hicieran cargo de estas labores. Estos maestros contaban con una serie de herramientas eléctricas y materiales para llevar a cabo todas las labores que debían ejecutar. En la imagen 28 se puede ver a un maestro realizando el calafateo. En la imagen 29 se puede ver a un maestro corrigiendo la armadura de una ventana.



Imagen 28: Tareas de Apoyo por Maestro.



Imagen 29: Tareas de Apoyo por Maestro.

A.14 Acciones No-Contributivas.

Todas las acciones que no significaban un aprovechamiento del tiempo en la ejecución de las labores asignadas se consideraron como acciones no-contributivas. A continuación, en la tabla 43, se describirán las principales acciones no-contributivas observadas durante la ejecución los ciclos de la operación “Montaje de Paneles de Moldaje del Primer Piso”.

Tabla 43: Descripción de Acciones No-Contributivas.

Tarea	Acción	Descripción
Acciones No-Contributivas	Descansos no programados	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando los trabajadores no se encontraban ejecutando ninguna tarea relacionada a la ejecución de la operación y se encontraban descansando sin autorización.
	Fumar	<ul style="list-style-type: none"> • Descansar e interrumpir la realización de las labores asignadas para fumar un cigarro.
	Usar teléfono móvil	<ul style="list-style-type: none"> • Interrumpir la realización de las labores asignadas para hablar o revisar el teléfono móvil.
	Tomar agua	<ul style="list-style-type: none"> • Interrumpir las labores asignadas para ir a buscar agua o para simplemente tomar agua.
	Conversar	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando los trabajadores no se encontraban realizando sus labores por estar conversando.
	Otras	<ul style="list-style-type: none"> • Cualquier otra acción que signifique la interrupción de las labores asignadas o perder el tiempo en acciones que no contribuyan al avance de la operación

Todos los trabajadores de la cuadrilla en algún momento incurrieron en alguna de estas acciones. En la imagen 30 se puede ver a un ayudante y a un maestro de primera conversando. En la imagen 31 se puede ver a un ayudante tomándose un descanso no programado.



Imagen 30: Acción No-Contributiva por Maestro de Primera y Ayudante.



Imagen 31: Acción No-Contributiva por Ayudante.

ANEXO B: Detalle Registros de Datos de Terreno.

A continuación, se muestra el detalle de los registros de los datos recolectados en terreno, a partir de los cuales se realizó el estudio de productividad en conjunto con todos los análisis complementarios propuestos. Las fichas A01-A07 corresponden a los datos registrados para obtener las *duraciones cronológicas* de las distintas tareas que componían la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”. Las fichas B01-B17 corresponden a los datos registrados para obtener los *tiempos efectivos* de duración de las distintas tareas que componían la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”.

Ficha: A01

Fecha Inicio: 30-01-2017

Fecha Termino: 31-01-2017

	Actividad	Tipo/Casa	Inicio	Término	Duración	Observaciones
(1)	Descimbrar Panel Int.	-	-	-	-	No se registró
(2)	Descimbrar Panel Ext.	-	-	-	-	No se registró
(3)	Descimbrar Panel Losa	-	-	-	-	No se registró
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	-	-	-	-	No se registró
(5)	Transporte	-	-	-	-	No se registró
(6)	Limpieza	-	-	-	-	No se registró
(7)	Montar Panel Int.	B1/20	-	-	-	Inicio: 30-01; Fin: 30-01
(8)	Montar Panel Losa	B1/20	-	17:20	-	Inicio: 30-01; Fin: 30-01
(9)	Montar Panel Ext.	B1/20	-	17:16	-	Inicio: 30-01; Fin: 30-01
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/20	11:45	17:32	13:12	Inicio: 30-01; -1hr almuerzo
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/20	8:30	17:55		Fin: 31-01; -1hr almuerzo
(11)	Enfierradura	B1/20	-	-	-	No se registró
(12)	Hormigón	B1/20	17:25	21:30	2:48	Inicio: 31-01; Fin: 31-01; -17 min por hormigón de frontones; -1hr por retraso de camión

Ficha: A02**Fecha Inicio:** 01-02-2017**Fecha Termina:** 03-02-2017

	Actividad	Tipo/Casa	Inicio	Término	Duración	Observaciones
(1)	Descimbrar Panel Int.	B1/20	9:07	10:30	1:23	Inicio: 01-02; Fin: 01-02
(2)	Descimbrar Panel Ext.	B1/20	9:45	16:21	5:36	Inicio: 01-02; Fin: 01-02; -1hr almuerzo
(3)	Descimbrar Panel Losa	B1/20	11:55	16:21	3:26	Inicio: 01-02; Fin: 01-02; -1hr almuerzo
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	B1/20	8:45	18:00	16:45	Inicio: 01-02; -1hr almuerzo
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	B1/20	8:30	17:30		-1hr almuerzo
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	B1/20	9:00	9:30		Fin: 03-02
(5)	Transporte	B1/20-19	10:24	18:00	15:06	Inicio: 01-02; -1hr almuerzo
(5)	Transporte	B1/20-19	8:30	17:30		-1hr almuerzo
(5)	Transporte	B1/20-19	9:00	9:30		Fin: 03-02
(6)	Limpieza	B1/19	10:50	18:00	21:10	Inicio: 01-02; -1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/19	8:30	17:30		-1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/19	9:00	17:00		Fin: 03-02; -1hr almuerzo
(7)	Montar Panel Int.	B1/19	10:53	12:08	1:15	Inicio: 01-02; Fin: 01-02
(8)	Montar Panel Losa	B1/19	13:30	18:00	7:15	Inicio: 01-02
(8)	Montar Panel Losa	B1/19	8:30	11:15		Fin: 02-02
(9)	Montar Panel Ext.	B1/19	11:55	18:00	8:10	Inicio: 01-02; -1hr almuerzo
(9)	Montar Panel Ext.	B1/19	8:30	11:35		Fin: 02-02
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/19	10:30	17:30	13:10	Inicio: 02-02; -1hr almuerzo
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/19	9:00	17:10		Fin: 03-02; -1hr almuerzo
(11)	Enfierradura	B1/19	9:30	17:00	6:30	Inicio: 03-02; Fin: 03-02; -1hr almuerzo
(12)	Hormigón	B1/19	16:35	19:15	2:15	Inicio: 03-02; Fin: 03-02; -25 min por hormigón de frontones

Ficha: A03**Fecha Inicio:** 06-02-2017**Fecha Termina:** 07-02-2017

	Actividad	Tipo/Casa	Inicio	Término	Duración	Observaciones
(1)	Descimbrar Panel Int.	B1/19	10:10	14:00	2:50	Inicio: 06-02; Fin: 06-02; -1hr almuerzo
(2)	Descimbrar Panel Ext.	B1/19	10:40	17:45	7:15	Inicio: 06-02; -1hr almuerzo
(2)	Descimbrar Panel Ext.	B1/19	8:30	9:40		Fin: 07-02
(3)	Descimbrar Panel Losa	B1/19	13:40	17:45	5:05	Inicio: 06-02
(3)	Descimbrar Panel Losa	B1/19	8:30	9:30		Fin: 07-02
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	B1/19	9:45	17:45	12:10	Inicio: 06-02; -1hr almuerzo
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	B1/19	8:30	14:40		Fin: 07-02; -1hr almuerzo
(5)	Transporte	B1/19-31	11:30	17:45	12:10	Inicio: 06-02; -1hr almuerzo
(5)	Transporte	B1/19-31	8:30	16:25		Fin: 07-02; -1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/31	11:30	17:45	13:50	Inicio: 06-02; -1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/31	8:30	18:05		Fin: 07-02; -1hr almuerzo
(7)	Montar Panel Int.	B1/31	13:50	15:35	1:45	Inicio: 06-02; Fin: 06-02
(8)	Montar Panel Losa	B1/31	14:55	17:45	6:30	Inicio: 06-02
(8)	Montar Panel Losa	B1/31	8:30	12:10		Fin: 07-02
(9)	Montar Panel Ext.	B1/31	14:25	17:45	8:25	Inicio: 06-02
(9)	Montar Panel Ext.	B1/31	8:30	14:35		Fin: 07-02; -1hr almuerzo
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/31	10:50	18:25	6:35	Inicio: 07-02; Fin: 07-02; -1hr almuerzo
(11)	Enfierradura	B1/31	12:10	18:37	5:27	Inicio: 07-02; Fin: 07-02; -1hr almuerzo
(12)	Hormigón	B1/31	18:38	20:30	1:52	Inicio: 07-02; Fin: 07-02; Se tuvo que esperar a que enfierradores terminaran

Ficha: A04**Fecha Inicio:** 08-02-2017**Fecha Termina:** 10-02-2017

	Actividad	Tipo/Casa	Inicio	Término	Duración	Observaciones
(1)	Descimbrar Panel Int.	B1/31	15:10	16:30	1:20	Inicio: 08-02; Fin: 08-02
(2)	Descimbrar Panel Ext.	B1/31	14:50	17:03	2:13	Inicio: 08-02; Fin: 08-02
(3)	Descimbrar Panel Losa	B1/31	17:05	18:30	2:40	Inicio: 08-02
(3)	Descimbrar Panel Losa	B1/31	7:00	8:15		Fin: 09-02; Trabajador llega antes de empezar la jornada laboral
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	B1/31	10:00	18:30	7:50	Inicio: 08-02; -1hr almuerzo
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	B1/31	8:30	8:50		Fin: 09-02
(5)	Transporte	B1/31-36	16:35	18:30	14:35	Inicio: 08-02
(5)	Transporte	B1/31-36	8:30	17:50		-1hr almuerzo
(5)	Transporte	B1/31-36	8:30	13:50		Fin: 10-02; -1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/36	17:07	18:30	14:43	Inicio: 08-02
(6)	Limpieza	B1/36	8:30	17:50		-1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/36	8:30	14:30		Fin: 10-02; -1hr almuerzo
(7)	Montar Panel Int.	B1/36	17:35	18:30	0:55	Inicio: 08-02; Fin: 08-02
(8)	Montar Panel Losa	B1/36	9:20	14:05	3:45	Inicio: 09-02; Fin: 09-02; -1hr almuerzo
(9)	Montar Panel Ext.	B1/36	18:05	18:30	6:05	Inicio: 08-02
(9)	Montar Panel Ext.	B1/36	8:30	15:10		Fin: 09-02; -1hr almuerzo
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/36	11:55	17:50	10:25	Inicio: 09-02; -1hr almuerzo
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/36	8:30	15:00		Fin: 10-02; -1hr almuerzo
(11)	Enfierradura	B1/36	14:40	17:50	7:10	Inicio: 09-02
(11)	Enfierradura	B1/36	8:30	12:30		Fin: 10-02
(12)	Hormigón	B1/36	18:00	20:30	2:30	Inicio: 10-02; Fin: 10-02

Ficha: A05**Fecha Inicio:** 14-02-2017**Fecha Termina:** 14-02-2017

	Actividad	Tipo/Casa	Inicio	Término	Duración	Observaciones
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
(1)	Descimbrar Panel Int.	B1/36	-	-	-	Inicio: 13-02; Fin: 13-02; No se registró
(2)	Descimbrar Panel Ext.	B1/36	-	-	-	Inicio: 13-02; Fin: 13-02; No se registró
(3)	Descimbrar Panel Losa	B1/36	-	-	-	Inicio: 13-02; Fin: 13-02; No se registró
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	B1/36	-	-	-	Inicio: 13-02; Fin: 13-02; No se registró
(5)	Transporte	B1/36-37	8:30	16:20	-	Inicio: 13-02 (No se registró); Fin: 14-02; -1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/37	8:30	17:40	-	Inicio: 13-02 (No se registró); Fin: 14-02; -1hr almuerzo
(7)	Montar Panel Int.	B1/37	-	-	-	Inicio: 13-02; Fin: 13-02; No se registró
(8)	Montar Panel Losa	B1/37	-	-	-	Inicio: 13-02; Fin: 13-02; No se registró
(9)	Montar Panel Ext.	B1/37	-	-	-	Inicio: 13-02; Fin: 13-02; No se registró
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/37	8:30	17:40	-	Inicio: 13-02 (No se registró); Fin: 14-02; -1hr almuerzo
(11)	Enfierradura	B1/37	8:30	16:20	6:50	Inicio: 14-02; Fin: 14-02; -1hr almuerzo
(12)	Hormigón	B1/37	17:30	19:30	2:00	Inicio: 14-02; Fin: 14-02

Ficha: A06**Fecha Inicio:** 15-02-2017**Fecha Termina:** 16-02-2017

Actividad		Tipo/Casa	Inicio	Término	Duración	Observaciones
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(6)
(1)	Descimbrar Panel Int.	B1/37	8:30	10:10	1:40	Inicio: 15-02; Fin: 15-02
(2)	Descimbrar Panel Ext.	B1/37	9:00	14:30	4:30	Inicio: 15-02; Fin: 15-02; -1hr almuerzo
(3)	Descimbrar Panel Losa	B1/37	10:05	15:15	4:10	Inicio: 15-02; Fin: 15-02; -1hr almuerzo
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	B1/37	8:30	15:40	6:10	Inicio: 15-02; Fin: 15-02; -1hr almuerzo
(5)	Transporte	B1/37-38	9:10	17:45	15:05	Inicio: 15-02; -1hr almuerzo
(5)	Transporte	B1/37-38	8:30	17:00		Fin: 16-02; -1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/38	9:10	17:45	15:05	Inicio: 15-02; -1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/38	8:30	17:00		Fin: 16-02; -1hr almuerzo
(7)	Montar Panel Int.	B1/38	9:55	11:05	1:10	Inicio: 15-02; Fin: 15-02
(8)	Montar Panel Losa	B1/38	10:50	16:10	4:20	Inicio: 15-02; Fin: 15-02; -1hr almuerzo
(9)	Montar Panel Ext.	B1/38	10:45	16:35	4:50	Inicio: 15-02; Fin: 15-02; -1hr almuerzo
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/38	13:55	17:45	12:31	Inicio: 15-02
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/38	8:30	18:11		Fin: 16-02; -1hr almuerzo
(11)	Enfierradura	B1/38	9:00	16:50	6:50	Inicio: 16-02; Fin: 16-02; -1hr almuerzo
(12)	Hormigón	B1/38	17:35	18:50	1:15	Inicio: 16-02; Fin: 16-02

Ficha: A07**Fecha Inicio:** 17-02-2017**Fecha Termina:** 22-02-2017

Actividad		Tipo/Casa	Inicio	Término	Duración	Observaciones
(1)	Descimbrar Panel Int.	B1/38	8:30	9:50	1:20	Inicio: 17-02; Fin: 17-02
(2)	Descimbrar Panel Ext.	B1/38	8:55	11:20	2:25	Inicio: 17-02; Fin: 17-02
(3)	Descimbrar Panel Losa	B1/38	9:30	17:00	11:25	Inicio: 17-02; -1hr almuerzo
(3)	Descimbrar Panel Losa	B1/38	8:30	14:25		Fin: 20-02; -1hr almuerzo
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	B1/38	8:30	17:00	16:40	Inicio: 17-02; -1hr almuerzo
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	B1/38	8:30	17:40		-1hr almuerzo
(4)	Descimbrar Piezas Esp.	B1/38	8:30	9:30		Fin: 21-02
(5)	Transporte	B1/38-39	9:00	17:00	32:00	Inicio: 17-02; -1hr almuerzo
(5)	Transporte	B1/38-39	8:30	17:40		-1hr almuerzo
(5)	Transporte	B1/38-39	8:30	18:00		-1hr almuerzo
(5)	Transporte	B1/38-39	8:30	17:50		Fin: 22-02; -1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/39	9:00	17:00	31:30	Inicio: 17-02; -1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/39	8:30	17:40		-1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/39	8:30	18:00		-1hr almuerzo
(6)	Limpieza	B1/39	8:30	17:20		Fin: 22-02; -1hr almuerzo
(7)	Montar Panel Int.	B1/39	9:37	11:04	1:27	Inicio: 17-02; Fin: 17-02
(8)	Montar Panel Losa	B1/39	10:40	17:00	13:05	Inicio: 17-02; -1hr almuerzo
(8)	Montar Panel Losa	B1/39	8:30	17:15		Fin: 20-02; -1hr almuerzo
(9)	Montar Panel Ext.	B1/39	10:20	17:00	10:10	Inicio: 17-02; -1hr almuerzo
(9)	Montar Panel Ext.	B1/39	8:30	14:00		Fin: 20-02; -1hr almuerzo
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/39	11:10	17:40	22:20	Inicio: 20-02; -1hr almuerzo
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/39	8:30	18:00		-1hr almuerzo
(10)	Montar Piezas Esp.	B1/39	8:30	17:50		Fin: 22-02; -1hr almuerzo
(11)	Enfierradura	B1/39	11:00	17:30	5:30	Inicio: 22-02; Fin: 22-02; -1hr almuerzo
(12)	Hormigón	B1/39	17:40	20:00	2:20	Inicio: 22-02; Fin: 22-02

Ficha: B01

Fecha: 30-01-2017

Tipo Casa / Ciclo: B1 / M20

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR (No Registrado)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
8:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
8:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
8:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
10:00		3				1			3			2	
10:10		4							3		1	1	Apoyo1: Instalación de puntales
10:20		3							1	2	2	1	Apoyo1: Instalación de puntales; Apoyo2: Topes y Escuadras
10:30		2							3	1	1	2	Apoyo2: Topes y Escuadras
10:40		3	1						3	1		1	
10:50		3							1	2	2	1	Apoyo3: Orden; Apoyo4: Buscar Material o Herramientas
11:00		1	3								2	4	Apoyo2: Topes y Escuadras; Apoyo4: Buscar Material o Herramientas
11:10		2	3						3		1	1	Apoyo2: Topes y Escuadras
11:20			4						1	1	1	3	Apoyo2: Topes y Escuadras
11:30		2	2						1	1	1	3	Apoyo2: Topes y Escuadras
11:40		2	4								1	3	Apoyo3: Orden
11:50		2	3	1							1	3	Apoyo2: Topes y Escuadras
12:00			3	1						1	1	2	Apoyo2: Topes y Escuadras
12:10		2		2						1		2	
12:20		2	1	1							1	2	Apoyo4: Buscar Material o Herramientas; Trabajadores se van a almorzar a las 12:25
12:30													

Tiempo	Actividades													Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo		
13:30				2					1		1		Apoyo3: Orden; Vuelven a trabajar a 13:35 (Observaciones hechas a esa hora)	
13:40				1					1	1		1		
13:50				2						1	1		Apoyo2: Topes y Escuadras	
14:00				3							1		Apoyo2: Topes y Escuadras	
14:10		2		2							2	1	Apoyo2: Topes y Escuadras; Apoyo4: Buscar Material o Herramientas; Llegaron 3 trabajadores a las 14:05 (2 Losas y 1 Apoyo)	
14:20		2		2				1		1	1		Apoyo2: Topes y Escuadras	
14:30		1		2						2		1		
14:40		2						1		1	2		Apoyo2: Topes y Escuadras; Apoyo5: Andamios	
14:50		2		1							2		Apoyo2: Topes y Escuadras; Apoyo5: Andamios	
15:00		1		1					1		1	1	Apoyo5: Andamios	
15:10		2									1		Apoyo2: Topes y Escuadras	
15:20		2		1							1		Apoyo2: Topes y Escuadras	
15:30				1					1		1	1	Apoyo6: Calafateo	
15:40			1	1					1			1		
15:50				1						2	1		Apoyo6: Calafateo	
16:00				3							1		Apoyo6: Calafateo	
16:10			1	1						1	1		Apoyo2: Topes y Escuadras	
16:20				2							1	1	Apoyo6: Calafateo	
16:30				3										
16:40		1								2				
16:50		1		2						1				
17:00		2								1		1		
17:10		2		1						1				
17:20		2							1					
17:30				1									Trabajadores se van a las 17:30	
17:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)	
17:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR (No Registrado)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
8:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
8:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
8:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
10:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
10:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
10:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
10:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
10:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
10:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
11:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
11:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
11:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
11:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
11:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
11:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
12:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
12:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
12:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
13:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR (No Registrado)
13:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
13:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
14:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
14:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
14:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
14:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
14:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
14:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
15:10				2						1		1	Observaciones corresponden a las 15:15; Piezas Especiales: Rebalses; Limpieza: Desmoldante por cara exterior, encargado especial.
15:20				2						1		1	
15:30				2								2	
15:40				1					1		1		Apoyo: Traer Materiales para Limpieza Especial
15:50				2						1			Limpieza: Desmoldante por cara exterior, encargado especial.
16:00				2					2			1	
16:10				2					2			1	
16:20				2							1		Apoyo2: Regar zona para evitar levantamiento de polvo, encargado especial.
16:30				1						1		1	
16:40				2									
16:50				1					1				
17:00				1								1	
17:10				2									
17:20				2									
17:30				2							1	1	Apoyo3: Calafateo
17:40				2					1				
17:50				3								1	
18:00				1									Últimos trabajadores se van a las 17:55
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR (No Registrado)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
8:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
8:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
8:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NR
9:00							2	2				1	
9:10					1		1			1			Apoyo1: Remover Escuadras y Topes
9:20					1		1			1			Apoyo1: Remover Escuadras y Topes
9:30					1		1					1	
9:40					1	1	3			1			Apoyo1: Remover Escuadras y Topes
9:50					1	1	4						
10:00					1	2	3						
10:10					2	2	1			1			Apoyo2: Remover Barandas
10:20					2	1	1					2	
10:30								4				2	
10:40								3		3			Apoyo1: Remover Escuadras y Topes; Apoyo3: Traer Materiales y/o Herramientas (2)
10:50								3	1	1	1		Apoyo1: Remover Escuadras y Topes
11:00	1							1	2	1	1		Apoyo1: Remover Escuadras y Topes
11:10	2							1	1			2	
11:20	2								1			2	
11:30	4									1			Apoyo4: Instalar Topes y Escuadras
11:40	1								1	1	2		Apoyo4: Instalar Topes y Escuadras
11:50	1									3	1		Apoyo3: Traer Materiales y/o Herramientas (2); Apoyo4: Instalar Topes y Escuadras
12:00	1					2				2			Apoyo3: Traer Materiales y/o Herramientas; Apoyo4: Instalar Topes y Escuadras
12:10						2						3	
12:20						4						1	Trabajadores se van a almorzar a las 12:25
12:30													

Tiempo	Actividades													Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo		
13:30		1				1					1	2	Apoyo4: Instalar Topes y Escuadras	
13:40		1						1	1		1	1	Apoyo4: Instalar Topes y Escuadras	
13:50						1					1	2	Apoyo3: Traer Materiales y/o Herramientas	
14:00						1			1			3		
14:10						2			1		1		Apoyo4: Instalar Topes y Escuadras	
14:20						2			1		1		Apoyo4: Instalar Topes y Escuadras	
14:30						2			1			1		
14:40		1				1			1		1		Apoyo4: Instalar Topes y Escuadras	
14:50						1			1		1	1	Apoyo4: Instalar Topes y Escuadras	
15:00						1			1		1		Apoyo4: Instalar Topes y Escuadras	
15:10		1							1			2		
15:20						1			1	1		1		
15:30								1		1	1	1	Apoyo4: Instalar Topes y Escuadras	
15:40		1							2			1		
15:50		1					1		1			1		
16:00							1		1	1		1		
16:10							1		2					
16:20		1					1		1					
16:30		1							2	1				
16:40		1							3	1		1		
16:50		3							2			1		
17:00		2												
17:10		3							2					
17:20		3								1				
17:30		2							4					
17:40		3							1	1				
17:50		2							1	1				
18:00		3										1	Trabajadores se van a las 18:00	
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)	
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30		3							2			2	
8:40		2							2	1		2	
8:50		4							2		1		Apoyo1: Orden
9:00		3	1						2	1			
9:10		4	1						1	1			
9:20		4	1						1	1	1		Apoyo2: Instalación de Escuadras y Topes
9:30		3	2						2		1		Apoyo2: Instalación de Escuadras y Topes
9:40		3	2						2			1	
9:50		3	2						2		1		Apoyo2: Instalación de Escuadras y Topes
10:00		2	2						2		1	1	Apoyo2: Instalación de Escuadras y Topes
10:10		2	2						1	1	1	1	Apoyo2: Instalación de Escuadras y Topes
10:20		1	3						1			3	
10:30			1	1				1	1	1	1	2	Apoyo2: Instalación de Escuadras y Topes
10:40		2		2					1	1		2	
10:50			1	2					3		1	1	Apoyo2: Instalación de Escuadras y Topes
11:00		1		2						2	1	2	Apoyo2: Instalación de Escuadras y Topes
11:10		1		3					1	2	1	1	Apoyo3: Montar Baranda
11:20			1	2				1	2		1	2	Apoyo3: Montar Baranda
11:30			2	2					2		1	1	Apoyo3: Montar Baranda
11:40				2					1			5	
11:50				5						1	1	1	Apoyo3: Montar Baranda
12:00				3						1		4	
12:10				1					1		3	4	Apoyo4: Limpiar Escombros; Apoyo5: Medir (2)
12:20				1					1	1		2	Trabajadores se van a almorzar a las 12:25
12:30													

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
13:30				1						2		1	
13:40				1					2		1		Apoyo4: Limpiar Escombros
13:50				4							2		Apoyo4: Limpiar Escombros; Apoyo2: Topes y Escuadras
14:00				2							1		Apoyo4: Limpiar Escombros
14:10				1							2		Apoyo4: Limpiar Escombros; Apoyo2: Topes y Escuadras
14:20				1							2		Apoyo4: Limpiar Escombros; Apoyo2: Topes y Escuadras
14:30				1							2		Apoyo4: Limpiar Escombros; Apoyo2: Topes y Escuadras
14:40				1							1		Apoyo2: Topes y Escuadras
14:50				1							1		Apoyo2: Topes y Escuadras
15:00				1							1		Apoyo2: Topes y Escuadras
15:10				1							1		Apoyo6: Calafateo
15:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
15:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
13:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
13:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
13:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	HASTA ESTA HORA NO SE HABÍA TRABAJADO EN 1° PISO
15:00									2				
15:10				2					1				
15:20									2		1		
15:30				2					1				
15:40				2					1				
15:50				2							1		
16:00				2					1				
16:10				2					1				
16:20				1					1		1		
16:30				3					1				
16:40				1					3		1		
16:50				3							2		
17:00				5									
17:10				3							2		Trabajadores se van a las 17:10
17:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Ficha: B06

Fecha: 06-02-2017

Tipo Casa / Ciclo: B1 / D19-M31

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:40								1					HASTA LAS 9:45 NO SE HABIA TRABAJADO EN 1° PISO
9:50								1					
10:00								1					
10:10					2								
10:20					1						1		Apoyo1: Remover Barandas
10:30					1								
10:40					1		1	1					
10:50					1		1						
11:00					1		1						
11:10								2					
11:20												2	
11:30									2				
11:40													4
11:50													5
12:00					1			2	2				
12:10					1			2	3				
12:20					2		1			2		1	Trabajadores se van a almorzar a las 12:25
12:30												6	

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
13:30					1		1		4		2		Apoyo2: Traer Herramientas (2)
13:40					2	1			2	1		2	
13:50	1				1	1			3	1	1		Apoyo2: Traer Herramientas
14:00	2					1			4	1			
14:10	2					2			2	1			
14:20	2					2				1		2	
14:30	1					2			2	1		1	
14:40	2					2			2	1			
14:50	2		1						1		2	2	Apoyo2: Traer Herramientas; Apoyo3: Topes y Escuadras
15:00	2	1				1			1	1	1		Apoyo3: Topes y Escuadras
15:10	1					1			1	2	1	1	Apoyo3: Topes y Escuadras
15:20	2	1				1			2	1			
15:30	2					1			2			3	
15:40						1			2			5	
15:50									3			5	
16:00	1					1			1		2	2	Apoyo2: Traer Herramientas; Apoyo3: Topes y Escuadras
16:10		1							1		1	2	Apoyo3: Topes y Escuadras
16:20						1			1	2			
16:30						2			1	1			
16:40		1				1			1	1			
16:50		1				2			1				
17:00							1		4	1	1	3	Apoyo4: Orden
17:10		2					1		4			3	
17:20		3							2			5	
17:30		3							1	1		3	
17:40		3							1		1	3	Apoyo4: Orden
17:50		3							1	1		2	Trabajadores se van a las 17:45
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30		3					1		5			1	
8:40		3							5			2	
8:50		4						1	4		1		Apoyo1: Topes y Escuadras
9:00		3							5	1	1	1	Apoyo1: Topes y Escuadras
9:10		2					1	1	4	1	1	1	Apoyo1: Topes y Escuadras
9:20		3					1		4		1	1	Apoyo1: Topes y Escuadras
9:30		4						1	4		1		Apoyo1: Topes y Escuadras
9:40		3	1						1	1	1	2	Apoyo1: Topes y Escuadras
9:50		1							1		1	6	Apoyo1: Topes y Escuadras
10:00		1	2						2	1	1	3	Apoyo1: Topes y Escuadras
10:10		1						1	1		1	6	Apoyo2: Corregir Armadura
10:20		4	1						1	1	1	2	Apoyo2: Corregir Armadura
10:30		3	1						1	2	1	2	Apoyo2: Corregir Armadura
10:40		3	2						2	1	1	1	Apoyo2: Corregir Armadura
10:50		3		1					2	2	1	2	Apoyo2: Corregir Armadura
11:00		3	3								1	3	Apoyo2: Corregir Armadura
11:10		3								2	4	1	Apoyo2: Corregir Armadura (2); Apoyo3: Montar Baranda; Apoyo4: Traer Herramienta
11:20		3	1	1						1	4		Apoyo2: Corregir Armadura (2); Apoyo3: Montar Baranda (2)
11:30		1	2	1					2		3	1	Apoyo2: Corregir Armadura (2); Apoyo3: Montar Baranda; Apoyo5: Topes y Escuadras
11:40		2	1	2						1	3	1	Apoyo2: Corregir Armadura (2); Apoyo3: Montar Baranda
11:50		2		4							3	1	Apoyo2: Corregir Armadura (2); Apoyo3: Montar Baranda
12:00		2		5						1	1	1	Apoyo2: Corregir Armadura
12:10			2	4						3	1		Apoyo5: Topes y Escuadras
12:20													Trabajadores se van a almorzar a las 12:20. Sin Observaciones
12:30													

Tiempo	Actividades													Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo		
13:30			2	2						1	2	1	Apoyo4: Traer Herramienta; Apoyo5: Topes y Escuadras	
13:40				4					1	1	2		Apoyo4: Traer Herramienta; Apoyo5: Topes y Escuadras	
13:50				5				1			2		Apoyo6: Apuntalamiento casa anterior	
14:00				3					1	1	2		Apoyo5: Topes y Escuadras; Apoyo6: Apuntalamiento casa anterior	
14:10				3					3		2		Apoyo5: Topes y Escuadras; Apoyo6: Apuntalamiento casa anterior	
14:20				3				1				2		
14:30			1	1					1	1		2		
14:40				2				1	1		2		Apoyo5: Topes y Escuadras; Apoyo6: Apuntalamiento casa anterior	
14:50				1							2		Apoyo5: Topes y Escuadras; Apoyo6: Apuntalamiento casa anterior	
15:00				1							2		Apoyo5: Topes y Escuadras (2)	
15:10				1							2		Apoyo5: Topes y Escuadras (2)	
15:20				1							1	1	Apoyo5: Topes y Escuadras	
15:30				1							1	1	Apoyo5: Topes y Escuadras	
15:40				1							1		Apoyo5: Topes y Escuadras	
15:50											1		Apoyo5: Topes y Escuadras	
16:00									1	1	2		Apoyo5: Topes y Escuadras; Apoyo7: Calafateo	
16:10									1	1	2		Apoyo5: Topes y Escuadras; Apoyo7: Calafateo	
16:20									1		2	1	Apoyo5: Topes y Escuadras; Apoyo7: Calafateo	
16:30										2	1	1	Limpieza especial cara exterior para facilitar el montaje (1); Apoyo7: Calafateo	
16:40										1	1	2	Limpieza especial cara exterior para facilitar el montaje (1); Apoyo5: Topes y Escuadras	
16:50										3		1	Limpieza especial de cara exterior para facilitar trabajo de moldajeros (1)	
17:00										3		2	Limpieza especial de cara exterior para facilitar trabajo de moldajeros (1)	
17:10				2						1		2	Limpieza especial de cara exterior para facilitar trabajo de moldajeros (1)	
17:20				2						1			Limpieza especial de cara exterior para facilitar trabajo de moldajeros (1)	
17:30				3						1			Limpieza especial de cara exterior para facilitar trabajo de moldajeros (1)	
17:40				2								2		
17:50				1						1	2		Apoyo8: Tapar caja escalera	
18:00				4						1		2		
18:10				5										
18:20				2										
18:30				2									Trabajadores se van a las 18:25	

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:00								2					
10:10								1				1	
10:20								2					
10:30								1					
10:40								1					
10:50								1					
11:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:00								1					
12:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
13:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
13:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
13:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:10												1	
14:20							1						
14:30												1	
14:40										1			Apoyo1: Remover Barandas
14:50							1						
15:00						1							
15:10					1								
15:20					1					2			Apoyo2: Traer Herramientas (2)
15:30						1	1					1	
15:40					1		1					1	
15:50					1	1	1					1	
16:00					3	1							
16:10					4	1	1					1	
16:20					4	1						2	
16:30					1							6	
16:40								2				6	Tranporte1: Cargar Coloso
16:50								6				2	Tranporte1: Cargar Coloso
17:00						1		6				1	Tranporte1: Cargar Coloso
17:10						1		2	1			4	Tranporte2: Descargar Coloso
17:20						1		5	2				Tranporte2: Descargar Coloso
17:30						1		5	2				Tranporte2: Descargar Coloso
17:40	1					1		4	2				Tranporte2: Descargar Coloso
17:50	6					1						1	
18:00	6					1							
18:10	3		2			1						1	
18:20	5					1			1				
18:30	4		1			1			1				3 trabajadores se van a las 18:25 (1 Limp, 1 Montar Pan. Ext., 1 Montar Pan. Int.)

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00						6							Descimbre Losa antes de las 8* (1 trabajador, 1 hora)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30						1	1	7		1			Apoyo1: Topes y Escuadras
8:40						1	1	7		1			Apoyo1: Topes y Escuadras
8:50							1	4		2	3		Apoyo1: Topes y Escuadras; Apoyo2: Transportar Herramientas
9:00										2	7		Apoyo1: Topes y Escuadras; Apoyo2: Transportar Herramientas
9:10								2		3	4		Apoyo1: Topes y Escuadras; Apoyo2: Transportar Herramientas (2)
9:20		1						5	1	2	1		Apoyo1: Topes y Escuadras; Apoyo2: Transportar Herramientas
9:30		4						4		2	1		Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
9:40		3	1					1	1		4		
9:50		2						4	1	2	2		Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
10:00		3						6		1	1		Apoyo1: Topes y Escuadras
10:10		2						1	1	2	5		Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
10:20		3						5	1	2			Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
10:30		4						3		2	2		Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
10:40		3						3	2	3			Apoyo1: Topes y Escuadras (2); Apoyo2: Transportar Herramientas
10:50		3						4	1	1	2		Apoyo1: Topes y Escuadras
11:00		1	3					1	3	1	1		Apoyo1: Topes y Escuadras
11:10		4	3							2			Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
11:20		4	3							2			Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
11:30		4	1							2	2		Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
11:40		4	3							2			Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
11:50		4	2	1						2			Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
12:00		4		3						1	1		Apoyo1: Topes y Escuadras
12:10		3	1	1					1	1	2		Apoyo1: Topes y Escuadras
12:20		3		1							6		
12:30		3		1									Trabajadores se van a almorzar a las 12:30

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
13:30		3		2						1	1	1	Apoyo3: Corregir Armadura
13:40		4		2							2		Apoyo1: Topes y Escuadras
13:50		3	1	1						1	2		Apoyo1: Topes y Escuadras; Apoyo3: Corregir Armadura
14:00		3	1	1						1	1	1	Apoyo3: Corregir Armadura
14:10										2		6	
14:20				5							3		Apoyo4: Montar Baranda; Apoyo3: Corregir Armadura; Apoyo1: Topes y Escuadras
14:30				4					1		2	1	Apoyo4: Montar Baranda; Apoyo5: Remover Topes
14:40			1	5							2		Apoyo 1: Topes y Escuadras; Apoyo5: Remover Topes
14:50			2	4								2	
15:00			1	3							1	3	Apoyo1: Topes y Escuadras
15:10			1	1						2	2	2	Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
15:20				2						1	2	1	Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
15:30										1	2		Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
15:40											1	1	Apoyo1: Topes y Escuadras (2)
15:50											1	1	Apoyo1: Topes y Escuadras
16:00											2		Apoyo1: Topes y Escuadras; Apoyo5: Remover Topes
16:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
16:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Ficha: B10

Fecha: 10-02-2017

Tipo Casa / Ciclo: B1 / D31-M36

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:00				1								1	
11:10				1						1			
11:20				2									
11:30				2									
11:40				2									
11:50				2									
12:00				1					1				
12:10				2									
12:20				2									Trabajadores se van a las 12:25
12:30													

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
13:30										1	1	1	
13:40										1		2	
13:50				2					1				
14:00				1						1		1	
14:10				3									
14:20												2	
14:30										1			
14:40				1									
14:50				2									
15:00				2									
15:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
15:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
17:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Ficha: B11

Fecha: 14-02-2017

Tipo Casa / Ciclo: B1 / D36-M37

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30				2							1		Apoyo1: Topes y Escuadras
8:40				1						1		1	
8:50				2							1		Apoyo1: Topes y Escuadras
9:00				1						1	1		Apoyo1: Topes y Escuadras
9:10				2							1		Apoyo1: Topes y Escuadras
9:20				2							1		Apoyo1: Topes y Escuadras
9:30				2						1	1		Apoyo2: Remover Topes y Escuadras
9:40				1						2		1	
9:50				1						2	1		Apoyo1: Topes y Escuadras
10:00				1								2	
10:10				2							1		Apoyo1: Topes y Escuadras
10:20											1		Apoyo1: Topes y Escuadras
10:30											1		Apoyo1: Topes y Escuadras
10:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
13:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
13:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
13:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:30				1						1		1	
15:40				1					1	1			
15:50				3									
16:00				2								1	
16:10				3									
16:20									1	1		1	
16:30				2									
16:40				1						1			
16:50				3						1			
17:00				2									
17:10				2									
17:20				1								1	
17:30				2									
17:40				1						1			Trabajadores se van a las 17:40
17:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30					4		2		1			3	
8:40					4		2		1		2	1	Apoyo1: Remover Baranda; Apoyo2: Puntales casa anterior
8:50					4		2		2		2	1	Apoyo1: Remover Baranda; Apoyo2: Puntales casa anterior
9:00					1		2	4			2	1	Apoyo1: Remover Baranda; Apoyo2: Puntales casa anterior
9:10					4		1	2	1		2		Apoyo2: Puntales casa anterior (2)
9:20					3		3		2		1	1	Apoyo2: Puntales casa anterior
9:30					3		3		1	1		2	
9:40					1		1	1	3	1		3	
9:50							1	1	4	1	3		Apoyo2: Puntales casa anterior (2); Apoyo3: Calugas
10:00	1					1			1	1	2	4	Apoyo2: Puntales casa anterior; Apoyo3: Calugas
10:10	2				1	2			2	2	1	1	Apoyo4: Topes y Escuadras
10:20	2					2			3		1	3	Apoyo4: Topes y Escuadras
10:30	2					2			1	2	2	2	Apoyo4: Topes y Escuadras; Apoyo5: Buscar Herr/Mat
10:40	1		1			2			2			5	
10:50	1	1	1			2			3		2	1	Apoyo4: Topes y Escuadras (2)
11:00	1	1				2			3	1	2	1	Apoyo4: Topes y Escuadras; Apoyo5: Buscar Herr/Mat
11:10		1	1			2			2	1	2	2	Apoyo4: Topes y Escuadras (2)
11:20		1	2			2	1		1	1	2	1	Apoyo4: Topes y Escuadras (2)
11:30		1	1			1		1	1	3	3		Apoyo4: Topes y Escuadras (2); Apoyo5: Buscar Herr/Mat
11:40		1	3			1			3	1	2		Apoyo4: Topes y Escuadras (2)
11:50		2	2			1			2		2	2	Apoyo4: Topes y Escuadras (2)
12:00		2	2						5		1	1	Apoyo4: Topes y Escuadras
12:10		1	2						1	1		6	Trabajadores se van a las 12:15
12:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
13:30		3	2						2		2	2	Apoyo6: Corregir Armadura; Apoyo4: Topes y Escuadras
13:40		4	1						3		2	1	Apoyo4: Topes y Escuadras (2)
13:50		2	2						3	2	2		Apoyo5: Buscar Herr/Mat; Apoyo4: Topes y Escuadras
14:00		3	1	1					4		2		Apoyo4: Topes y Escuadras (2)
14:10		3	1	1					3		3		Apoyo4: Topes y Escuadras (2); Apoyo7: Apuntalamiento
14:20		4	1	1					3		1	1	Apoyo4: Topes y Escuadras
14:30		4	1	1					3		2		Apoyo4: Topes y Escuadras (2)
14:40		3							1	1	2	2	Apoyo6: Corregir Armadura (2)
14:50		4		1						2		2	
15:00		4		3							2		Apoyo5: Corregir Armadura; Apoyo5: Buscar Herr/Mat
15:10		3	1			1				1		2	
15:20		2	2	1					1	1		1	
15:30		3	2							1	1		Apoyo8: Remover Topes
15:40		2		1						1	2	1	Apoyo8: Remover Topes; Apoyo9: Instalar Baranda
15:50				2						2	2	1	Apoyo8: Remover Topes; Apoyo9: Instalar Baranda
16:00		2		3							1	2	Apoyo4: Topes y Escuadras
16:10		2							1	1	1	2	Apoyo4: Topes y Escuadras
16:20				3						2	1	1	Apoyo9: Instalar Baranda
16:30			1	2					1		1	1	Apoyo4: Topes y Escuadras
16:40				2							1		Apoyo4: Topes y Escuadras
16:50				2							1		Apoyo4: Topes y Escuadras
17:00				1						1	1		Apoyo4: Topes y Escuadras
17:10				1								2	
17:20				2							1		Apoyo10: Calafateo
17:30				2							1		Apoyo10: Calafateo
17:40				1					1		1		Apoyo4: Topes y Escuadras
17:50				2								1	Trabajadores se van a las 17:45
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
13:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
13:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
13:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
16:00				2									
16:10				2									
16:20								1				1	
16:30				2				1					
16:40				2				1					
16:50				1				1	1				
17:00				1				1	1				
17:10				3									
17:20				2									
17:30				1								1	
17:40				2									
17:50				2									
18:00				2									
18:10				2									Trabajadores se van a las 18:10
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30					1		5			3			Apoyo1: Remover Baranda; Apoyo2: Apuntalamiento casa anterior (2)
8:40					1		5			3			Apoyo1: Remover Baranda; Apoyo2: Apuntalamiento casa anterior (2)
8:50					1		6			1	2		Apoyo2: Apuntalamiento casa anterior
9:00					2	1	4	1		1	1		Apoyo2: Apuntalamiento casa anterior
9:10					2		1	3	1	2	1		Apoyo2: Apuntalamiento casa anterior (2)
9:20					2	1		2	2	2	2		Apoyo2: Apuntalamiento casa anterior (2)
9:30					1	1	1	4	2	2			Apoyo3: Orden (2)
9:40	2				1	1	1	3	1	2			Apoyo2: Apuntalamiento casa anterior (2)
9:50	3					1	1	4			2		
10:00	3					1	1	2		1	3		Apoyo2: Apuntalamiento casa anterior
10:10	2					2	1	3	1	2			Apoyo2: Apuntalamiento casa anterior; Apoyo4: Buscar Herramienta
10:20	1		1			2	1		1		4		
10:30						2				1	6		Apoyo5: Topes y Escuadras
10:40	2	1				1					6		
10:50	1	1				2	1	1	1	1	1		Apoyo5: Topes y Escuadras
11:00						1		2	1	1	4		Apoyo5: Topes y Escuadras
11:10		1				2		2	2		1		
11:20		1				1		1	4	1			Apoyo5: Topes y Escuadras
11:30		2	2			1		1		1	1		Apoyo5: Topes y Escuadras
11:40		1	2					1	1	1	2		Apoyo5: Topes y Escuadras
11:50		2	2					1		1	2		Apoyo5: Topes y Escuadras
12:00		2	2					1		1	2		Apoyo5: Topes y Escuadras
12:10		1									7		
12:20		2									1		Trabajadores se van a almorzar a las 12:20
12:30													

Tiempo	Actividades													Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo		
13:30												3		
13:40			1								1	1	Apoyo5: Topes y Escuadras	
13:50			1								1	1	Apoyo5: Topes y Escuadras	
14:00			2									1		
14:10			1									2		
14:20			1									2		
14:30			2									1		
14:40			2								1		Apoyo5: Topes y Escuadras	
14:50			2								1		Apoyo5: Topes y Escuadras	
15:00			2									1		
15:10			1								1	1	Apoyo5: Topes y Escuadras	
15:20			2								1	1	Apoyo5: Topes y Escuadras	
15:30			1								1		Apoyo5: Topes y Escuadras	
15:40			2								1		Apoyo5: Topes y Escuadras	
15:50			2								1		Apoyo5: Topes y Escuadras	
16:00			1								1	1	Apoyo5: Topes y Escuadras	
16:10											1	2	Apoyo5: Topes y Escuadras	
16:20												3		
16:30											2	1	Apoyo5: Topes y Escuadras (2)	
16:40											3		Apoyo5: Topes y Escuadras (3)	
16:50											1	3	Apoyo5: Topes y Escuadras	
17:00												5	Trabajadores se van a las 16:55	
17:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)	
17:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
17:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
17:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
17:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30									4		3		Apoyo1: Apuntalamiento casa anterior (2); Apoyo2: Topes y Escuadras
8:40									6		2	1	Apoyo3: Corregir Armadura
8:50									4		2	3	Apoyo2: Topes y Escuadras; Apoyo3: Corregir Armadura
9:00		3							1	1	4		Apoyo1: Apuntalamiento casa anterior (2); Apoyo2: Topes y Escuadras; Apoyo4: Traer Herr/Mat
9:10		4							2		3		Apoyo1: Apuntalamiento casa anterior; Apoyo2: Topes y Escuadras; Apoyo4: Traer Herr/Mat
9:20		3								1	2	3	Apoyo1: Apuntalamiento casa anterior; Apoyo2: Topes y Escuadras
9:30		1							1	3	1	3	Apoyo2: Topes y Escuadras
9:40		4							2			3	
9:50		4							2		1	2	Apoyo3: Corregir Armadura
10:00		1							3	1	1	3	Apoyo5: Remover Topes
10:10		4						1	3		1		Apoyo2: Topes y Escuadras
10:20		3				1			1			4	
10:30		3								2		1	
10:40		2							1	2			
10:50		3										1	
11:00		3								1			
11:10		2		1						1			
11:20				1				1	1	1			
11:30		3								1			
11:40		1		2								1	
11:50		2		2									
12:00		2		1					1				
12:10		2		1						1			
12:20		2		2									Trabajadores se van a almorzar a las 12:25
12:30													

Tiempo	Actividades													Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo		
13:30		2	1	1										
13:40		2	1	1										
13:50		1	1	1								1		
14:00		1		1					1	1				
14:10		1		2							1		Apoyo6: Instalar Baranda	
14:20				2		1					2		Apoyo6: Instalar Baranda; Apoyo2: Topes y Escuadras	
14:30				1					1		3		Apoyo6: Instalar Baranda (2); Apoyo2: Topes y Escuadras	
14:40											2	3	Apoyo2: Topes y Escuadras; Apoyo4: Traer Herr/Mat	
14:50		1		1							3		Apoyo6: Instalar Baranda (2); Apoyo2: Topes y Escuadras	
15:00		1							1			3		
15:10		2										1		
15:20		2										1		
15:30				1						1	1		Apoyo2: Topes y Escuadras	
15:40		1								1				
15:50				1								1	Trabajador se va a almorzar (1 NP)	
16:00				1								1	Trabajador se va a almorzar (1 NP)	
16:10				1							1	1	Trabajador se va a almorzar (1 NP); Apoyo2: Topes y Escuadras	
16:20				1							1	1	Trabajador se va a almorzar (1 NP); Apoyo7: Calafateo	
16:30				1							2	1	Trabajador se va a almorzar (1 NP); Apoyo5: Instalar Negativos de Polietileno (2)	
16:40				1							2	1	Trabajador se va a almorzar (1 NP); Apoyo5: Instalar Negativos de Polietileno (2)	
16:50				1								1	Trabajador se va a almorzar (1 NP)	
17:00		1		1							1		Apoyo2: Topes y Escuadras	
17:10		1		1						1				
17:20		1		1										
17:30				1								1		
17:40				1									Trabajadores se van a las 17:40	
17:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)	
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30				1									
8:40									1				
8:50				1									
9:00				1									
9:10				1									
9:20									1				
9:30				1									
9:40				1									
9:50				1									
10:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades													Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo		
13:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)	
13:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
13:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
14:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
14:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
14:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
14:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
14:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
14:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
15:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
15:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
15:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
15:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
15:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
16:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
16:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
16:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
16:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
16:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
16:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
17:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
17:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
17:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
17:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
17:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
17:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST	

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
8:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
8:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
9:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
10:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
11:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
12:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

Tiempo	Actividades												Observaciones
	Montar Panel Int.	Montar Panel Losa	Montar Panel Ext.	Montar Piezas Esp.	Descimbrar Panel Int.	Descimbrar Panel Losa	Descimbrar Panel Ext.	Descimbrar Piezas Esp.	Transporte	Limpieza	Apoyo	No-Productivo	
13:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST (No Se Trabajo en operación estudiada)
13:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
13:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
14:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
15:50										1			
16:00										1			
16:10										1			
16:20												1	
16:30				1									
16:40				2						1			
16:50				2					1				
17:00				5					1				
17:10				3						2		1	
17:20				3						1		1	
17:30				4									
17:40				4								1	
17:50				2					1				Trabajadores se van a las 17:50
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NST

ANEXO C: Detalle Duraciones Cronológicas.

A continuación, en las tablas 44 a 48, se muestran los datos registrados en terreno de las *duraciones cronológicas* de cada tarea para los cinco ciclos correctamente medidos de la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”. Además, los gráficos de las figuras 37 a 41 muestran las relaciones de dependencia entre las tareas involucradas en los ciclos de la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”.

Tabla 44: Duraciones Cronológicas Ciclo 1 (D20-M19).

Tareas	FECHA INICIO	HORA INICIO	FECHA TERMINO	HORA TERMINO	DURACION [HORAS]
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	01-feb	9:07	01-feb	10:30	1:23
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	01-feb	9:45	01-feb	16:21	5:36
Descimbrar Paneles de Losa	01-feb	11:55	01-feb	16:21	3:26
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	01-feb	8:45	03-feb	9:30	16:45
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	01-feb	10:24	03-feb	9:30	15:06
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	01-feb	10:50	03-feb	17:00	21:10
Montar Paneles de Muro Interiores	01-feb	10:53	01-feb	12:08	1:15
Montar Paneles de Losa	01-feb	13:30	02-feb	11:15	7:15
Montar Paneles de Muro Exteriores	01-feb	11:55	02-feb	11:35	8:10
Montar Paneles de Piezas Especiales	02-feb	10:30	03-feb	17:10	13:10
Montar Enfierradura de Losa	03-feb	9:30	03-feb	17:00	6:30
Hormigonar	03-feb	16:35	03-feb	19:15	2:15

Tabla 45: Duraciones Cronológicas Ciclo 2 (D19-M31).

Tareas	FECHA INICIO	HORA INICIO	FECHA TERMINO	HORA TERMINO	DURACION [HORAS]
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	06-feb	10:10	06-feb	14:00	2:50
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	06-feb	10:40	07-feb	9:40	7:15
Descimbrar Paneles de Losa	06-feb	13:40	07-feb	9:30	5:05
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	06-feb	9:45	07-feb	14:40	12:10
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	06-feb	11:30	07-feb	16:25	12:10
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	06-feb	11:30	07-feb	18:05	13:50
Montar Paneles de Muro Interiores	06-feb	13:50	06-feb	15:35	1:45
Montar Paneles de Losa	06-feb	14:55	07-feb	12:10	6:30
Montar Paneles de Muro Exteriores	06-feb	14:25	07-feb	14:35	8:25
Montar Paneles de Piezas Especiales	07-feb	10:50	07-feb	18:25	6:35
Montar Enfierradura de Losa	07-feb	12:10	07-feb	18:37	5:27
Hormigonar	07-feb	18:38	07-feb	20:30	1:52

Tabla 46: Duraciones Cronológicas Ciclo 3 (D31-M36).

Tareas	FECHA INICIO	HORA INICIO	FECHA TERMINO	HORA TERMINO	DURACION [HORAS]
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	08-feb	15:10	08-feb	16:30	1:20
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	08-feb	14:50	08-feb	17:03	2:13
Descimbrar Paneles de Losa	08-feb	17:05	09-feb	8:15	2:40
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	08-feb	10:00	09-feb	8:50	7:50
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	08-feb	16:35	10-feb	13:50	14:35
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	08-feb	17:07	10-feb	14:30	14:43
Montar Paneles de Muro Interiores	08-feb	17:35	08-feb	18:30	0:55
Montar Paneles de Losa	09-feb	9:20	09-feb	14:05	3:45
Montar Paneles de Muro Exteriores	08-feb	18:05	09-feb	15:10	6:05
Montar Paneles de Piezas Especiales	09-feb	11:55	10-feb	15:00	10:25
Montar Enfierradura de Losa	09-feb	14:40	10-feb	12:30	7:10
Hormigonar	10-feb	18:00	10-feb	20:30	2:30

Tabla 47: Duraciones Cronológicas Ciclo 4 (D37-M38).

Tareas	FECHA INICIO	HORA INICIO	FECHA TERMINO	HORA TERMINO	DURACION [HORAS]
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	15-feb	8:30	15-feb	10:10	1:40
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	15-feb	9:00	15-feb	14:30	4:30
Descimbrar Paneles de Losa	15-feb	10:05	15-feb	15:15	4:10
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	15-feb	8:30	15-feb	15:40	6:10
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	15-feb	9:10	16-feb	17:00	15:05
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	15-feb	9:10	16-feb	17:00	15:05
Montar Paneles de Muro Interiores	15-feb	9:55	15-feb	11:05	1:10
Montar Paneles de Losa	15-feb	10:50	15-feb	16:10	4:20
Montar Paneles de Muro Exteriores	15-feb	10:45	15-feb	16:35	4:50
Montar Paneles de Piezas Especiales	15-feb	13:55	16-feb	18:11	12:31
Montar Enfierradura de Losa	16-feb	9:00	16-feb	16:50	6:50
Hormigonar	16-feb	17:35	16-feb	18:50	1:15

Tabla 48: Duraciones Cronológicas Ciclo 5 (D38-M39).

Tareas	FECHA INICIO	HORA INICIO	FECHA TERMINO	HORA TERMINO	DURACION [HORAS]
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	17-feb	8:30	17-feb	9:50	1:20
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	17-feb	8:55	17-feb	11:20	2:25
Descimbrar Paneles de Losa	17-feb	9:30	20-feb	14:25	11:25
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	17-feb	8:30	21-feb	9:30	16:40
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	17-feb	9:00	22-feb	17:50	32:00
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	17-feb	9:00	22-feb	17:20	31:30
Montar Paneles de Muro Interiores	17-feb	9:37	17-feb	11:04	1:27
Montar Paneles de Losa	17-feb	10:40	20-feb	17:15	13:05
Montar Paneles de Muro Exteriores	17-feb	10:20	20-feb	14:00	10:10
Montar Paneles de Piezas Especiales	20-feb	11:10	22-feb	17:50	22:20
Montar Enfierradura de Losa	22-feb	11:00	22-feb	17:30	5:30
Hormigonar	22-feb	17:40	22-feb	20:00	2:20

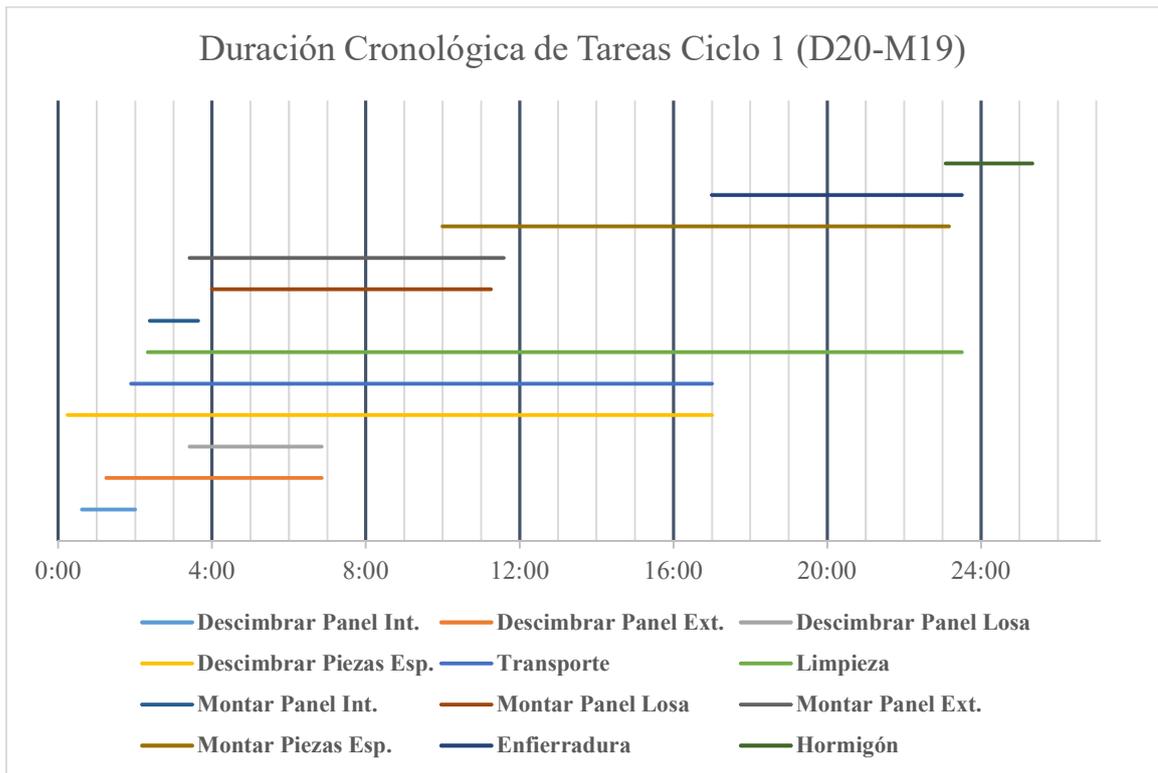


Figura 37: Esquema de Duraciones Cronológicas Ciclo 1 (D20-M19).

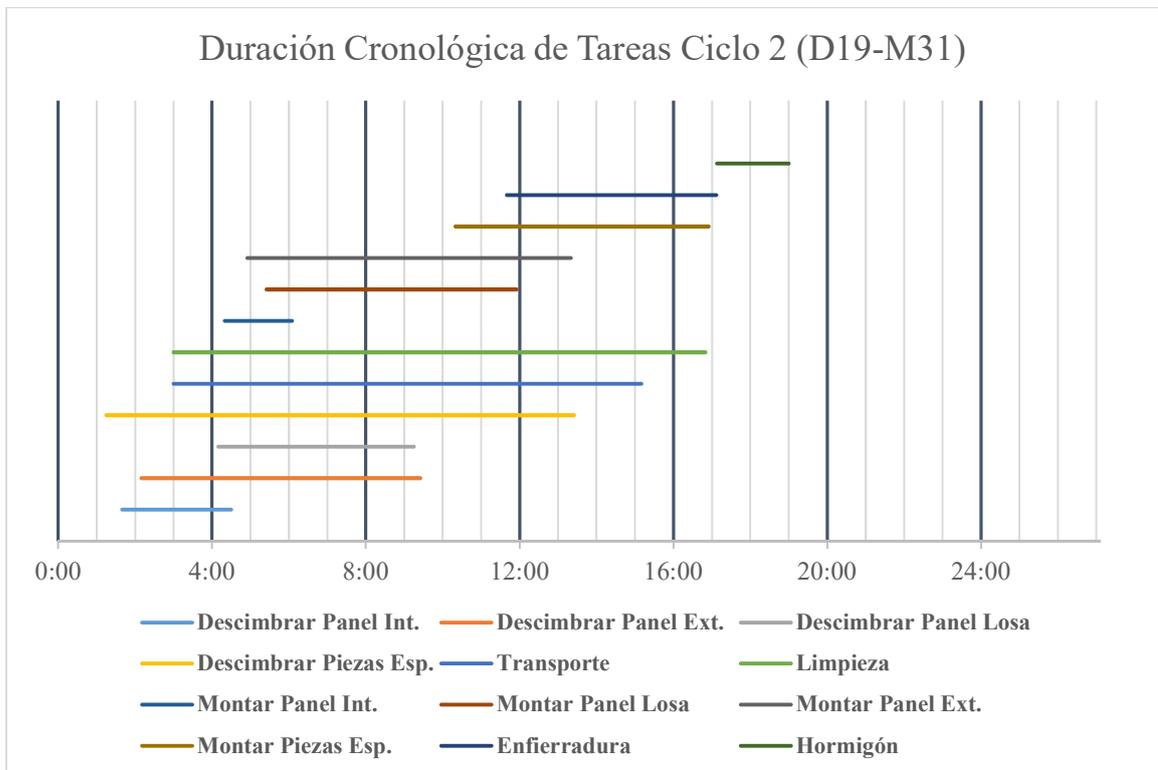


Figura 38: Esquema de Duraciones Cronológicas Ciclo 2 (D19-M31).

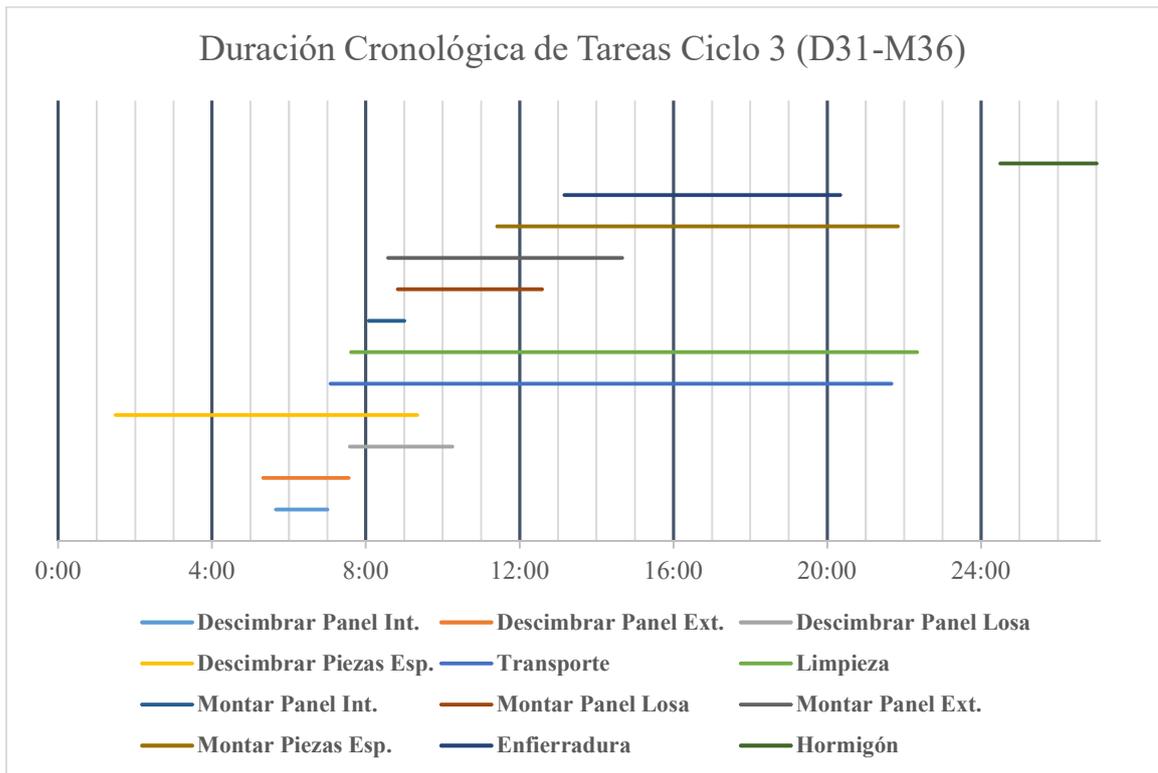


Figura 39: Esquema de Duraciones Cronológicas Ciclo 3 (D31-M36).

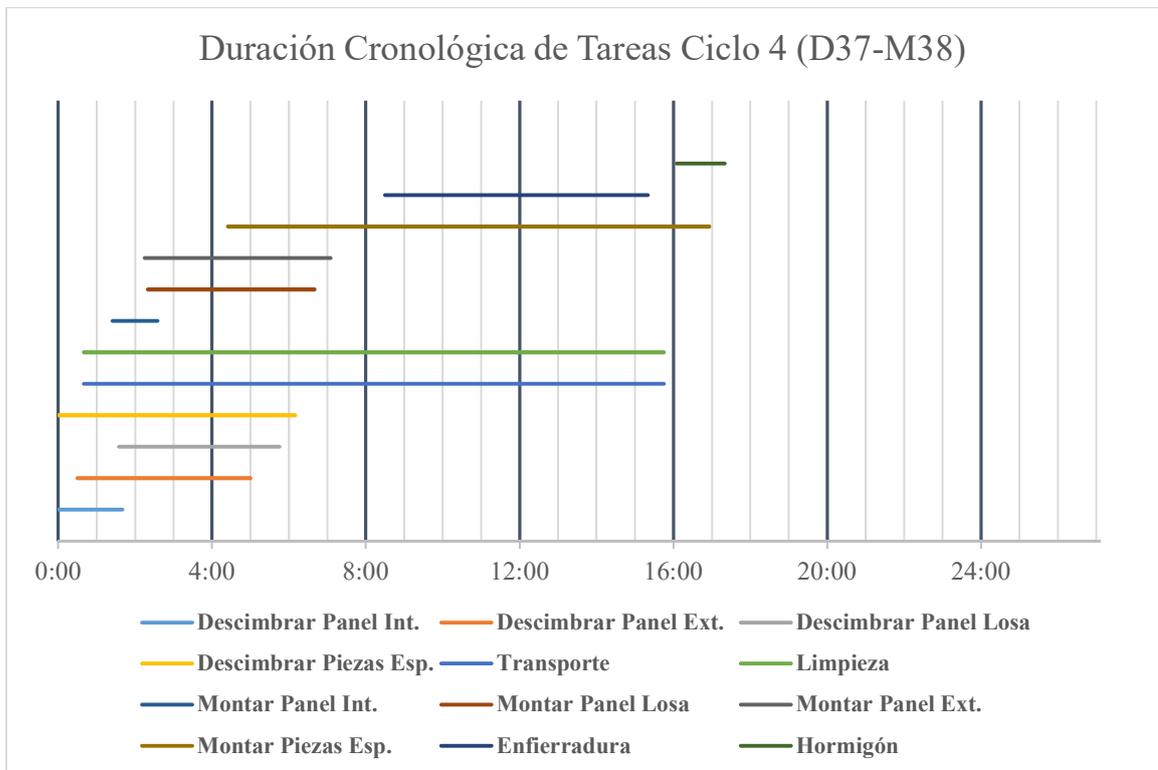


Figura 40: Esquema de Duraciones Cronológicas Ciclo 4 (D37-M38).

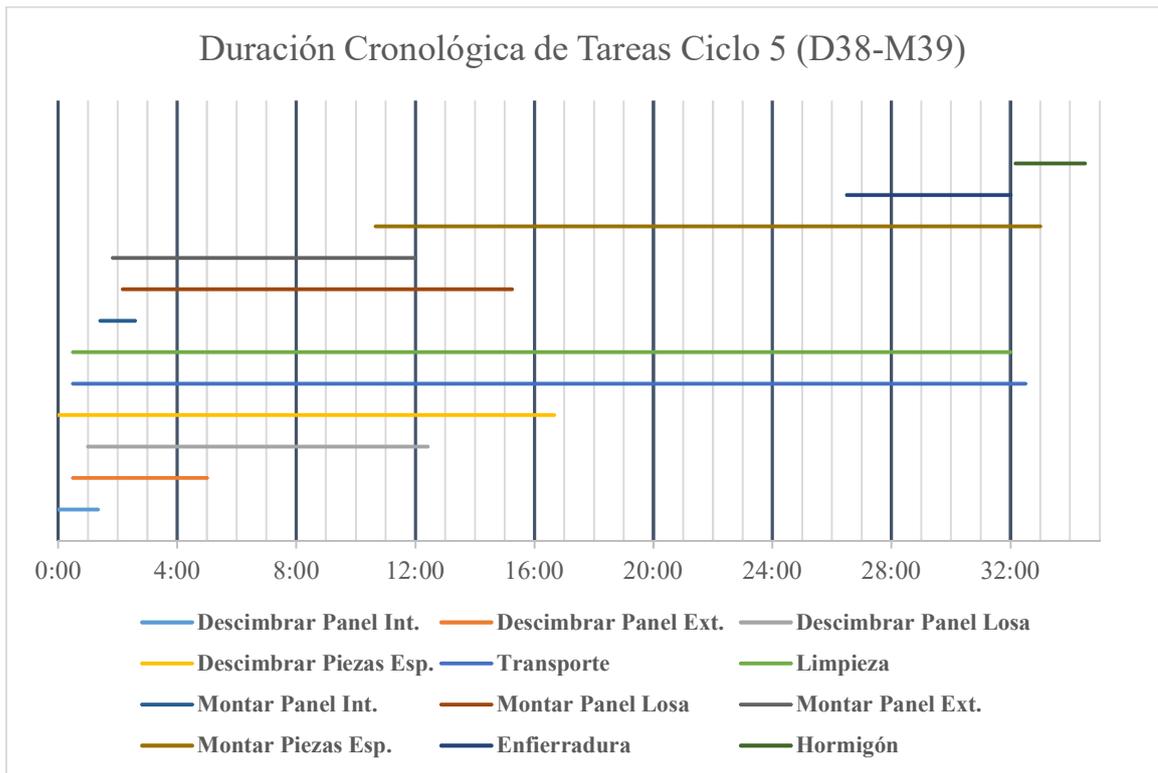


Figura 41: Esquema de Duraciones Cronológicas Ciclo 5 (D38-M39).

ANEXO D: Detalle Tiempos Efectivos.

A continuación, en las tablas 49 a 53, se muestran el resumen de los datos obtenidos de las observaciones registradas en terreno para determinar los *tiempos efectivos* de cada tarea para los cinco ciclos correctamente medidos de la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”. Se muestra el número de observaciones registradas para cada tarea y la transformación a unidades de tiempo que reflejan el *tiempo efectivo* empleado en cada tarea. Además, para cada tarea, se muestran los porcentajes de la cantidad de observaciones realizadas con respecto al total de observaciones del ciclo y los porcentajes del *tiempo efectivo* empleado con respecto al *tiempo efectivo* total del ciclo.

Tabla 49: Observaciones y Tiempos Efectivos Ciclo 1 (D20-M19).

		Total Obs.	%Obs.	[min-hombre]	[hora-hombre]	%Tiempo
TAREAS	Descimbrar Paneles de Muro Interiores	10	2,0%	100	1,67	2,1%
	Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	11	2,2%	110	1,83	2,3%
	Descimbrar Paneles de Losa	21	4,2%	180	3,00	3,7%
	Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	21	4,2%	210	3,50	4,3%
	Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	81	16,3%	805	13,42	16,6%
	Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	44	8,8%	415	6,92	8,6%
	Montar Paneles de Muro Interiores	12	2,4%	120	2,00	2,5%
	Montar Paneles de Losa	68	13,7%	670	11,17	13,8%
	Montar Paneles de Muro Exteriores	21	4,2%	210	3,50	4,3%
	Montar Paneles de Piezas Especiales	69	13,9%	675	11,25	13,9%
	Apoyo	53	10,6%	520	8,67	10,7%
	No-Contributivo	87	17,5%	825	13,75	17,0%
Total		498	100,0%	4840	80,67	100,0%

Tabla 50: Observaciones y Tiempos Efectivos Ciclo 2 (D19-M31).

		Total Obs.	%Obs.	[min-hombre]	[hora-hombre]	%Tiempo
TAREAS	Descimbrar Paneles de Muro Interiores	15	2,4%	130	2,17	2,2%
	Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	8	1,3%	65	1,08	1,1%
	Descimbrar Paneles de Losa	25	4,0%	250	4,17	4,3%
	Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	17	2,8%	165	2,75	2,8%
	Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	111	18,0%	1065	17,75	18,1%
	Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	58	9,4%	555	9,25	9,4%
	Montar Paneles de Muro Interiores	20	3,2%	200	3,33	3,4%
	Montar Paneles de Losa	76	12,3%	745	12,42	12,7%
	Montar Paneles de Muro Exteriores	20	3,2%	180	3,00	3,1%
	Montar Paneles de Piezas Especiales	70	11,3%	670	11,17	11,4%
	Apoyo	78	12,6%	740	12,33	12,6%
	No-Contributivo	120	19,4%	1115	18,58	19,0%
Total		618	100,0%	5880	98,00	100,0%

Tabla 51: Observaciones y Tiempos Efectivos Ciclo 3 (D31-M36).

		Total Obs.	%Obs.	[min-hombre]	[hora-hombre]	%Tiempo
TAREAS	Descimbrar Paneles de Muro Interiores	16	3,0%	160	2,67	3,1%
	Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	7	1,3%	70	1,17	1,3%
	Descimbrar Paneles de Losa	17	3,1%	170	2,83	3,3%
	Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	18	3,3%	180	3,00	3,4%
	Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	90	16,7%	900	15,00	17,2%
	Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	35	6,5%	325	5,42	6,2%
	Montar Paneles de Muro Interiores	25	4,6%	245	4,08	4,7%
	Montar Paneles de Losa	75	13,9%	690	11,50	13,2%
	Montar Paneles de Muro Exteriores	27	5,0%	265	4,42	5,1%
	Montar Paneles de Piezas Especiales	63	11,7%	590	9,83	11,3%
	Apoyo	67	12,4%	650	10,83	12,4%
	No-Contributivo	100	18,5%	980	16,33	18,8%
Total		540	100,0%	5225	87,08	100,0%

Tabla 52: Observaciones y Tiempos Efectivos Ciclo 4 (D37-M38).

		Total Obs.	%Obs.	[min-hombre]	[hora-hombre]	%Tiempo
TAREAS	Descimbrar Paneles de Muro Interiores	25	5,3%	250	4,17	5,5%
	Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	18	3,8%	180	3,00	4,0%
	Descimbrar Paneles de Losa	21	4,5%	210	3,50	4,6%
	Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	9	1,9%	90	1,50	2,0%
	Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	76	16,2%	735	12,25	16,3%
	Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	33	7,0%	325	5,42	7,2%
	Montar Paneles de Muro Interiores	10	2,1%	100	1,67	2,2%
	Montar Paneles de Losa	59	12,6%	555	9,25	12,3%
	Montar Paneles de Muro Exteriores	30	6,4%	270	4,50	6,0%
	Montar Paneles de Piezas Especiales	57	12,1%	560	9,33	12,4%
	Apoyo	67	14,3%	650	10,83	14,4%
	No-Contributivo	65	13,8%	595	9,92	13,2%
Total		470	100,0%	4520	75,33	100,0%

Tabla 53: Observaciones y Tiempos Efectivos Ciclo 5 (D38-M39).

		Total Obs.	%Obs.	[min-hombre]	[hora-hombre]	%Tiempo
TAREAS	Descimbrar Paneles de Muro Interiores	11	1,9%	110	1,83	1,9%
	Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	5	0,9%	50	0,83	0,9%
	Descimbrar Paneles de Losa	20	3,4%	200	3,33	3,5%
	Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	27	4,6%	270	4,50	4,8%
	Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	70	12,0%	700	11,67	12,3%
	Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	45	7,7%	450	7,50	7,9%
	Montar Paneles de Muro Interiores	14	2,4%	140	2,33	2,5%
	Montar Paneles de Losa	83	14,3%	780	13,00	13,7%
	Montar Paneles de Muro Exteriores	35	6,0%	340	5,67	6,0%
	Montar Paneles de Piezas Especiales	66	11,3%	640	10,67	11,3%
	Apoyo	83	14,3%	830	13,83	14,6%
	No-Contributivo	123	21,1%	1165	19,42	20,5%
Total		582	100,0%	5675	94,58	100,0%

ANEXO E: Detalle Dispersión de Tiempos.

A continuación, en las tablas 54 a 65, se muestran los *tiempos efectivos* registrados en cada ciclo, el valor promedio de estos tiempos y la desviación estándar correspondiente, para cada tarea de la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”. Además, los gráficos de las figuras 42 a 53 muestran la variabilidad de los datos obtenidos para cada tarea. Este detalle es parte de los análisis complementarios de dispersión de los tiempos mostrados en la sección 7.2.3.2 de la presente memoria.

1. Descimbrar Paneles de Muro Interiores

Tabla 54: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
Descimbrar Paneles de Muro Interiores	1,7	2,2	2,7	4,2	1,8	2,5	1,0

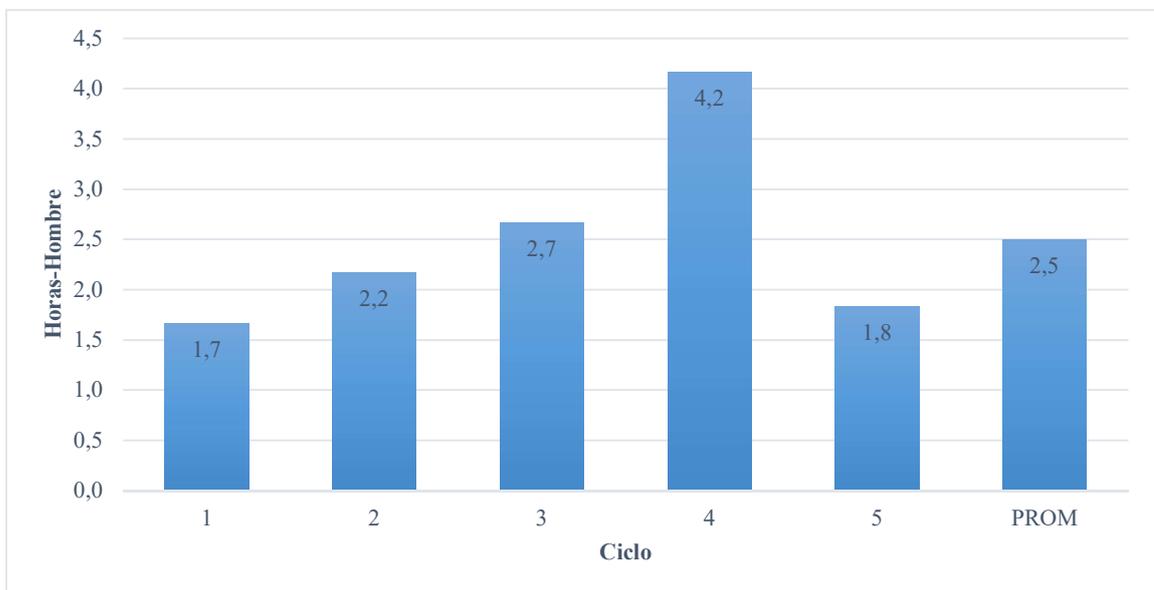


Figura 42: Tiempos Efectivos y Promedio para Descimbrar Paneles de Muro Interiores.

2. Descimbrar Paneles de Muro Exteriores

Tabla 55: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
Descimbrar Paneles de Muro Exteriores	1,8	1,1	1,2	3,0	0,8	1,6	0,9

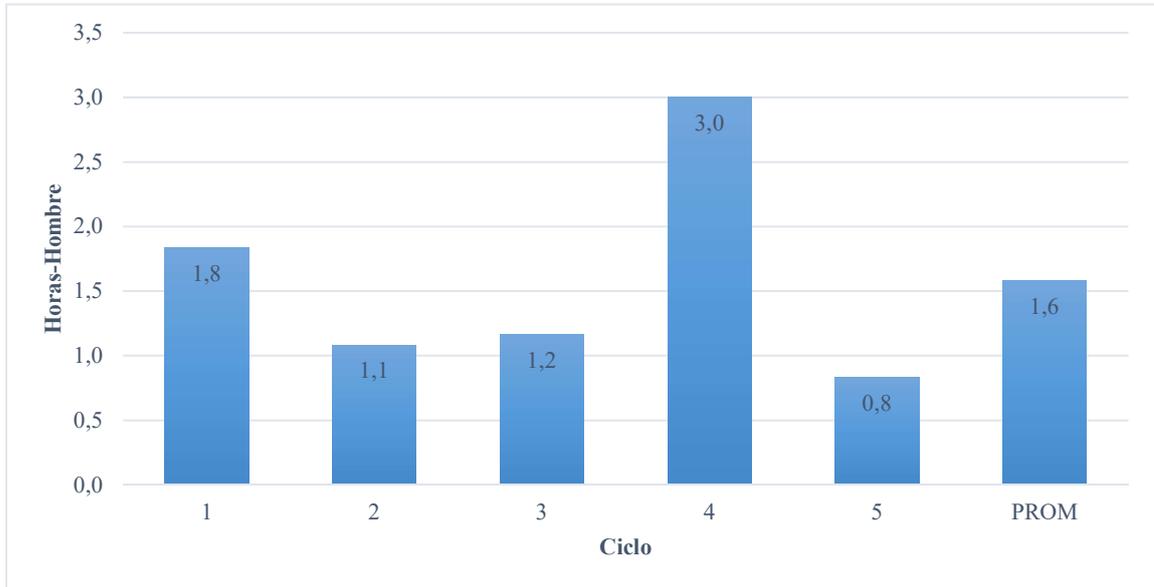


Figura 43: Tiempos Efectivos y Promedio para Descimbrar Paneles de Muro Exteriores.

3. Descimbrar Paneles de Losa

Tabla 56: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
Descimbrar Paneles de Losa	3,0	4,2	2,8	3,5	3,3	3,4	0,5

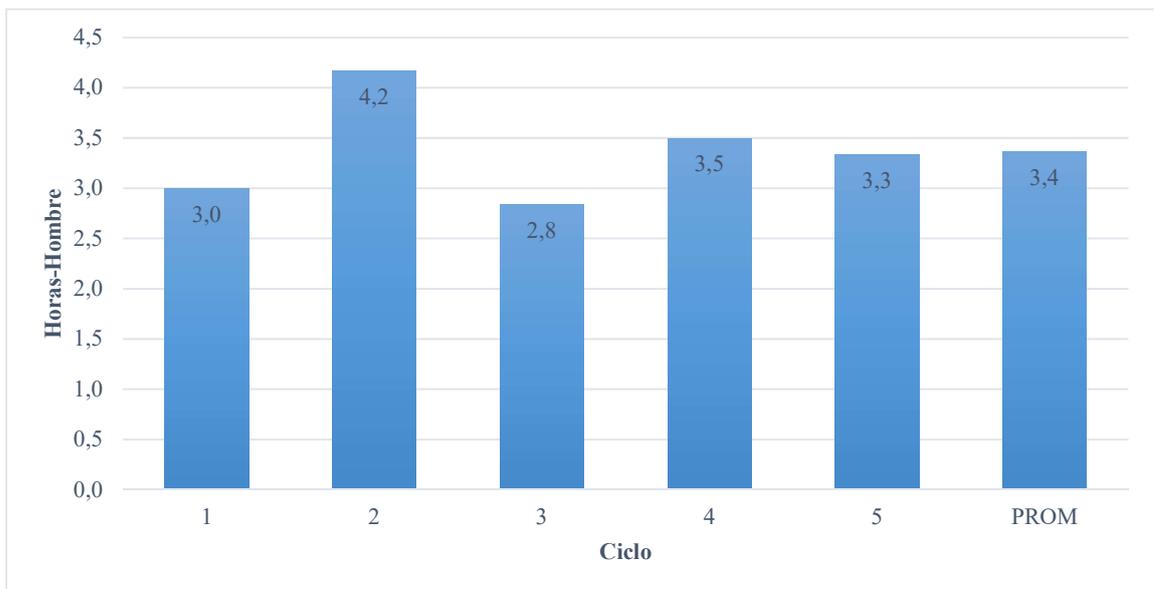


Figura 44: Tiempos Efectivos y Promedio para Descimbrar Paneles de Losa.

4. Descimbrar Paneles de Piezas Especiales

Tabla 57: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
Descimbrar Paneles de Piezas Especiales	3,5	2,8	3,0	1,5	4,5	3,1	1,1

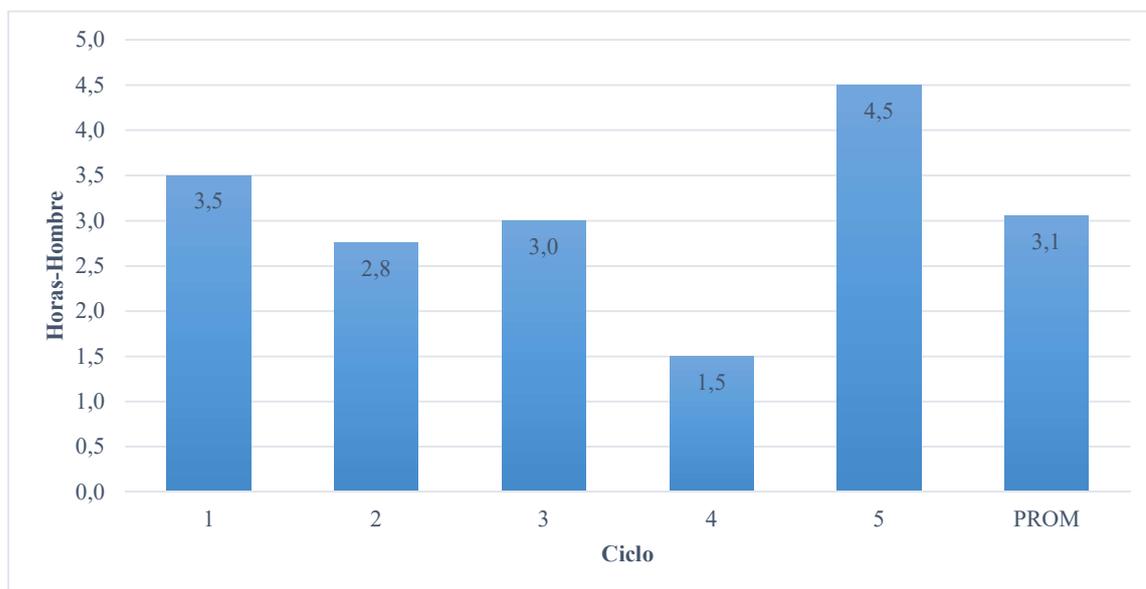


Figura 45: Tiempos Efectivos y Promedio para Descimbrar Paneles de Piezas Especiales.

5. Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje

Tabla 58: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje	13,4	17,8	15,0	12,3	11,7	14,0	2,4

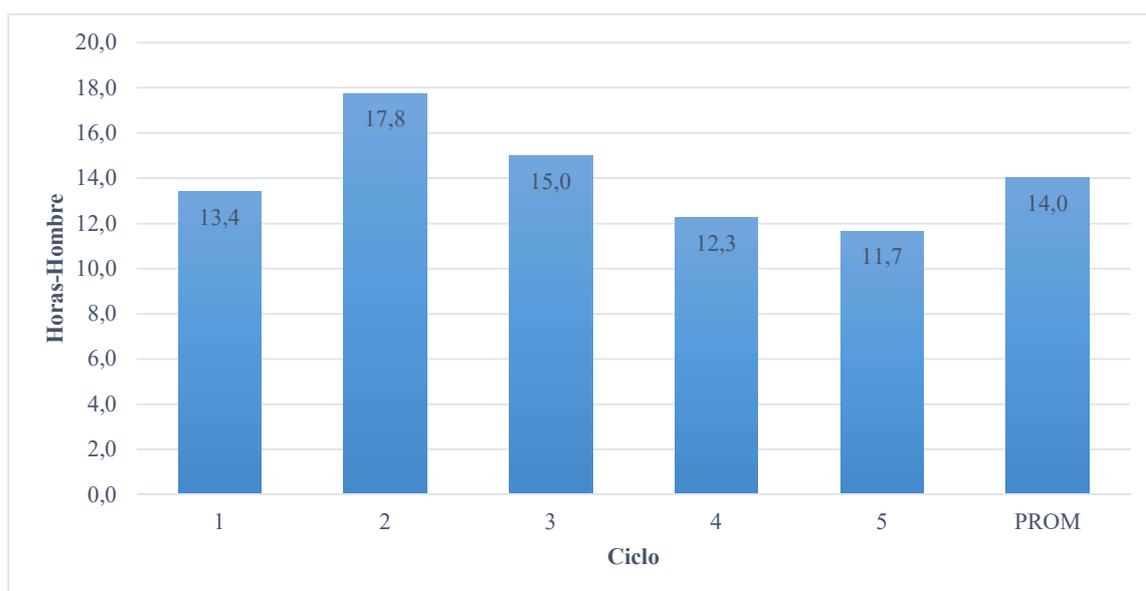


Figura 46: Tiempos Efectivos y Promedio para Transporte de Piezas y Paneles de Moldaje.

6. Limpieza de Piezas y Paneles de Moldaje

Tabla 59: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
Limpieza de Paneles y Piezas de Moldaje	6,9	9,3	5,4	5,4	7,5	6,9	1,6

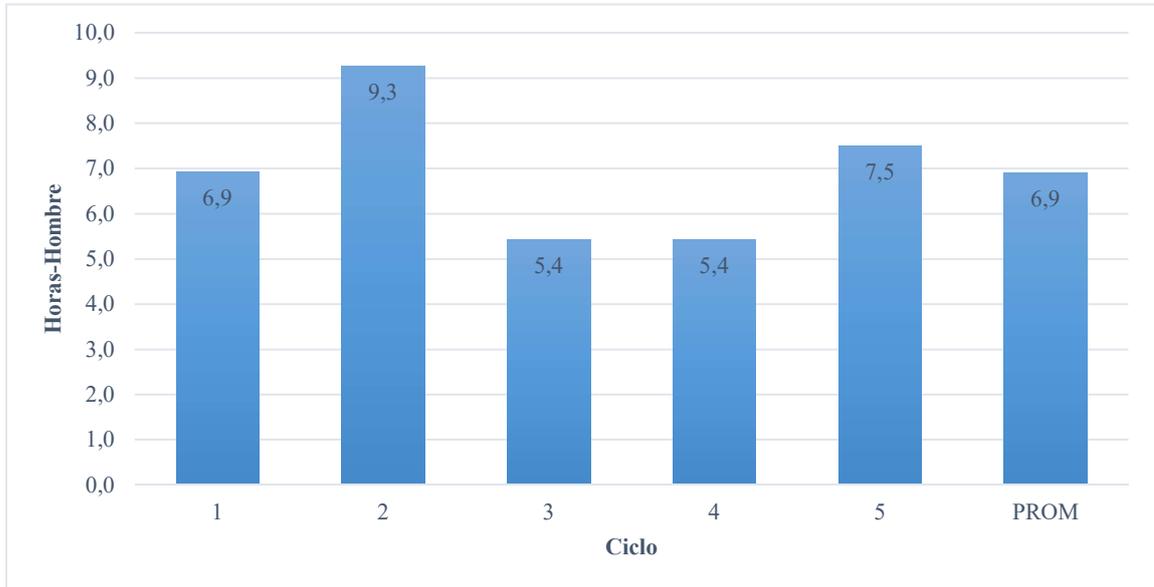


Figura 47: Tiempos Efectivos y Promedio para Limpieza de Piezas y Paneles de Moldaje.

7. Montar Paneles de Muro Interiores

Tabla 60: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
Montar Paneles de Muro Interiores	2,0	3,3	4,1	1,7	2,3	2,7	1,0

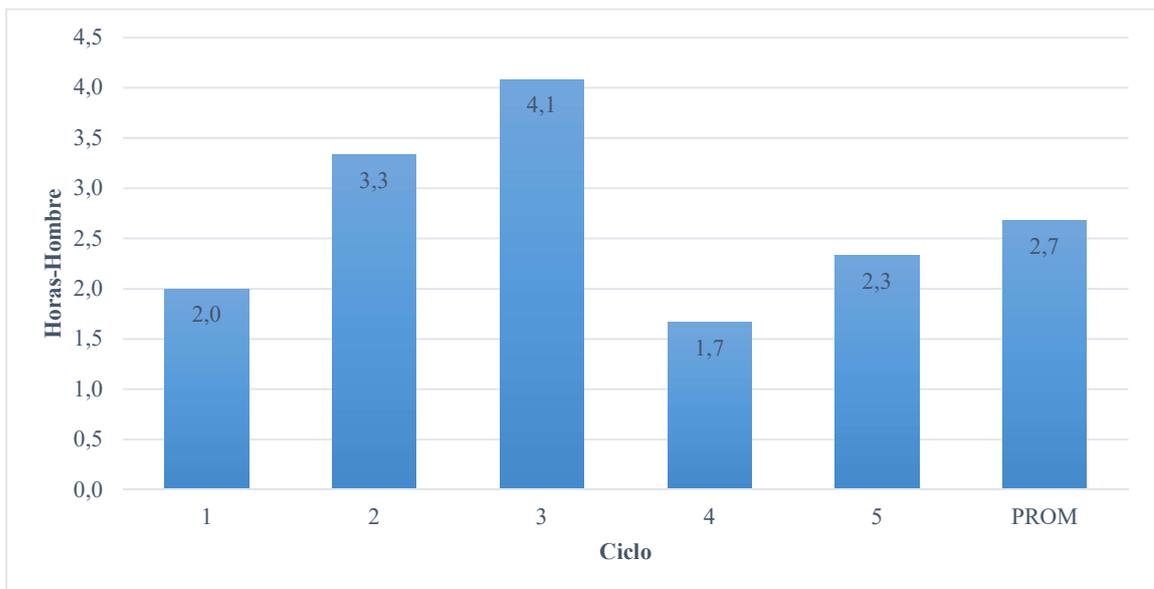


Figura 48: Tiempos Efectivos y Promedio para Montar Paneles de Muro Interiores.

8. Montar Paneles de Losa

Tabla 61: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
Montar Paneles de Losa	11,2	12,4	11,5	9,3	13,0	11,5	1,4

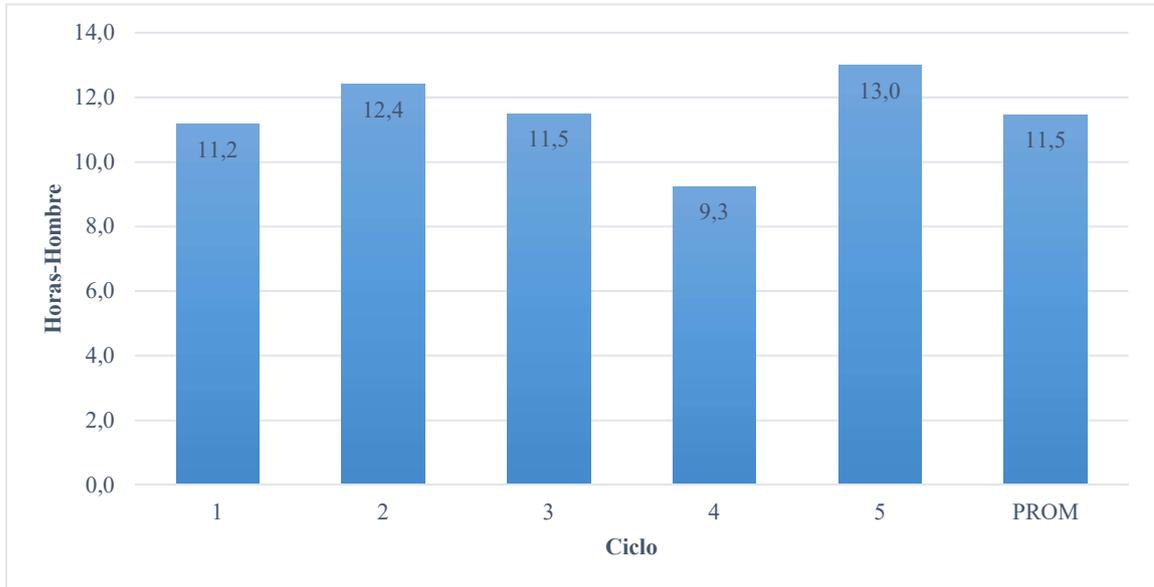


Figura 49: Tiempos Efectivos y Promedio para Montar Paneles de Losa.

9. Montar Paneles de Muro Exteriores

Tabla 62: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
Montar Paneles de Muro Exteriores	3,5	3,0	4,4	4,5	5,7	4,2	1,0

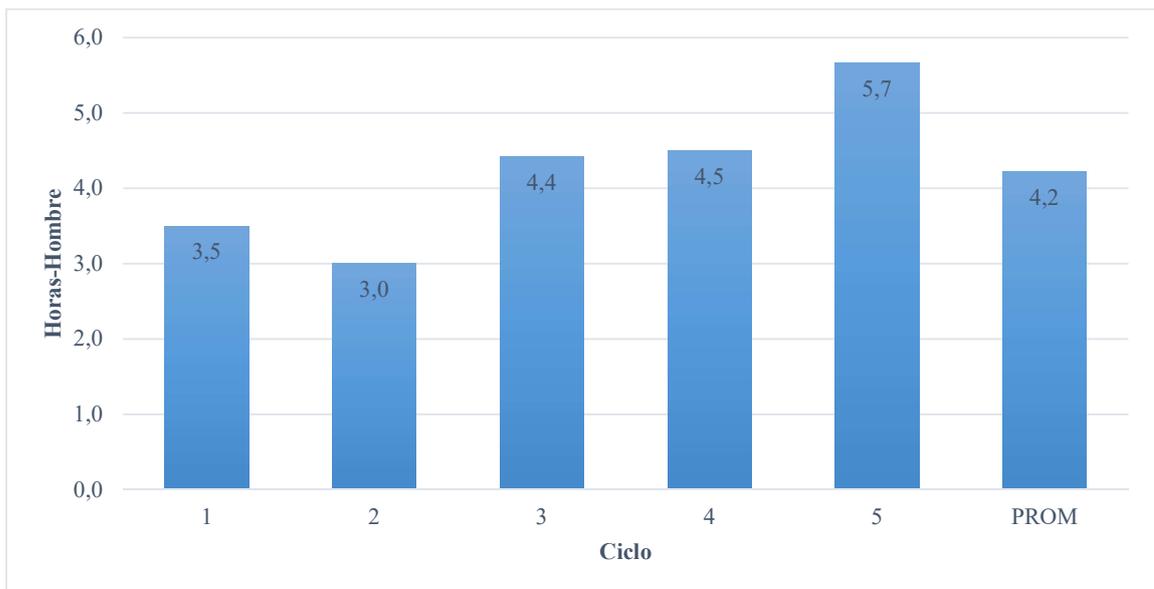


Figura 50: Tiempos Efectivos y Promedio para Montar Paneles de Muro Exteriores.

10. Montar Paneles de Piezas Especiales

Tabla 63: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
Montar Paneles de Piezas Especiales	11,3	11,2	9,8	9,3	10,7	10,5	0,8

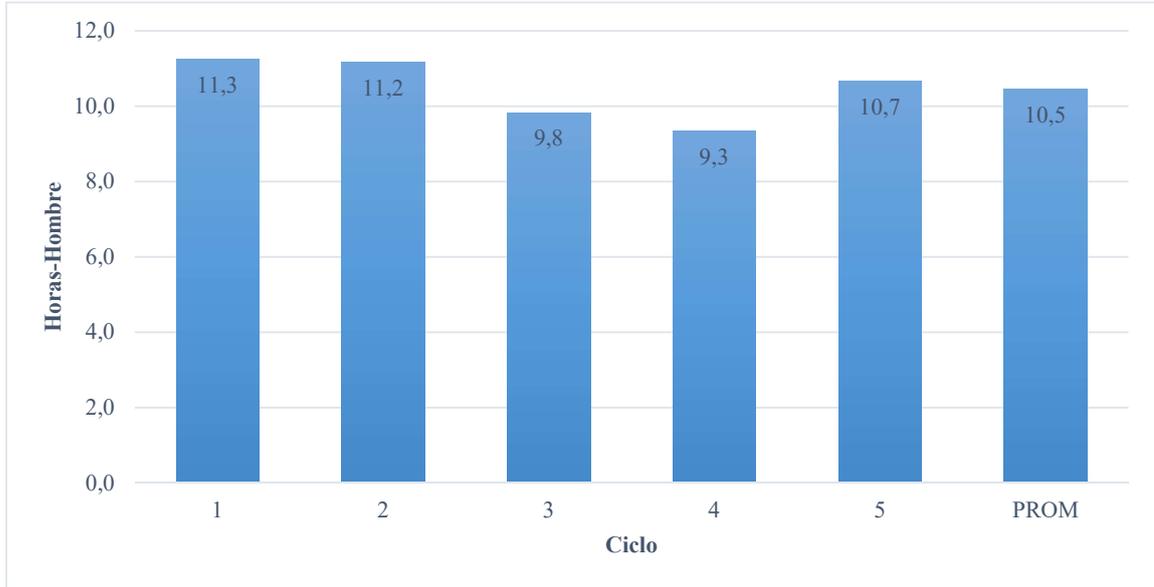


Figura 51: Tiempos Efectivos y Promedio para Montar Paneles de Piezas Especiales.

11. Tareas de Apoyo

Tabla 64: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
Apoyo	8,7	12,3	10,8	10,8	13,8	11,3	1,9

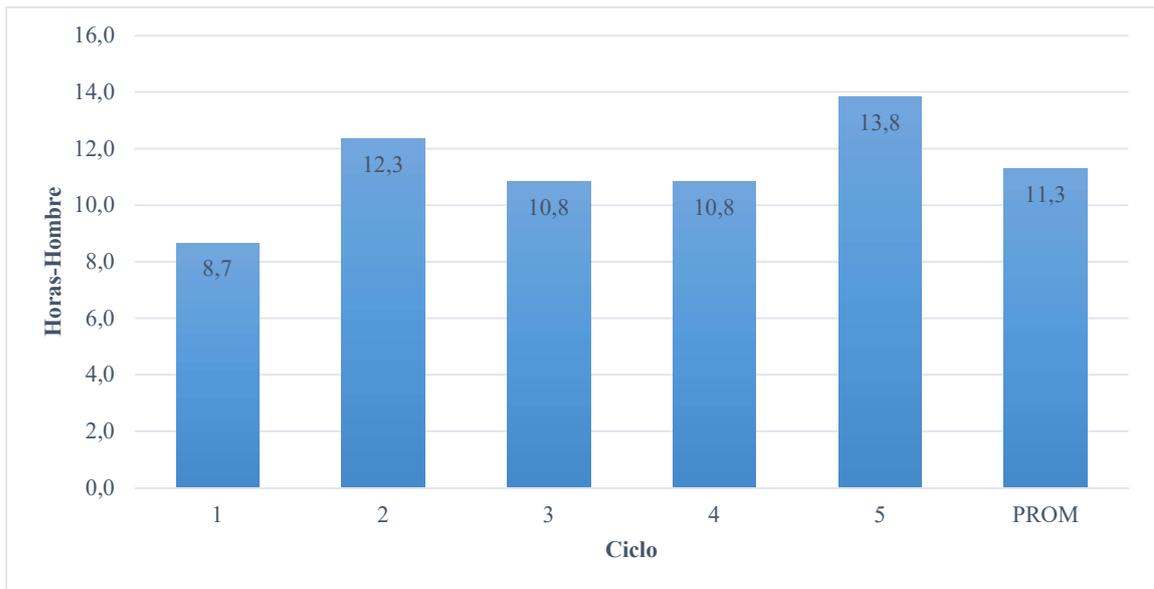


Figura 52: Tiempos Efectivos y Promedio para Tareas de Apoyo.

12. Acciones No – Contributivas

Tabla 65: Tiempos Efectivos, Promedio (PROM) y Desviación Estándar (DE) en [horas-hombre].

Tarea	1	2	3	4	5	PROM	DE
No – Contributivo	13,8	18,6	16,3	9,9	19,4	15,6	3,9

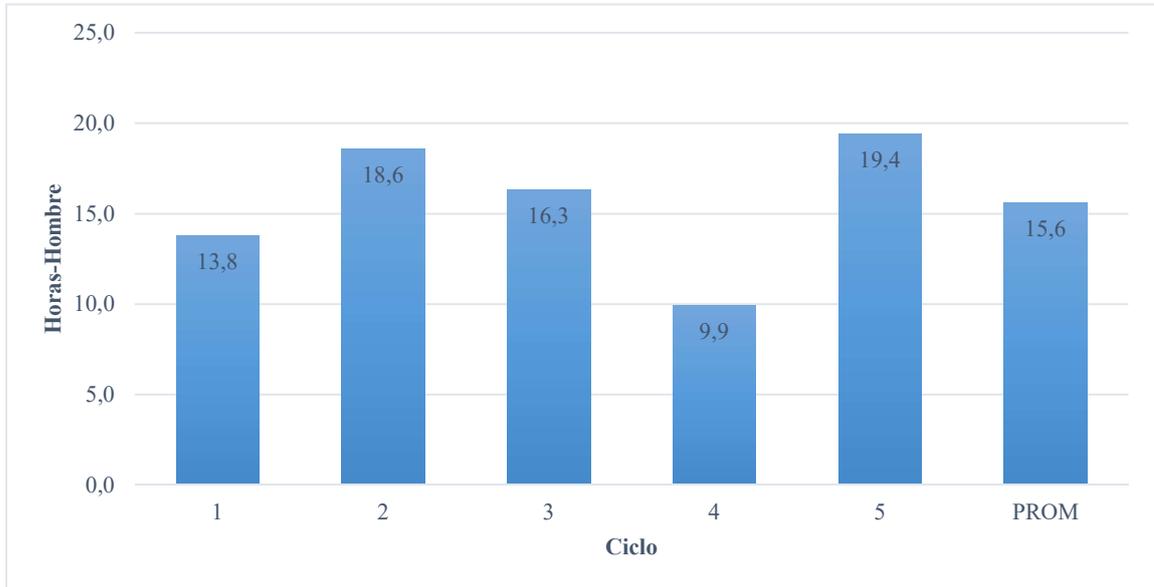


Figura 53: Tiempos Efectivos y Promedio para Acciones No-Contributivas.

ANEXO F: Detalle Encuestas.

A continuación, en las tablas 66 a 70, se muestra el detalle de los cuestionarios realizados al jefe de terreno, jefe de obra, supervisor de la cuadrilla de moldajeros y los dos mejor evaluados integrantes de la cuadrilla de moldajeros, para estimar el impacto y recurrencia con que los factores preguntados afectaban la productividad de la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso”. La información que proporcionaron estos cuestionarios permitió estimar las ineficiencias del sistema de la operación “Montaje de los Paneles de Moldaje del Primer Piso” tal como se explicó en la sección 7.3.4 de la presente memoria.

Tabla 66: Resultado del Cuestionario sobre Factores que afectan la Productividad de la Mano de Obra.

LUIS PEREZ	JEFE DE TERRENO		
FACTOR	Puntos de Gravedad	Probabilidad de Ocurrencia	Producto
	(Gi)	(Pi)	(Gi*Pi)
Problemas/Errores en Planos	5	10%	0,50
Cantidad de Piezas Pequeñas o Especiales de Moldajes	3	100%	3,00
Supervisión en Terreno	4	25%	1,00
Distribución de Modelos de Casa (Layout por Arquitectura)	3	75%	2,25
Lejanía de zona de trabajo a la Instalación de Faena	3	40%	1,20
Elevados Niveles de Ruido	1	10%	0,10
Altos Niveles de Congestión de Trabajadores	3	50%	1,50
Altas Temperaturas	4	75%	3,00
Polvo en Suspensión	2	15%	0,30
Problemas de Coordinación con Otras Partidas	4	10%	0,40
Experiencia de la Mano de Obra	5	50%	2,50
Trabajadores llegan atrasados, salen más temprano, se toman descansos no programados (Durante Jornada Laboral)	5	10%	0,50
Ausentismo de Trabajadores (No Asiste a Trabajar)	5	10%	0,50
Falta de Mano de Obra Capacitada en la Zona	5	100%	5,00
Equipos en Mal Estado	5	10%	0,50
Falta de Herramientas	5	10%	0,50
Falta de Materiales	5	5%	0,25
Accidentes en Terreno	5	10%	0,50
Σ Puntos de Gravedad	72,00		
Σ Producto	23,50		
(Σ Producto) / (Σ Puntos de Gravedad)	0,326		

Tabla 67: Resultado del Cuestionario sobre Factores que afectan la Productividad de la Mano de Obra.

ALIRO AVILA ROJAS	JEFE DE OBRA		
FACTOR	Puntos de Gravedad	Probabilidad de Ocurrencia	Producto
	(Gi)	(Pi)	(Gi*Pi)
Problemas/Errores en Planos	2	30%	0,60
Cantidad de Piezas Pequeñas o Especiales de Moldajes	5	90%	4,50
Supervisión en Terreno	2	10%	0,20
Distribución de Modelos de Casa (Layout por Arquitectura)	5	100%	5,00
Lejanía de zona de trabajo a la Instalación de Faena	4	80%	3,20
Elevados Niveles de Ruido	1	10%	0,10
Altos Niveles de Congestión de Trabajadores	1	10%	0,10
Altas Temperaturas	4	80%	3,20
Polvo en Suspensión	0	0%	0,00
Problemas de Coordinación con Otras Partidas	3	50%	1,50
Experiencia de la Mano de Obra	3	50%	1,50
Trabajadores llegan atrasados, salen más temprano, se toman descansos no programados (Durante Jornada Laboral)	2	10%	0,20
Ausentismo de Trabajadores (No Asiste a Trabajar)	2	15%	0,30
Falta de Mano de Obra Capacitada en la Zona	4	80%	3,20
Equipos en Mal Estado	3	80%	2,40
Falta de Herramientas	4	100%	4,00
Falta de Materiales	4	10%	0,40
Accidentes en Terreno	1	15%	0,15
Σ Puntos de Gravedad	50,00		
Σ Producto	30,55		
$(\Sigma \text{ Producto}) / (\Sigma \text{ Puntos de Gravedad})$	0,611		

Tabla 68: Resultado del Cuestionario sobre Factores que afectan la Productividad de la Mano de Obra.

CLAUDIO LARA ORTEGA	SUPERVISOR		
FACTOR	Puntos de Gravedad	Probabilidad de Ocurrencia	Producto
	(Gi)	(Pi)	(Gi*Pi)
Problemas/Errores en Planos	1	30%	0,30
Cantidad de Piezas Pequeñas o Especiales de Moldajes	5	100%	5,00
Supervisión en Terreno	2	10%	0,20
Distribución de Modelos de Casa (Layout por Arquitectura)	5	100%	5,00
Lejanía de zona de trabajo a la Instalación de Faena	5	100%	5,00
Elevados Niveles de Ruido	0	0%	0,00
Altos Niveles de Congestión de Trabajadores	0	0%	0,00
Altas Temperaturas	5	58%	2,90
Polvo en Suspensión	0	0%	0,00
Problemas de Coordinación con Otras Partidas	4	80%	3,20
Experiencia de la Mano de Obra	3	40%	1,20
Trabajadores llegan atrasados, salen más temprano, se toman descansos no programados (Durante Jornada Laboral)	3	20%	0,60
Ausentismo de Trabajadores (No Asiste a Trabajar)	4	15%	0,60
Falta de Mano de Obra Capacitada en la Zona	4	100%	4,00
Equipos en Mal Estado	4	100%	4,00
Falta de Herramientas	4	100%	4,00
Falta de Materiales	4	10%	0,40
Accidentes en Terreno	1	5%	0,05
Σ Puntos de Gravedad	54,00		
Σ Producto			36,45
$(\Sigma \text{ Producto}) / (\Sigma \text{ Puntos de Gravedad})$			0,675

Tabla 69: Resultado del Cuestionario sobre Factores que afectan la Productividad de la Mano de Obra.

SERGIO CHIHUAIHUN	MAESTRO CARPINTERO DE PRIMERA		
FACTOR	Puntos de Gravedad	Probabilidad de Ocurrencia	Producto
	(Gi)	(Pi)	(Gi*Pi)
Problemas/Errores en Planos	0	0%	0,00
Cantidad de Piezas Pequeñas o Especiales de Moldajes	5	100%	5,00
Supervisión en Terreno	1	100%	1,00
Distribución de Modelos de Casa (Layout por Arquitectura)	5	100%	5,00
Lejanía de zona de trabajo a la Instalación de Faena	5	100%	5,00
Elevados Niveles de Ruido	5	100%	5,00
Altos Niveles de Congestión de Trabajadores	3	70%	2,10
Altas Temperaturas	3	100%	3,00
Polvo en Suspensión	3	100%	3,00
Problemas de Coordinación con Otras Partidas	5	100%	5,00
Experiencia de la Mano de Obra	0	0%	0,00
Trabajadores llegan atrasados, salen más temprano, se toman descansos no programados (Durante Jornada Laboral)	0	0%	0,00
Ausentismo de Trabajadores (No Asiste a Trabajar)	0	0%	0,00
Falta de Mano de Obra Capacitada en la Zona	0	0%	0,00
Equipos en Mal Estado	5	100%	5,00
Falta de Herramientas	5	100%	5,00
Falta de Materiales	0	0%	0,00
Accidentes en Terreno	0	0%	0,00
Σ Puntos de Gravedad	45,00		
Σ Producto			44,10
$(\Sigma \text{ Producto}) / (\Sigma \text{ Puntos de Gravedad})$			0,980

Tabla 70: Resultado del Cuestionario sobre Factores que afectan la Productividad de la Mano de Obra.

PATRICIO CHIHUAIHUN	MAESTRO CARPINTERO DE PRIMERA		
FACTOR	Puntos de Gravedad	Probabilidad de Ocurrencia	Producto
	(Gi)	(Pi)	(Gi*Pi)
Problemas/Errores en Planos	0	0%	0,00
Cantidad de Piezas Pequeñas o Especiales de Moldajes	5	100%	5,00
Supervisión en Terreno	1	100%	1,00
Distribución de Modelos de Casa (Layout por Arquitectura)	5	100%	5,00
Lejanía de zona de trabajo a la Instalación de Faena	5	100%	5,00
Elevados Niveles de Ruido	0	0%	0,00
Altos Niveles de Congestión de Trabajadores	3	70%	2,10
Altas Temperaturas	3	100%	3,00
Polvo en Suspensión	3	100%	3,00
Problemas de Coordinación con Otras Partidas	5	100%	5,00
Experiencia de la Mano de Obra	0	0%	0,00
Trabajadores llegan atrasados, salen más temprano, se toman descansos no programados (Durante Jornada Laboral)	0	0%	0,00
Ausentismo de Trabajadores (No Asiste a Trabajar)	0	0%	0,00
Falta de Mano de Obra Capacitada en la Zona	0	0%	0,00
Equipos en Mal Estado	5	100%	5,00
Falta de Herramientas	5	100%	5,00
Falta de Materiales	0	0%	0,00
Accidentes en Terreno	0	0%	0,00
Σ Puntos de Gravedad	40,00		
Σ Producto			39,10
$(\Sigma$ Producto) / $(\Sigma$ Puntos de Gravedad)			0,978