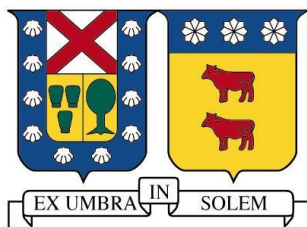


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO – CHILE**



**ESTUDIO DEL EFECTO DE LA PLANIFICACIÓN DEL
SUMINISTRO DE PERFILES DE ACERO EN EL PROCESO DE
MONTAJE ESTRUCTURAL DE COSTANERAS**

**MEMORIA DE TITULACIÓN PRESENTADA POR
JOSÉ MANUEL ABARZA DURÁN**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**PROFESOR GUÍA
LEONHARD EMIL BERNOLD**

DICIEMBRE DE 2016

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanas, por haberme proporcionado una buena educación, grandes lecciones de vida y mucho amor. También por mostrarme que con sacrificio todo se puede lograr.

A todos mis familiares, ya que en cada ocasión especial su presencia ha sido incondicional.

A Alejandra, por su apoyo y compañía constante en la realización de esta memoria, dándome fortaleza especialmente en los momentos más difíciles.

A mis amigos, con quienes he compartido algunos de los mejores momentos de mi vida, incluso haciendo gratos aquellos periodos más complicados de la universidad.

Al profesor Leonhard Bernold, por apoyarme continuamente durante la realización de esta investigación y por enseñarme que la ingeniería civil es mucho más que números y fórmulas.

A los profesores del comité evaluador, Ramiro Bazález y Juan Valenzuela, por su tiempo, buena disposición y paciencia en la revisión de esta memoria.

A Christian Schnaidt de AMCS Ltda. y Manuel Aguirre de DPC Constructora Ltda. cuya buena disposición para materializar esta investigación en obra es invaluable.

A Marta Martínez y todo el equipo de DPC Constructora Ltda. por responder todas mis inquietudes y compartir desinteresadamente su experiencia.

RESUMEN EJECUTIVO

La Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC) determinó que, en Chile, el 20% del tiempo destinado a una obra de construcción se desperdicia en actividades que no agregan valor ni contribuyen al avance (CDT, 2013). Si bien este valor fue determinado por la CDT mediante mediciones hechas en obras de edificación, el tiempo desperdiciado puede ser cuantificado para cualquier tipo de obra. A pesar de esto, la literatura muestra que se carece de datos científicos en torno al problema de los desperdicios productivos en el sector de la construcción industrial, lo cual limita el entendimiento de sus causas. Esta falta de conocimiento motivó la realización de esta investigación en terreno, llevada a cabo en una obra de montaje estructural en acero, denominada “Storage Center”, ubicada en Viña del Mar.

La investigación se inició con un extensivo estudio en terreno enfocado al efecto perturbador de los camiones con suministro sobre el proceso de montaje de costaneras. Como resultado, se formularon dos hipótesis: (1) Es posible implementar exitosamente un sistema de registro de actividades en obra mediante cámaras de video inalámbricas de funcionamiento autónomo y (2) La planificación del suministro de perfiles de acero orientada al proceso resulta en una reducción de sus desperdicios productivos. Para probar las hipótesis, se diseñó e implementó un experimento comparativo siguiendo los lineamientos del método científico. Inicialmente, se estudió el uso de recursos por el proceso y, mediante mediciones, se cuantificaron sus pérdidas productivas. Los datos obtenidos fueron utilizados para rediseñar e implementar una nueva logística para la cadena de suministro. Finalmente, se volvió a medir la utilización de recursos por el proceso, a modo de comparar los desperdicios productivos creados por el proceso en su estado normal y en su estado modificado.

Un elemento central del estudio es la definición clara de las actividades del proceso, su categorización de acuerdo a su aporte productivo al proceso e identificar aquellas que clasifican como pérdidas productivas. Para la creación de datos científicos robustos, también se requirió de la utilización de métodos estadísticos para las mediciones en terreno. El énfasis está en los tiempos y recursos laborales requeridos para el desarrollo de las tareas del proceso. Las mediciones de los parámetros antes descritos se realizaron utilizando el registro visual de la obra captado por un sistema de observación en base a cámaras de video dispuestas en terreno.

La capacidad brindada por el sistema de monitoreo utilizado para registrar de forma autónoma y continua no sólo el desempeño de un trabajador en obra, sino que el de todos los trabajadores de un proceso y los recursos utilizados por este, demostró ser fundamental para completar este estudio, confirmando a cabalidad el cumplimiento de la primera hipótesis. Por otro lado, los resultados del experimento comparativo demostraron que es posible reducir aproximadamente en un 40% los desperdicios productivos del proceso de montaje de costaneras mediante una planificación del suministro de perfiles de acero orientada al proceso, validando la segunda hipótesis. La experiencia adquirida en terreno permitió comprobar la existencia de grandes desperdicios productivos en una obra, así como también el impacto positivo que genera en ésta una gestión centrada en su reducción, dentro del paradigma actual del rubro.

ABSTRACT

The *Corporación de Desarrollo Tecnológico* (CDT) of the *Cámara Chilena de la Construcción* (CChC) determined that, in Chile, 20% of time spent in construction site is wasted on activities that add no value and do not contribute to its progress (CDT, 2013). While CDT established this number through measurements made on buildings sites, the time wasted can be quantified for any type of construction work. Unfortunately, the literature shows no scientific data about the problem of production waste in the industrial sector, limiting the understanding of its causes. This lack of knowledge led to this research, carried out on a construction site for a large structural steel building, a “Storage Center”, located in Viña del Mar.

The research began with an extensive field study focusing on the disruptive effect of the supply trucks on the purlin assembly process. As a result, two hypotheses were formulated: (1) It is possible to successfully implement a recording system of activities on site using wireless and stand-alone video cameras, and (2) process-oriented planning of steel sections supply results in a reduction of process waste. To test the hypotheses, a comparative experiment utilizing scientific methods was designed and implemented. Initially, the use of resources was studied followed by measurements to define the amounts of production waste. The obtained data was used for the re-design and implementation of a new supply chain logistic. Finally, the measurements of resource utilization by the modified process were repeated, in order to compare the production waste created by the normal and the modified process.

A central element of the study was clear definition of process activities, their categorization according to their contribution to the process, and classification of production waste. The establishment of scientifically sound data also required statistical methods for on-site measurements. Emphasis is on the time and labor resources required for the process tasks development. The measurements of the parameters described above were performed using video cameras installed on site to create a visual record.

The capability provided by the monitoring system used to record autonomously and continuously not only the performance of a single worker, but that of all workers and resources used in the process at once, proved invaluable for conducting this study, fully confirming the first hypothesis. On the other hand, comparative experiments results showed that it is possible to reduce approximately 40% of production waste in purlin assembly process through a process-oriented supply planning, thereby undoubtedly validating the second hypothesis. The experience acquired through the field study allowed to verify the existence of a significant amount of production waste on site, as well as the positive impact that a waste-based management has on the productivity of a construction site within the current paradigm of the industry.

GLOSARIO

AV	:	Agrega Valor (categoría de tiempo de trabajo).
BIM	:	Building Information Modeling (Modelado de Información de la Construcción).
Byte	:	Unidad mínima de almacenamiento de información computacional.
CAD	:	Computer-aided design (Diseño asistido por computadora).
CChC	:	Cámara Chilena de la Construcción.
CDT	:	Corporación de Desarrollo Tecnológico.
CO	:	Contributivo (categoría de tiempo de trabajo).
CORFO	:	Corporación de Fomento de la Producción.
CTQ	:	Critical to Quality (Crítico para la Calidad).
Fly-Bracing	:	Arriostramiento entre costanera y viga.
FTP	:	File Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Archivos).
Gap	:	Término inglés que designa una brecha, apertura, separación o discrepancia entre dos puntos de referencia.
GB	:	Unidad de almacenamiento de información equivalente a 10^9 bytes.
HH	:	Horas-Hombre (unidad para cuantificar la utilización laboral).
HM	:	Horas-Máquina (unidad para cuantificar la utilización de maquinaria).
IN	:	Inefectivo (categoría de tiempo de trabajo).
INE	:	Instituto Nacional de Estadísticas.
IoT	:	Internet of Things (Internet de las cosas)
IPC	:	Índices de Precios al Consumidor.
LAN	:	Local Area Network (Red de Área Local).
Lean-Construction	:	Modelo de gestión de la construcción basado en Lean Manufacturing.
Lean-Manufacturing	:	Modelo de gestión enfocado a entregar el máximo valor al cliente utilizando el mínimo de recursos.
Mpx.	:	Unidad equivalente a un millón de píxeles. Utilizada comúnmente para expresar la resolución de imagen de cámaras digitales.
Muda	:	Término de origen japonés que denota inutilidad e improductividad.
Muda-Waste	:	Expresión que denota pérdidas productivas.
Mura	:	Término de origen japonés que denota variabilidad.
NP	:	No productivo (categoría de tiempo de trabajo).

Pallet	:	Armazón de madera utilizado para el movimiento de carga mediante grúas pequeñas.
PE	:	Personal (categoría de tiempo de trabajo).
PTF	:	Productividad Total de los Factores.
RF	:	Radio Frequency (Radiofrecuencia).
RFID	:	Radio Frequency Identification (Identificación por Radiofrecuencia).
Router	:	Dispositivo que proporciona conectividad a una red informática.
SCM	:	Supply Chain Management (Gestión de la Cadena de Suministro).
Seis Sigma	:	Metodología de mejora de procesos centrada en la reducción de la cantidad de defectos mediante un control estadístico.
Tag	:	Palabra en inglés utilizada para identificar una etiqueta o marca.
TI	:	Tecnología de la información.
TIC	:	Tecnologías de la Información y la Comunicación.
TPS	:	Toyota Production System (Sistema de Producción de Toyota).
TQM	:	Total Quality Management (Gestión de la Calidad Total).
USB	:	Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie). Protocolo de comunicación e intercambio eléctrico entre dispositivos electrónicos.
WAN	:	Wide Area Network (Red de Área Amplia).
Waste	:	Término inglés que se traduce como desperdicio o residuo.
Zero-Waste	:	Enfoque de gestión abocado a la completa reducción de las pérdidas productivas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	I
ABSTRACT	II
GLOSARIO	III
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Alcances del estudio.....	11
1.2. Estructura de la tesis.....	12
2. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1. Marco teórico.....	13
2.1.1. Planificación y productividad: Indicadores de eficiencia	13
2.1.2. Identificación y reducción de los desperdicios productivos en la construcción	17
2.1.3. Deficiencias en la logística y la gestión de la cadena de suministro.....	21
2.1.4. La importancia del control de los procesos para lograr calidad	26
2.1.5. Información y comunicación en los proyectos	31
2.2. Estado del arte	34
2.2.1. Control dinámico de la cadena de suministro	34
2.2.2. Un método estadístico para determinar el costo de la calidad	35
2.2.3. Aplicación del Internet de las cosas en la industria	37
2.2.4. Nuevas tecnologías de video-inteligente para proteger a los trabajadores	38
2.2.5. Enfoque holónico de la gestión de la construcción.....	40
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA E HIPÓTESIS	42
4. METODOLOGÍA	43
4.1. Estudio en terreno	43
4.2. Diseño del experimento comparativo	43
4.3. Recolección y análisis de datos	45
4.4. Evaluación y conclusiones	46
5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ANALIZADO	47
5.1. Antecedentes generales de la obra en estudio	47
5.1.1. Procesos de la secuencia constructiva.....	48
5.1.2. Planificación de obra y cadena de información	49
5.1.3. El montaje estructural en acero	49
5.2. Zona de trabajo del proceso de montaje de costaneras.....	51

5.3.	Suministros del proceso	52
5.3.1.	Costaneras y colgadores.....	52
5.3.2.	Pernos y herramientas manuales.....	53
5.4.	Maquinaria utilizada por el proceso	53
5.5.	Principales tareas del proceso	54
5.6.	Relación entre las actividades del proceso	59
5.6.1.	Diagrama de flujo del montaje de costaneras.....	59
5.6.2.	Diferencia entre montaje de costaneras en tierra y en altura	60
5.7.	El montaje de costaneras en el contexto global de la obra	61
5.7.1.	Principales variables del sistema conformado por la obra gruesa.....	61
5.7.2.	El montaje de costaneras como parte de un sistema mayor	61
5.7.3.	Influencia del montaje de costaneras sobre la obra global	65
6.	SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y REGISTRO DE ACTIVIDADES.....	67
6.1.	Sistema implementado	67
6.2.	Equipos utilizados y ubicación en obra.....	68
6.3.	Consideraciones del sistema de observación	70
7.	RECOLECCIÓN DE DATOS DE TERRENO	71
7.1.	Tareas identificadas y categorización.....	71
7.1.1.	Tareas que agregan valor y contributivas.....	72
7.1.2.	Tareas inefectivas, ineficientes y no productivas.....	72
7.1.3.	Actividades personales.....	73
7.2.	Registro visual de actividad en terreno.....	73
7.3.	Registro de datos	74
7.3.1.	Criterios de inclusión	74
7.3.2.	Criterios de exclusión	74
7.3.3.	Criterios generales	75
7.4.	Periodo de observación y registro	75
8.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	76
8.1.	Resultados estudio inicial	76
8.1.1.	Uso del tiempo por el proceso durante el registro inicial	76
8.1.2.	Uso del recurso laboral por el proceso durante el registro inicial	79
8.1.3.	Costos monetarios del proceso durante el registro inicial.....	83
8.2.	Diagrama causa-efecto	88
8.3.	Cambio en la logística del suministro	89
8.4.	Análisis comparativo.....	90
8.4.1.	Resultado comparativo de uso del tiempo por el proceso	91
8.4.2.	Resultado comparativo de uso del recurso laboral por el proceso	98
8.4.3.	Análisis comparativo de costo monetario del proceso.....	105
8.5.	Resumen y discusión de resultados.....	111
8.5.1.	Estudio inicial y cambio de gestión implementado	111
8.5.2.	Estudio posterior al cambio y comparación a la situación inicial	112
8.5.3.	Efectos cualitativos del cambio implementado	114
9.	CONCLUSIONES	115
9.1.	Revisiones generales en torno al experimento.....	115

9.2.	Evaluación de 1° hipótesis	116
9.3.	Evaluación de 2° hipótesis	117
9.4.	Experiencia adquirida	117
9.5.	Recomendaciones para futuras investigaciones	118
10.	REFERENCIAS.....	120
11.	ANEXOS	124
A.	Equipos utilizados	124
B.	Complemento de resultado comparativo	126
B.1.	Tiempo	126
B.2.	Recursos laborales.....	130
B.3.	Costos monetarios.....	136
C.	Planillas de registro de datos de terreno	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Evolución de la productividad por sectores económicos en Chile (UAI-CORFO, 2013).....	13
Figura 2.2.	Relación entre eficiencia, efectividad y productividad	14
Figura 2.3.	Factores con incidencias negativas sobre la productividad en proyectos de construcción	15
Figura 2.4.	Ciclo del mejoramiento de la productividad	15
Figura 2.5.	Modelo inclusivo del proceso de la construcción (Zhang et al. 2005).....	18
Figura 2.6.	Configuración genérica de una cadena de suministro (basado en Vrijhoef y Koskela, 2000)	23
Figura 2.7.	Los cuatro roles de la SCM en la construcción (Koskela y Vrijhoef, 2000)	24
Figura 2.8.	Elementos de la Gestión de la Calidad Total (Arditi y Gunaydin, 1997)	27
Figura 2.9.	Relación entre los clientes en la construcción (Arditi y Gunaydin, 1997).....	27
Figura 2.10.	Distribución normal para variable de control de un proceso o producto	29
Figura 2.11.	Variación de la media para la variable de control del proceso en 1,5 sigmas	29
Figura 2.12.	Principales razones de fracaso de un proyecto (Agustiady, 2014)	31
Figura 2.13.	Etiqueta RFID pasiva	32
Figura 2.14.	Costos totales relacionados a la calidad. Elaboración propia a partir de Rosenfeld (2009)	36
Figura 2.15.	Sistema de alerta de seguridad en tiempo real mediante uso de IoT	37
Figura 2.16.	Principales componentes de un sensor Kinect.....	38
Figura 2.17.	Trabajadores de diferentes disciplinas detectados por Kinect (Weerasinghe et al. 2012)	39
Figura 2.18.	Arquitectura holónica para vincular la planificación y monitoreo de procesos	40
Figura 4.1.	Estrategia del experimento comparativo.....	44
Figura 5.1.	Terreno de obra de estudio.....	47
Figura 5.2.	Secuencia constructiva básica de la obra en estudio.....	48
Figura 5.3.	Cadena de información para la obra en estudio.....	49
Figura 5.4.	Cadena de suministro de perfiles de acero	50
Figura 5.5.	Zona de trabajo típica para montaje de costaneras. Montaje de costaneras a nivel de suelo	51
Figura 5.6.	Suministro de materiales más relevantes del proceso de montaje de costaneras	52
Figura 5.7.	Maquinaria utilizada en el proceso de montaje de costanera	53
Figura 5.8.	Tarea: Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras	54
Figura 5.9.	Tarea: Ajustar eslinga de carga en costanera	55
Figura 5.10.	Tarea: Instalar cuerda guía	55
Figura 5.11.	Tarea: Elevar y descargar costanera sobre par de vigas.....	56
Figura 5.12.	Tarea: Guiar elevación y descarga con cuerda guía	56
Figura 5.13.	Tarea: Sujetar costanera en suspensión	57
Figura 5.14.	Tarea: Retirar cuerda guía	57
Figura 5.15.	Tarea: Apernar extremo de costanera en viga	58
Figura 5.16.	Tarea: Apernar colgadores entre costaneras	58
Figura 5.17.	Tarea: Desconectar eslinga de carga en costanera	59

Figura 5.18. Diagrama de flujo del proceso de montaje de costaneras para la obra en estudio	60
Figura 5.19. Productos de los procesos de montaje estructural para cubierta.....	62
Figura 5.20. Productos de los procesos de montaje estructural para revestimiento	63
Figura 5.21. Relación de dependencia entre los procesos del montaje estructural – Con izaje de techo	64
Figura 5.22. Relación de dependencia entre los procesos del montaje estructural – Sin izaje de techo	64
Figura 6.1. Esquema en planta de ubicación en obra de cámaras de video	68
Figura 6.2. Dispositivos utilizados en la ubicación 1 para el sistema de observación	69
Figura 6.3. Dispositivos utilizados en la ubicación 2 para el sistema de observación	69
Figura 7.1. Ejemplo del registro visual obtenido mediante el sistema de observación empleado en obra	73
Figura 8.1. Tiempo por ciclo trabajado por categoría – Registro inicial.....	77
Figura 8.2. Uso del tiempo por tareas inefectivas – Registro inicial	77
Figura 8.3. Uso del tiempo por tareas no productivas – Registro inicial.....	78
Figura 8.4. Magnitud del recurso laboral utilizado por ciclo en categoría de trabajo – Registro inicial.....	80
Figura 8.5. Proporción de utilización del recurso laboral por categoría de trabajo – Registro inicial.....	80
Figura 8.6. Utilización del recurso horas-hombre por tareas inefectivas – Registro inicial	81
Figura 8.7. Utilización del recurso horas-hombre por tareas no productivas – Registro inicial.....	82
Figura 8.8. Utilización del recurso horas-máquina por tareas no productivas – Registro inicial	82
Figura 8.9. Proporción de utilización del recurso laboral por tarea no productiva – Registro inicial	83
Figura 8.10. Costo monetario por ciclo según categoría de trabajo y recurso utilizado – Registro inicial	85
Figura 8.11. Distribución del recurso monetario por categoría de trabajo – Registro inicial	86
Figura 8.12. Costo monetario de tareas inefectivas – Registro inicial.....	86
Figura 8.13. Costo monetario de tareas no productivas por recurso laboral – Registro inicial	87
Figura 8.14. Uso del recurso monetario por tarea no productiva y recurso laboral – Registro inicial.....	88
Figura 8.15. Diagrama causa-efecto de pérdidas productivas del montaje de costaneras para obra en estudio	88
Figura 8.16. Resultado comparativo, según categoría, de tiempo por ciclo trabajado.....	91
Figura 8.17. Izaje de sección de techo desarrollado en obra en estudio	92
Figura 8.18. Resultado comparativo, según categoría, de horas-hombre por tareas inefectivas	93
Figura 8.19. Avance de hormigonado como limitante de espacio disponible para descargas.....	93
Figura 8.20. Acercamiento de costaneras a zona de trabajo con ayuda de camión pluma	94
Figura 8.21. Resultado comparativo de uso de tiempo por tareas no productivas	95
Figura 8.22. División de la cuadrilla al realizar montaje de costaneras en altura	96
Figura 8.23. Interrupción del proceso por descarga de suministro proveniente de maestranza.....	96
Figura 8.24. Resultado comparativo, según categoría, de horas-hombre por ciclo trabajado	99
Figura 8.25. Resultado comparativo, según categoría, de horas-máquina por ciclo trabajado	99
Figura 8.26. Resultado comparativo de utilización del recurso laboral por categoría de trabajo.....	100
Figura 8.27. Resultado comparativo de uso de horas-hombre por tareas inefectivas	101
Figura 8.28. Resultado comparativo de uso de horas-máquina por tareas inefectivas.....	101
Figura 8.29. Resultado comparativo de utilización del recurso laboral por tarea inefectiva.....	102
Figura 8.30. Resultado comparativo de uso de horas-hombre por tareas no productivas.....	103
Figura 8.31. Resultado comparativo de uso de horas-máquina por tareas no productivas	104
Figura 8.32. Resultado comparativo de utilización del recurso laboral por tarea no productiva	104
Figura 8.33. Resultado comparativo de costo monetario por ciclo según categoría de trabajo y recurso	106
Figura 8.34. Resultado comparativo de distribución del recurso monetario por categoría de trabajo	107
Figura 8.35. Resultado comparativo de costo monetario de tareas inefectivas por recurso utilizado	107
Figura 8.36. Resultado comparativo de distribución del recurso monetario por tarea inefectiva	108
Figura 8.37. Resultado comparativo de costo monetario de tareas no productivas por recurso utilizado	109
Figura 8.38. Resultado comparativo de distribución del recurso monetario por tarea no productiva	110
Figura B.1. Resultado comparativo de uso de tiempo por tareas que agregan valor	126
Figura B.2. Resultado comparativo de ciclos de ocurrencia de tareas contributivas	127
Figura B.3. Resultado comparativo de uso de tiempo por ciclo en tareas contributivas	128
Figura B.4. Resultado comparativo de duración promedio de tareas contributivas	128
Figura B.5. Resultado comparativo de uso de horas-hombre por tareas que agregan valor.....	130
Figura B.6. Resultado comparativo de uso de horas-máquina por tareas que agregan valor	131
Figura B.7. Resultado comparativo de uso de horas-hombre por ciclo en tareas contributivas	131
Figura B.8. Resultado comparativo de uso promedio de horas-hombre por tareas contributivas	132
Figura B.9. Resultado comparativo de cantidad de trabajadores desarrollando tareas contributivas	132
Figura B.10. Resultado comparativo de uso de horas-máquina por ciclo en tareas contributivas.....	133
Figura B.11. Resultado comparativo de uso promedio de horas-máquina por tareas contributivas.....	133
Figura B.12. Resultado comparativo de costo monetario de tareas que agregan valor por recurso utilizado	136
Figura B.13. Resultado comparativo de costo monetario de tareas contributivas. Tarea 4 a 7	137
Figura B.14. Resultado comparativo de costo monetario de tareas contributivas. Tarea 8 a 11	137
Figura B.15. Resultado comparativo de costo monetario de tareas contributivas. Tarea 12 y 13	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Comparación entre planificación convencional y enfoque Lean (Campero y Alarcón, 2008)	16
Tabla 2.2. Principios básicos de Lean Construction propuestos por Koskela	17
Tabla 2.3. Clasificación del uso del tiempo de trabajo (Bernold y AbouRizk, 2011)	19
Tabla 2.4. Deficiencias en la calidad de la logística.....	21
Tabla 2.5. Tópicos de interés de la SCM de acuerdo a Lin y Shaw (1998, en Vrijhoef y Koskela, 1999)	25
Tabla 2.6. Requisitos de los principales actores de la construcción. Arditi y Gunaydin (1997)	26
Tabla 2.7. Pasos de la estrategia DMAIC	30
Tabla 4.1. Planilla tipo de recolección de datos del estudio	45
Tabla 7.1. Categorización de tareas identificadas en el proceso de montaje de costaneras	71
Tabla 7.2. Ejemplo de registro de datos del montaje de costaneras.....	74
Tabla 8.1. Costo monetario mensual promedio por trabajador para empresa constructora en Chile (INE)	84
Tabla 8.2. Grupo ocupacional de trabajadores del montaje de costaneras de acuerdo a actividad realizada	85
Tabla 8.3. Resultados relevantes del análisis comparativo de los desperdicios productivos	112
Tabla A.1. Especificaciones técnicas de equipos que conformaron el sistema de observación empleado en obra	124
Tabla B.1. Resultados del experimento comparativo en términos de tiempo.....	129
Tabla B.2. Resultados del experimento comparativo en términos de uso de mano de obra	134
Tabla B.3. Resultados del experimento comparativo en términos de uso de maquinaria.....	135
Tabla B.4. Resultados del experimento comparativo en términos de costo monetario de la mano de obra	139
Tabla B.5. Resultados del experimento comparativo en términos de costo monetario del camión pluma	140
Tabla B.6. Resultados del experimento comparativo en términos de costo monetario total.....	141
Tabla C.1. Estudio inicial: Planilla de registro de tareas día miércoles 1 de Julio de 2015 – Parte 1 de 5.....	143
Tabla C.2. Estudio inicial: Planilla de registro de tareas día miércoles 1 de Julio de 2015 – Parte 2 de 5.....	144
Tabla C.3. Estudio inicial: Planilla de registro de tareas día miércoles 1 de Julio de 2015 – Parte 3 de 5.....	145
Tabla C.4. Estudio inicial: Planilla de registro de tareas día miércoles 1 de Julio de 2015 – Parte 4 de 5.....	146
Tabla C.5. Estudio inicial: Planilla de registro de tareas día miércoles 1 de Julio de 2015 – Parte 5 de 5.....	147
Tabla C.6. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 1 de 7	148
Tabla C.7. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 2 de 7	149
Tabla C.8. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 3 de 7	150
Tabla C.9. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 4 de 7	151
Tabla C.10. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 5 de 7	152
Tabla C.11. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 6 de 7	153
Tabla C.12. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 7 de 7	154

1. INTRODUCCIÓN

La Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC) determinó, en base a mediciones realizadas en obras de edificación, que en Chile el 20% del tiempo destinado a una obra de construcción se desperdicia en actividades no productivas que no agregan valor ni contribuyen al avance (CDT, 2013). Fuera del estudio anterior, en general se carece de investigaciones y conocimientos detallados en torno a los desperdicios productivos de los procesos constructivos que dan forma a los diversos tipos de obras civiles, lo cual limita el entendimiento de sus causas y efectos, e impide la formulación e implementación de mejoras.

El concepto de desperdicios productivos, mencionado anteriormente, se remonta a la filosofía de gestión y prácticas de producción denominada Sistema de Producción de Toyota o TPS por su sigla en inglés. La TPS es precursora del término más genérico utilizado actualmente: *Lean-Manufacturing* o Producción sin desperdicios. Se considera que el padre del Sistema de Producción de Toyota fue su Ingeniero en Jefe Taiichi Ohno, quien lo desarrolló en conjunto con Eiji Toyoda entre 1948 y 1975, identificando los conocidos siete *Muda-Waste* en los procesos de manufactura automotriz (Ohno, 1988), los cuales pueden ser adaptados a cualquier proceso de producción. La existencia de *Muda-Waste* tiene implícito el uso de diversos recursos en actividades (Botero y Álvarez, 2003), por lo que es claro el efecto negativo que tiene su existencia para la productividad de los procesos.

Los siete *Muda-Waste* de Taiichi Ohno son: (1) Sobreproducción, (2) exceso de inventario, (3) movimientos innecesarios, (4) pérdida de tiempo en esperas, (5) transporte innecesario, (6) procesamiento ineficiente y (7) defectos y daños en productos. La filosofía detrás del planteamiento de Taiichi Ohno es que, eliminando o al menos reduciendo aquellos elementos considerados *residuos* que no añaden valor al producto final, se mejora la calidad, se reduce el tiempo de producción y también se reducen los costos, de esta forma se maximiza la productividad y aumenta la rentabilidad del negocio.

Considerando las variables que actúan en los procesos de la construcción y basado en los principios de *Muda-Waste* propuestos por Taiichi Ohno, Lauri Koskela, Ingeniero Civil, profesor universitario y Consultor del Laboratorio de Construcción VTT de Finlandia, introdujo en 1992 una filosofía de producción aplicada a la construcción (Koskela, 1992) que, reconociendo sus orígenes en el *Lean Manufacturing*, pasó a ser llamada *Lean Construction*.

De acuerdo a Koskela, la filosofía *Lean Construction* busca, mediante un proceso de control y mejora continua, la eliminación o al menos reducción de todo desperdicio o práctica

improductiva, a través de la optimización de los recursos y la maximización de la entrega de valor al cliente (Gao y Low, 2014). Con esto se busca obtener como resultado, dentro de un marco ecológico con el entorno, una reducción de los costos monetarios y los tiempos de entrega al cliente, mejorando la calidad de la construcción sin afectar la seguridad de sus trabajadores.

Mediante investigaciones, diversos autores han identificado, en términos generales, algunos factores que no agregan valor dentro de los procesos constructivos, y por lo tanto contribuyen a la existencia de pérdidas productivas. Algunos de estos factores son (1) los residuos de materiales, (2) productos con defectos, (3) polvo, (4) humo, (5) ruido excesivo, (6) esperas, (7) corregir errores, (8) rehacer tareas, (9) falta de suministro, (10) búsqueda de materiales y herramientas, (11) transportes innecesarios, entre otros.

Naturalmente como en cualquier negocio, para las empresas constructoras es relevante incrementar la productividad, pues les significa una disminución del desperdicio de recursos humanos y materiales, reducción de costos monetarios, una disminución del tiempo necesario para el desarrollo de la obra y un mejoramiento general de su desempeño, facilitando el cumplimiento de los plazos establecidos. Estos factores son claves para mejorar la posición de la empresa frente a la competencia, sin embargo, para lograr este cometido, es necesario realizar mejoras, las cuales no pueden alcanzarse sin un control de los procesos constructivos llevado a cabo mediante mediciones en terreno (CDT, 2013).

1.1. Alcances del estudio

Esta memoria de título se enfoca en ampliar y mejorar el estado del conocimiento científico con respecto a los desperdicios productivos en la construcción. Para esto, se realizó un experimento comparativo, en particular, en torno al proceso de montaje en acero estructural de costaneras, para una obra de tipo industrial de aproximadamente 13.000 m² de emplazamiento, en el cual se identificaron las causas y efectos de sus pérdidas de eficiencia productiva. La elección de este proceso como objeto de estudio obedece, por un lado, a la experiencia previa acumulada por el autor de esta investigación durante una práctica profesional, instancia en donde se pudieron identificar y conocer a fondo las principales tareas, recursos involucrados y la cadena de suministro del proceso mencionado, así como también observar en terreno la existencia de pérdidas productivas, mas no cuantificarlas. Por otro lado, el considerable número de costaneras por montar, cercano a las 500 unidades, daba cuenta de una partida constructiva de larga duración, lo que hacía del proceso mencionado una actividad idónea en donde aplicar completamente la metodología del experimento comparativo.

El eje central de este experimento comparativo es la implementación de un cambio específico en la gestión del suministro de perfiles de acero, basado en las causas de los

desperdicios productivos identificados, orientando su planificación en torno al desarrollo de la obra, y la verificación de sus efectos sobre el desempeño del proceso.

Para obtener mediciones del desempeño en terreno en las diversas tareas del proceso constructivo mencionado, se utilizó un sistema de observación y registro visual en base a cámaras de video posicionadas estratégicamente dentro de los límites de la zona de obra, el que permitió la captura de datos sobre el uso de tiempo y recursos laborales por cada tarea. Cualquier actividad registrada por el sistema de observación que no perteneciera al montaje de costaneras no se ha incluido dentro del estudio. De esta forma, los datos obtenidos representan la realidad aislada del proceso de montaje de costaneras, salvo que existan interferencias externas al proceso que produzcan pérdidas productivas en él.

1.2. Estructura de la tesis

En esta investigación se estudia el efecto que tiene la planificación del suministro de perfiles de acero sobre el proceso de montaje estructural de costaneras en terreno. La organización del presente documento incluye un primer capítulo introductorio, en donde se exponen los alcances de esta investigación. El segundo capítulo consiste en una revisión de literatura, en donde se repasarán los conceptos fundamentales relacionados con el tema en estudio y se explorará el estado del arte, resumiendo algunos de los avances más recientes en torno a la gestión de la construcción. En el tercer capítulo se planteará el problema que enmarca esta investigación y las hipótesis del estudio. En el cuarto capítulo se explica la metodología a emplear para probar la validez de las hipótesis mencionadas anteriormente. En el quinto capítulo se entregarán antecedentes generales de la obra de construcción a analizar y se describirá el proceso constructivo particular a estudiar, identificando sus principales tareas y recursos utilizados. En el sexto capítulo se presentará el sistema de observación empleado para el registro de las actividades que componen al proceso escogido, detallando los equipos utilizados y su ubicación en obra. En el séptimo capítulo se expondrán los datos que fueron registrados en terreno en pos de comprobar las hipótesis planteadas, detallando la clasificación efectuada a las tareas identificadas. En el octavo capítulo se analizan los resultados obtenidos del procesamiento de datos adquiridos en terreno durante el experimento comparativo, detallando el cambio realizado en torno a la planificación del suministro. En el noveno capítulo se concluye con respecto a la validez de las hipótesis planteadas y el conocimiento adquirido mediante esta investigación, entregando recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas a la gestión de los procesos de la construcción. En el capítulo 10 se incluyen las referencias utilizadas para la elaboración de esta memoria. Finalmente, en el capítulo 11 de anexos, se entrega información complementaria con respecto al sistema de observación empleado, así como también las mediciones efectuadas a las tareas productivas del proceso y los registros de tiempo y recurso laboral utilizado por tarea durante ambos periodos de estudio.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El propósito de este capítulo es entregar una breve recapitulación de la teoría, el estado del arte y el conocimiento científico en el que se enmarca el estudio realizado, con el objetivo de lograr una comprensión holística del problema abordado.

2.1. Marco teórico

En esta sección se desarrollan los conceptos de productividad, planificación y desperdicios productivos, en donde se reconocerán los problemas particulares de la industria de la construcción y la necesidad del mejoramiento continuo de sus procesos. Luego se repasan aspectos concernientes a la interacción entre los actores de esta industria, tales como la logística, la cadena de suministro y la calidad. Finalmente, se hace una breve revisión de la comunicación y traspaso de información en la construcción, reconociéndolos como aspectos fundamentales para completar con éxito un proyecto.

2.1.1. Planificación y productividad: Indicadores de eficiencia

La industria de la construcción es un sector productivo con gran importancia en el desarrollo económico y social del país, al ser un motor de progreso y una fuente permanente de trabajo. A pesar de esto, posee un bajo grado de desarrollo en comparación a otras industrias, caracterizándose por sus grandes deficiencias y la falta de efectividad (Botero y Álvarez, 2004).

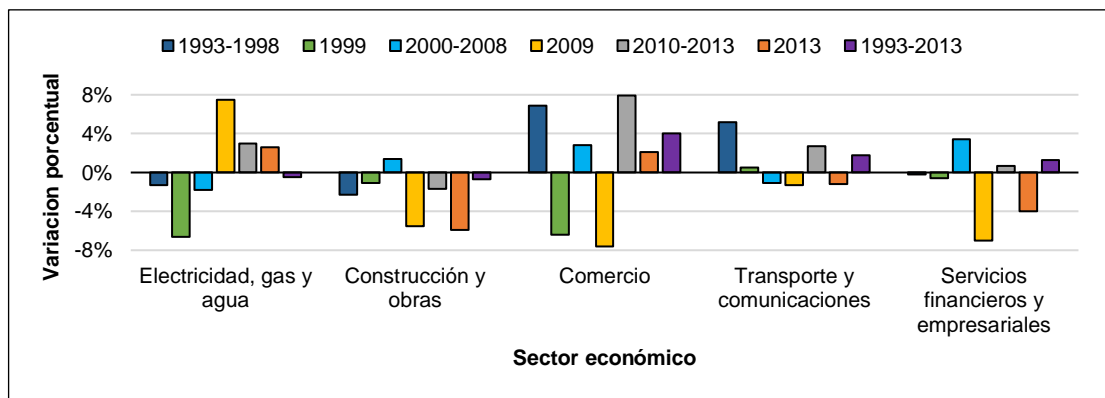


Figura 2.1. Evolución de la productividad por sectores económicos en Chile (UAI-CORFO, 2013)

De acuerdo al Boletín Trimestral correspondiente al año 2013, realizado por CORFO y la Universidad Adolfo Ibáñez, durante el año 2013 la productividad en la construcción se contrajo en 5.9%, 1.7% entre 2010 y 2013 y 0.7% en el periodo 1993-2013. En la Figura 2.1

se entrega la situación de productividad de los principales sectores económicos chilenos, observándose que la construcción en general presenta decrecimientos en su productividad.

2.1.1.1. El concepto de productividad

En términos generales, productividad es un concepto que relaciona las “entradas” con las “salidas” de un sistema productivo, sirviendo como índice de su eficiencia. De forma matemática, la productividad en la construcción se suele representar de la siguiente manera:

$$\text{Productividad (P)} = \frac{\text{Objeto de salida [m}^2, \text{m}^3, \text{kg, etc.]}}{\text{Costos y/o recursos [Horas-Hombre, Horas-Máquina, materiales, etc.]}} \quad \text{Ec. 1}$$

Una definición matemática formal dependerá entonces específicamente de los objetos de salida estudiados y sus costos y/o recursos involucrados.

Serpell (1999, citado en Botero y Álvarez, 2004) define conceptualmente a la productividad en la construcción como la medición de la eficiencia con la que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado. En base a esto, Botero y Álvarez (2004) determinaron que la productividad comprende tanto eficiencia como eficacia en relación a la utilización de los recursos y el logro de las metas. Esta relación se presenta en la Figura 2.2.

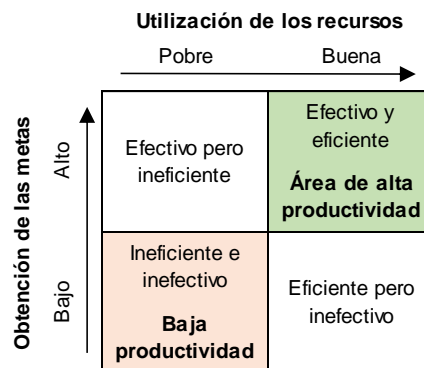


Figura 2.2. Relación entre eficiencia, efectividad y productividad

De la figura anterior se desprende que, para obtener una alta productividad, no sólo se debe pensar en el cumplimiento de objetivos en el menor tiempo posible, sino que también en optimizar la utilización de recursos, lo cual resultará en una reducción de los costos.

2.1.1.2. Factores que afectan la productividad en la construcción

La productividad en la construcción se ve afectada por un gran número de problemas, incluyendo calidad de las herramientas, disponibilidad de información

actualizada, mala planificación, entre otros. La Figura 2.3 muestra factores con incidencias negativas sobre la productividad en proyectos de construcción, identificados por diversos autores.

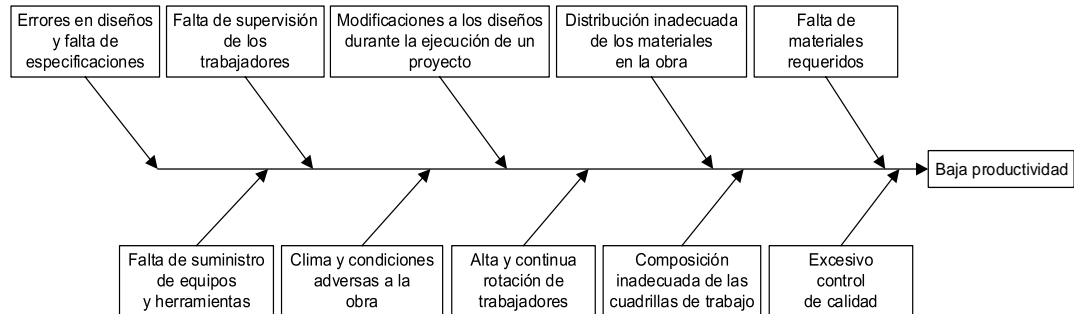


Figura 2.3. Factores con incidencias negativas sobre la productividad en proyectos de construcción

Considerando lo anterior, Botero y Álvarez (2004) han propuesto un programa genérico de mejoramiento de la productividad, el cual se conforma de un ciclo con las cuatro fases expuestas en la Figura 2.4.

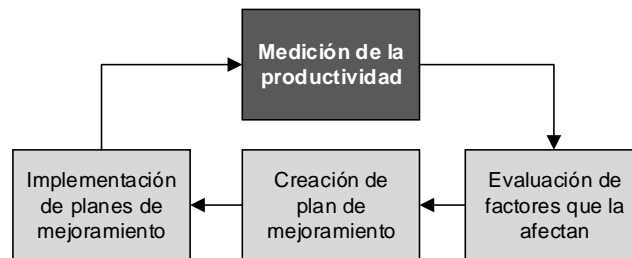


Figura 2.4. Ciclo del mejoramiento de la productividad

El mejoramiento continuo implica la realización de las siguientes actividades: (1) Medición de la productividad, realizada mediante la toma de datos y su posterior procesamiento y análisis estadístico. (2) Evaluación de la productividad, diagnosticando la situación en obra. (3) Creación de un plan de acción en base a las alternativas disponibles para mejoramiento. (4) Implementación del plan de mejoramiento junto a un plan de control.

2.1.1.3. El impacto de los métodos de planificación en la actualidad

Dentro de los métodos de planificación utilizados comúnmente en proyectos de construcción, y que frecuentan la literatura, los más comunes son (1) la carta Gantt, (2) el método de la ruta crítica o CPM y (3) las redes PERT. Estos métodos buscan representar visualmente la configuración de actividades dentro de un proyecto (Plotnick y O'Brien, 2009). El método de la Carta Gantt, desarrollado en 1910 por Henry Gantt, fue uno de los primeros intentos de formalizar la gestión de proyectos, sin embargo, no era capaz de mostrar explícitamente las relaciones de dependencia entre actividades. Para mitigar estos

problemas, se crearon los métodos PERT (1958) y CPM (1960) basados en la teoría de grafos, en los cuales era posible representar visualmente la relación entre actividades y, calcular la duración de un proyecto en forma probabilística (PERT) o determinística (CPM).

El valor de CPM en la actualidad se ve reflejado en la existencia de programas informáticos de común uso en la planificación de proyectos, como por ejemplo Microsoft Project, para los cuales el desarrollo de CPM fue clave y pasó a ser un componente integral.

2.1.1.4. Filosofía de planificación típica en la construcción

De acuerdo a Ballard (González, 2012), el modelo tradicional de planificación en la construcción se basa principalmente en la experiencia del administrador; transferir informaciones comúnmente en forma verbal, la falta de seguimiento y control del desempeño de las cuadrillas, un enorme nivel de incertidumbre que dificulta la planificación a largo plazo y el poco interés en implementar nuevas técnicas de planificación.

Campero y Alarcón (2008) extienden las características de la planificación tradicional en la construcción y la comparan con una planificación enfocada en pérdidas productivas, lo cual se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Comparación entre planificación convencional y enfoque Lean (Campero y Alarcón, 2008)

	Planificación convencional	Planificación sin pérdidas
Objeto	Afecta a productos y servicios	Afecta a todas las actividades de la empresa
Alcance	Actividades de control	Gestión, asesoramiento y control
Modo de aplicación	Impuesta por la dirección	Por convencimiento y participación
Metodología	Detectar y corregir	Prevenir
Responsabilidad	Departamento de calidad	Todos los miembros de la empresa
Clientes	Ajenos a la empresa	Internos y externos a la empresa
Conceptualización de la producción	La producción se basa en actividades de conversión todas ellas añaden valor al producto	La producción consiste en actividades de conversión y flujos: hay actividades que agregan valor y actividades que no agregan valor al producto
Control	Costo de las actividades	Dirigido hacia el costo, tiempo y valor de los flujos
Mejoramiento	Implementación de nueva tecnología	Reducción de las tareas de flujo y aumento de la eficiencia del proceso con mejoras continuas y tecnología

2.1.2. Identificación y reducción de los desperdicios productivos en la construcción

Desperdicio en términos productivos es cualquier cosa que no añade valor desde la perspectiva del cliente o provoca consumos mayores de lo necesario. Tersine (2004) define, en resumen, a los desperdicios como aquellos elementos indeseables que consumen tiempo, dinero y recursos sin añadir valor.

2.1.2.1. Características únicas de la industria de la construcción

El sector de la construcción presenta características únicas que explican, mas no justifican, el grado de desarrollo en que se encuentra (Botero y Álvarez, 2004). Los proyectos de construcción, a diferencia de la producción industrial, presentan una mayor dinámica y son influenciados por una serie de eventos e incertidumbres, como las condiciones climáticas, las características del terreno, los rendimientos de la mano de obra y las condiciones contractuales.

En relación a lo anterior, Koskela (1993, en Alarcón 1997) advierte que la eliminación de las peculiaridades de la construcción no es una solución en sí misma, sino que sólo lleva a esta industria al mismo nivel que la manufactura.

2.1.2.2. Enfoque en los desperdicios productivos: *Lean Construction*

El enfoque *Lean* establece que los sistemas de producción se componen de *transformaciones y flujos*. Mientras todas las actividades implican costos y consumen tiempo, solo las actividades de transformación añaden valor al producto (Koskela, 1993, en Alarcón 1997). De esta forma, el mejoramiento del proceso de producción debe consistir en eliminar o reducir las actividades de flujo, tales como inspecciones, esperas, transportes y movimientos innecesarios, los cuales no añaden valor y se consideran pérdidas, mientras se mejora la eficiencia de las actividades de transformación, que sí añaden valor.

Tabla 2.2. Principios básicos de Lean Construction propuestos por Koskela

Etapa			Criterio	Principios
Diseño Planificación Construcción	Mejorar procesos	1,	Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor	
		2,	Enfocar el control en el proceso completo, global	
		3,	Introducir el mejoramiento continuo de los procesos	
		4,	Realizar evaluaciones comparativas con otras empresas (<i>Benchmarking</i>)	
	Reducir pérdidas	5,	Reducir la proporción de actividades que no añaden valor	
		6,	Reducir la variabilidad, estandarizar	
		7,	Aumentar la flexibilidad de las "salidas", mayor versatilidad de los procesos	
		8,	Reducir los tiempos de ciclo, optimizar los tiempos	
		9,	Simplificar el proceso minimizando el número de pasos	
		10,	Aumentar la transparencia de los procesos, mejorar el control visual	
	Generar valor al cliente	11,	Aumentar el valor de la "salida" considerando los requisitos del cliente	

El modelo de producción propuesto por Koskela (1992) para la construcción, *Lean Construction*, integra los conceptos de actividades de transformación y de flujo con el concepto de generación de valor en once principios, mostrados en la Tabla 2.2.

De acuerdo a Woodruff (1997), el valor para el cliente es algo percibido por los clientes más que determinado objetivamente por un “vendedor”. Estas percepciones típicamente involucran un compromiso entre lo que recibe el cliente (calidad, beneficios, utilidades, atributos, rendimiento y consecuencias de uso) y lo que entrega a cambio (precio, tiempo, sacrificios). Por otro lado, Koskela (1992) afirma que el valor para el cliente en la construcción está determinado por qué tan bien los requisitos han sido convertidos en una solución de diseño, por el nivel de optimización de recursos logrado y por el impacto de los errores de diseño que son descubiertos durante la entrega y el uso.



Figura 2.5. Modelo inclusivo del proceso de la construcción (Zhang *et al.* 2005)

Salim y Bernold (1995, citado en Zhang *et al.*, 2005) extienden la visión de Koskela de la construcción como actividades de transformación, flujo y generación de valor en un modelo inclusivo del proceso de la construcción, considerando que tanto las actividades de transformación como de flujo son entradas y salidas de los procesos constructivos. Este modelo inclusivo, mostrado en la Figura 2.5, incorpora además las condiciones que son controlables por la gerencia y aquellas incontrolables, muchas de las cuales son características únicas de la construcción. Mientras que las “entradas” son

convertidas en “salidas” por el proceso, las condiciones cambiantes pueden afectar el rendimiento de los elementos del sistema. Desde un punto de vista operacional, el proceso es considerado dinámico debido a que tiene que adaptarse constantemente a las cambiantes condiciones “presentadas” por el ambiente o sus entradas.

2.1.2.3. Identificación y medición de las pérdidas productivas en la construcción

De acuerdo a las numerosas investigaciones realizadas en terreno (Ogelsby *et al.* 1989, citado en Zhang *et al.*, 2005), la principal fuente de baja productividad en la construcción se encuentra en el tiempo utilizado por los trabajadores en trabajo desperdiciado o esperas por los recursos requeridos.

Por otro lado, Tersine (2004) determinó que la reducción de desperdicios sólo puede tomar lugar después de que estos han sido identificados. De acuerdo a Alarcón (1993, citado en Botero y Álvarez, 2003), la identificación de pérdidas a través de sencillas técnicas, como muestreos de trabajo, ha sido utilizada como medida indirecta de la productividad, pues se asume que al reducir las pérdidas se incrementa la productividad.

Tabla 2.3. Clasificación del uso del tiempo de trabajo (Bernold y AbouRizk, 2011)

		Descripción	Tiempo de trabajo
Tiempo total	Tiempo base	Desarrollo plasmado en el producto final De importancia máxima para el proceso. Actividades críticas para lograr la realización del producto.	Añade Valor
		Desarrollo no plasmado en el producto final pero necesario para completar el proceso Complemento del trabajo que añade valor, enlaces entre actividades, necesidades de seguridad laboral, etc.	Contributivo
	Tiempo añadido	Trabajo en condiciones de proyecto adversas Condiciones de trabajo pobres debido al clima, comunicación, de terreno, cultura de gestión, etc.	Ineficiente - inefectivo
		Falta de habilidad, motivación o fatiga en el trabajo Trabajadores u operadores poco capacitados y retrasos debido a fatiga física o mental.	
		Corrección de entradas (<i>Inputs</i>) de baja calidad Materiales, herramientas, equipos, planos, realización de mantenciones, reparaciones, modificaciones, etc.	Improductivo
	Retrasos en la cadena de suministro Despacho de material incompleto, descargas no programadas, despachos no constantes, corte en el suministro, etc.		
	Recuperación de errores que son evitables Equivocaciones, accidentes, averías de equipos, incomunicación, etc.		
	Necesidades personales Idas al baño, comer, descansar, conversar, etc.	Personal	

El muestreo de trabajo consiste en numerosas observaciones cortas de la labor de los operarios en terreno, en conjunto con la medición del tiempo destinado a tres categorías de trabajo: (1) Productivo, destinado a añadir valor al producto; (2) contributivo, destinado a la realización de labores de apoyo necesarias para la realización del producto pero que no añaden valor y (3) no contributivo, tiempo perdido utilizado en cualquier otra actividad. Esta clasificación de los tiempos de trabajo ha sido extendida por Bernold y AbouRizk, al descomponer los tiempos no contributivos en tiempos de trabajo ineficiente-inefectivo, improductivo y tiempo personal. En la Tabla 2.3 se ha detallado la clasificación de los tiempos de trabajo antes expuesta.

Categorizar los tiempos de trabajo permite identificar las tareas que representan pérdidas productivas para el proceso. Además de los tiempos trabajados en las categorías antes expuestas, otras variables posibles de cuantificar en la construcción con respecto a las pérdidas productivas son el número de defectos, errores, omisiones de diseño, rehacer trabajos y cambios de órdenes; el consumo de materiales, los tiempos de ciclo y la variabilidad o número de desviaciones con respecto a la programación.

2.1.2.4. Fuentes de pérdidas productivas detectadas en terreno

Debido a la naturaleza dinámica del ambiente de la construcción, las funciones de control necesitan ser integradas en la planificación, la cual puede ser usada entonces como punto de comparación para identificar y corregir desviaciones del plan. De acuerdo al estudio realizado por Tersine (2004), los principales focos de atención al momento de implementar planes de reducción de las pérdidas productivas y mejoramiento continuo son (1) el tiempo de trabajo que no añade valor, (2) las actividades que no añaden valor y (3) la alta variabilidad dentro de los procesos.

- (1) Como regla, el tiempo es perdido debido a la serialización y falta de sincronización de actividades independientes (programación deficiente), la producción de objetos que son rechazados o vueltos a producir (calidad deficiente) o flujos de trabajo ineficientes.
- (2) Las actividades que no añaden valor no solo consumen recursos que pueden ser mejor utilizados para crear valor, sino que también desperdician tiempo. Sin embargo, algunas de las actividades que no añaden valor pueden ser necesarias para apoyar actividades que sí lo hacen.
- (3) Un proceso puede ser altamente variable debido al absentismo de personal, tiempos de inactividad de las máquinas, fluctuaciones en el desarrollo del proceso, problemas de calidad y otras condiciones particulares de la construcción.

2.1.3. Deficiencias en la logística y la gestión de la cadena de suministro

Forslund (2007) resume el concepto de logística como la gestión y control de flujos de materiales e información. En términos prácticos, la logística se encarga de asegurar la distribución de recursos a una cierta ubicación en un tiempo adecuado, manteniendo una alta calidad. Un claro ejemplo de utilización de una logística de alta calidad se dio durante la primera y segunda guerra mundial, en donde soldados, artillería y alimentos, junto a otros recursos militares, eran estratégicamente posicionados, en el momento adecuado, para permitir el avance seguro de las tropas.

Con el aumento, a nivel mundial, de la competitividad entre las empresas, la logística ha adquirido un rol protagónico y el concepto ha evolucionado hacia el término “Cadena Logística”, el cual, en el caso de la construcción, agrupa a todas aquellas actividades que permiten abastecer a una obra de los recursos necesarios para su ejecución, desde que se genera el requerimiento de compra hasta el “consumo” final.

2.1.3.1. Un enfoque holístico a las deficiencias de calidad en la logística

Una deficiencia de calidad para un producto se define como una desviación desde una especificación. Sin embargo, en el caso de la logística no puede esperarse que exista una especificación (Forslund, 2007). El modelo propuesto por Forslund (2007) para evaluar las deficiencias en la calidad de la logística requiere identificar y analizar las discrepancias, diferencias o *Gaps* entre “cliente” y “proveedor”.

De acuerdo al modelo de Forslund, las deficiencias en la calidad de la logística, se dividen en: (1) Externas, descubiertas después del despacho a un cliente externo, (2) Inter-organizacionales, entre el cliente y el proveedor y (3) Internas, descubiertas antes del despacho a un cliente externo. Estas deficiencias se detallan en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Deficiencias en la calidad de la logística

Deficiencia	Descripción
Externa	Es la discrepancia entre la calidad de la logística <i>esperada por el cliente</i> y la calidad <i>percibida por el cliente</i> respecto de la logística efectivamente desempeñada. En palabras más simples, las deficiencias externas son <i>aquellas cosas que debieron ser logradas y no lo fueron</i> .
Inter-organizacional	Las deficiencias de interpretación inter-organizacional son aquellas en donde la gestión no puede definir correctamente la calidad en la logística esperada por el cliente. Por otro lado, las deficiencias de percepción inter-organizacional se definen operacionalmente como la discrepancia entre el desempeño en la calidad de la logística como es <i>percibida por el cliente</i> y como es <i>percibida por el proveedor</i> .
Interna	Las deficiencias internas se definen operacionalmente como la discrepancia o diferencia entre la calidad de la logística <i>buscada por el proveedor</i> y la calidad <i>percibida por el proveedor</i> respecto a la logística efectivamente desempeñada.

En el caso de la construcción los roles de “proveedor” y “cliente” se van alternando durante el desarrollo de los distintos procesos de la cadena logística.

2.1.3.2. El concepto de cadena de suministro en la industria

Una cadena de suministro se define como un set de actividades que abarcan funciones desde el orden y recibo de materiales en bruto hasta la manufactura de productos, a través del seguimiento, distribución y despacho al cliente. De acuerdo a Xu (2011), estas actividades están asociadas a un flujo de materiales e información, por lo que se relaciona directamente con el área de la logística, siendo una aplicación de esta para la industria.

Las cadenas de suministro son sistemas complejos y costosos, donde los riesgos de una mala gestión son relativamente altos (Marsillac y Roh, 2014). La cadena de suministro debe satisfacer las necesidades del consumidor y por lo tanto su diseño debe estar basado en las características del producto que representan estas necesidades. Dado que las necesidades de productos por parte del consumidor varían a lo largo del proceso de suministro, la cadena debe ser capaz de adaptarse flexiblemente para satisfacer aquellas necesidades cambiantes al ritmo requerido.

2.1.3.3. La cadena de suministro en proyectos de construcción

Una red de suministro típica en la construcción tiene al contratista principal al centro, con conexiones al cliente, las principales agencias de suministro y los arquitectos e ingenieros, además de servicios especialistas, todos los cuales son provistos externamente (Dainty *et al.* 2001).

Wang *et al.* (2007) concuerda con Forslund (2007) en cuanto, desde el punto de vista de la empresa constructora o contratista principal, la cadena de suministro en la construcción se divide en interna y externa. La cadena interna corresponde a la red entre la oficina central, la oficina en terreno y el trabajo en obra. Por otro lado, la cadena externa se divide a su vez en cadena superior e inferior. La cadena de suministro externa superior incluye entes reguladores, arquitectos, diseñadores, consultores y el dueño, mientras que la cadena de suministro externa inferior corresponde principalmente a los subcontratistas y proveedores de materiales, equipos y herramientas.

2.1.3.4. Modelo de configuración de una cadena de suministro en la manufactura

La Gestión de la Cadena de Suministro (SCM por la sigla en inglés de *Supply Chain Management*) es un conjunto de actividades sincronizadas destinadas a integrar proveedores, fabricantes, transportistas y clientes de forma eficiente, para que el producto o servicio sea entregado en una cantidad y tiempo correctos al lugar correcto.

La SCM planteada para la manufactura mira a través de la cadena de suministro completa en lugar de solo a la siguiente entidad o nivel. Apunta a aumentar la transparencia y el alineamiento de la coordinación y configuración de las cadenas de suministro, independientemente de los límites funcionales o corporativos (Cooper y Ellram 1993, citados en Vrijhoef y Koskela, 2000).

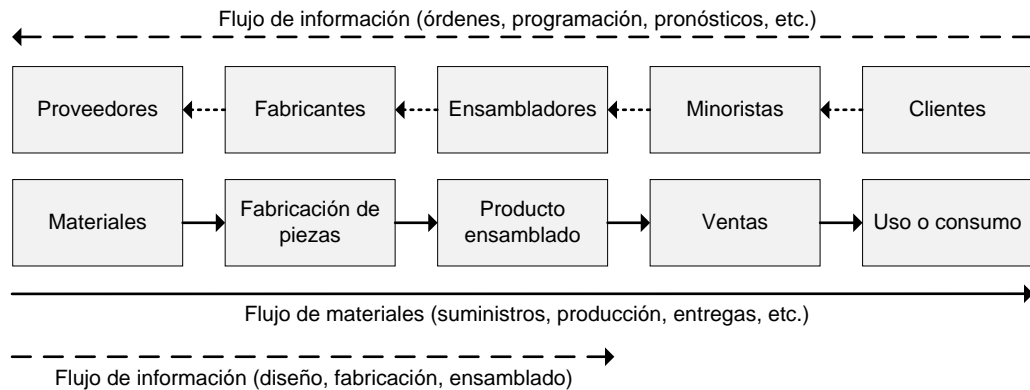


Figura 2.6. Configuración genérica de una cadena de suministro (basado en Vrijhoef y Koskela, 2000)

La configuración genérica de una cadena de suministro en la manufactura y su relación con los flujos de materiales e información se muestra en la Figura 2.6. Mientras el flujo de materiales tiene un sentido determinado según la producción, el flujo de información, a gran escala, tiene un sentido inverso, en cuanto los requisitos del cliente deben llegar hasta los proveedores.

2.1.3.5. Enfoques de gestión de la cadena de suministro en la construcción

Dependiendo de si el enfoque está en la cadena misma, el terreno de construcción o ambos, Koskela y Vrijhoef (2000) reconocen cuatro enfoques principales de la gestión de la cadena de suministro en la construcción, los cuales se esquematizan en la Figura 2.7. Estos enfoques no son excluyentes entre sí, más bien se utilizan frecuentemente en conjunto. A continuación, se resume el alcance de cada una de estos.

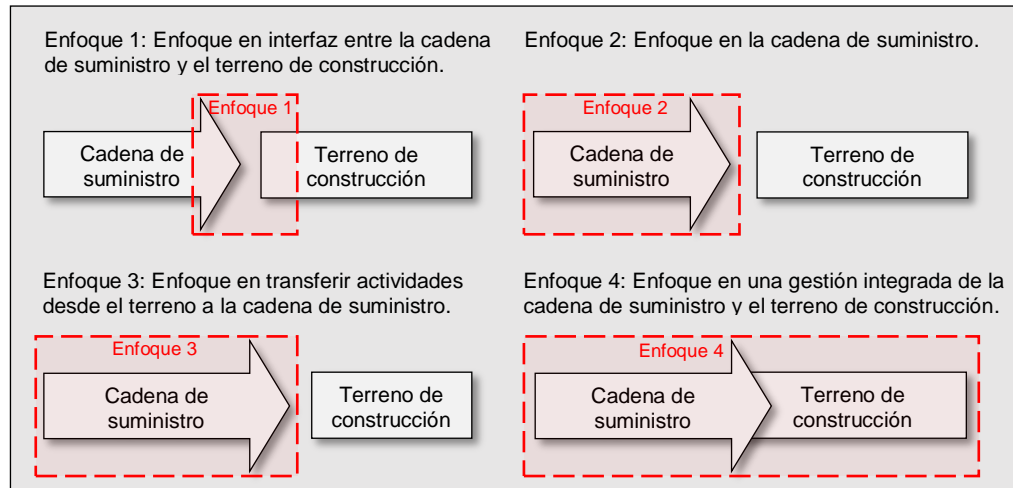


Figura 2.7. Los cuatro roles de la SCM en la construcción (Koskela y Vrijhoef, 2000)

- (1) *Enfoque 1:* El enfoque puede estar en los impactos de la cadena de suministro sobre las actividades en terreno. En este caso la principal consideración es asegurar un flujo fiable de materiales y mano de obra al terreno, para evitar la interrupción del flujo de trabajo. Esto se consigue mediante cooperación entre proveedores y contratistas. El estudio presentado en este documento se centra en este enfoque.
- (2) *Enfoque 2:* El enfoque puede estar en la misma cadena de suministro, con la meta de reducir costos, especialmente aquellos relacionados a la logística, tiempos de espera e inventarios.
- (3) *Enfoque 3:* El enfoque puede estar en transferir actividades desde terreno a etapas tempranas de la cadena de suministro. Esta lógica puede ser simplemente para evitar las condiciones básicamente inferiores en terreno. Este enfoque ha dado lugar a la industrialización en la construcción, especialmente la prefabricación.
- (4) *Enfoque 4:* El enfoque puede estar en una gestión y mejoramiento integrado de la cadena de suministro y la producción en terreno. Así, la producción en terreno se incluye dentro de la SCM. Una solución relacionada a este enfoque ha sido la pre-ingeniería, en donde el cliente escoge dentro de un abanico de soluciones prediseñadas (Newman, 1992, citado en Koskela y Vrijhoef, 2000).

A pesar de que este enfoque ha sido muy citado hasta la actualidad por diversos autores, la revisión de la literatura efectuada muestra que, a pesar de su antigüedad, no se han realizado revisiones críticas de su contenido, valor y validez, lo cual es una muestra de la falta de conocimiento científico en torno a aspectos del rubro de la construcción.

2.1.3.6. Necesidad de mejoramiento de la cadena de suministro en la construcción

Entender los problemas existentes es una necesidad absoluta para poderlos resolver efectivamente (Vrijhoef y Koskela, 1999). Es cuestión de hacer que los problemas y los desperdicios sean visibles y tangibles e identificar las causas fundamentales, abordando el problema en forma holística. La mayoría de los problemas se reparten a lo largo, o en una parte considerable, de la cadena de suministro, por lo que se necesitan soluciones que cubran por igual sus múltiples etapas, incluyendo a los actores involucrados. Lin y Shaw (1998, citado en Vrijhoef y Koskela, 1999) han resumido la práctica común de la construcción en relación a algunos tópicos de interés para la gestión de la cadena de suministro (ver Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Tópicos de interés de la SCM de acuerdo a Lin y Shaw (1998, en Vrijhoef y Koskela, 1999)

Temas de interés	Descripción	Práctica actual de la construcción
Transparencia en la información de órdenes	El problema es cómo gestionar la propagación de información para mejorar la cadena de suministro	No es raro encontrar que la inclusión de un subcontrato u orden de material esté retrasada debido a negociaciones de precio. Como resultado, la propagación de información de órdenes se detiene
Reducción de la variabilidad	El problema es cómo reducir la variabilidad y cómo hacer que una cadena de suministro sea robusta frente a la incertidumbre	Cambios a las órdenes, originados por el cliente, el equipo de diseño o el contratista principal, son bastante usuales
Sincronización de los flujos de materiales	El problema es cómo sincronizar la disponibilidad de materiales para el ensamblado, montaje, etc.	Es muy común ver que los materiales son producidos en un orden adecuado para la fábrica de suministros y entregados al terreno en un modo de minimizar los costos de transporte. Así, dominan consideraciones distintas a las del montaje en terreno
Gestión de los recursos críticos	El problema es cómo identificar los recursos críticos, diseñar una ruta crítica y poner el esfuerzo en reducir la carga sobre estos	En el sistema tradicional de contrataciones en la construcción, donde las partes son seleccionadas en base a un precio, es difícil identificar objetivamente y por adelantado los recursos críticos de la cadena de suministro
Configuración de la cadena de suministro	El problema es cómo evaluar y luego cambiar la cadena	El mejoramiento continuo y de largo plazo de la cadena de suministro no se considera, pues para cada proyecto, una nueva cadena de suministro se configura

De acuerdo a Vrijhoef y Koskela (1999), la SCM entrega una guía general que puede ser utilizada para analizar, rediseñar, coordinar apropiadamente y virtualmente mejorar la cadena de suministro en la construcción. Sin embargo, los métodos prácticos de implementación de la SCM en la construcción tienen que ser desarrollados en la práctica misma, tomando en consideración las características y situación específica de la obra. Los participantes cambian con cada proyecto de construcción, consecuentemente diseñar un sistema SCM formalizado para esta industria es extremadamente difícil (Wang *et al.* 2007).

2.1.4. La importancia del control de los procesos para lograr calidad

De acuerdo a los principios de la ISO9000 e ISO9001, la calidad es un problema de gestión y debe ser incluido en los procesos de producción (Nee 1996, citado en Rosenfeld, 2009). En vez de enfocarse en medidas negativas, como inspecciones y rechazos al final del proceso, los enfoques modernos de gestión de calidad abogan por medidas proactivas (Fazzi, 1994 y Smith, 1996; citados en Rosenfeld, 2009).

La industria de la manufactura ha desarrollado el concepto de Gestión de la Calidad Total o TQM por la sigla en inglés de *Total Quality Management*, cuya aplicación ha demostrado aumentar la productividad, disminuir los costos de los productos y mejorar su confiabilidad. Estos conceptos también son aplicables en la industria de la construcción (Arditi y Gunaydin, 1997).

2.1.4.1. Definición funcional y características de la calidad

Calidad se puede definir como el cumplimiento de los requisitos legales, estéticos y funcionales de un proyecto. La calidad se obtiene si los requisitos establecidos son adecuados y si el proyecto terminado se ajusta a ellos (Arditi y Gunaydin, 1997). Por otro lado, es necesario diferenciar entre “calidad de producto” y “calidad de proceso”. En el caso de la construcción la “calidad de producto” puede referirse a lograr calidad por los materiales, equipos y tecnologías que intervienen en una obra, mientras que la “calidad del proceso” se refiere a lograr calidad en la forma en que el proyecto es organizado y administrado durante sus fases.

En la industria de la construcción, la calidad puede ser definida análogamente como el cumplimiento de los requisitos de diseño, del constructor y de los entes reguladores, así como también los requisitos del propietario. Algunos ejemplos de requisitos que caracterizan a la calidad en la industria de la construcción se muestran en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Requisitos de los principales actores de la construcción. Arditi y Gunaydin (1997)

	Propietario	Diseñador - Calculista	Constructor	Entes reguladores
Requisitos	Cumplir aspectos funcionales, de servicio y estéticos	Alcances de trabajo bien definidos	Contar con especificaciones y otros documentos para realizar propuesta	Seguridad y salud pública
	Finalización a tiempo y dentro del presupuesto	Disposición del propietario para una oportuna toma de decisiones	Informar con anticipación sobre cambios en el proyecto	Consideraciones ambientales
	Minimizar costos de ciclo de vida, operación y mantención	Presupuesto para obtener información adecuada sobre el terreno	Contrato con cronograma de avance razonable, finalización en fecha realista	Conformidad con leyes, regulaciones, códigos y políticas aplicables

2.1.4.2. Enfoque clásico de gestión de la calidad en la construcción: TQM

Bellah *et al.* (2013), entre otros, definen la Gestión de la Calidad Total (TQM) como una filosofía y un set de prácticas que dirige sus esfuerzos en eliminar toda forma de desperdicio en los procesos de manufactura de productos y entrega de servicios. El principio central del TQM es el impulso al mejoramiento continuo de las operaciones, a través de un esfuerzo integrado entre el personal de todos los niveles para lograr la satisfacción del cliente. La Figura 2.8 muestra elementos generalmente aceptados de TQM, añadiendo los factores específicos de la industria de la construcción que afectan la calidad de sus procesos.



Figura 2.8. Elementos de la Gestión de la Calidad Total (Arditi y Gunaydin, 1997)

Un aspecto central del TQM es su enfoque hacia el cliente, los cuales, desde perspectiva organizacional, pueden ser internos y externos. La Figura 2.9 ilustra la relación en torno al servicio a los clientes de la construcción, Arquitecto, ingeniero, constructor y dueño o cliente final, así como también el traspaso de *productos* entre ellos.

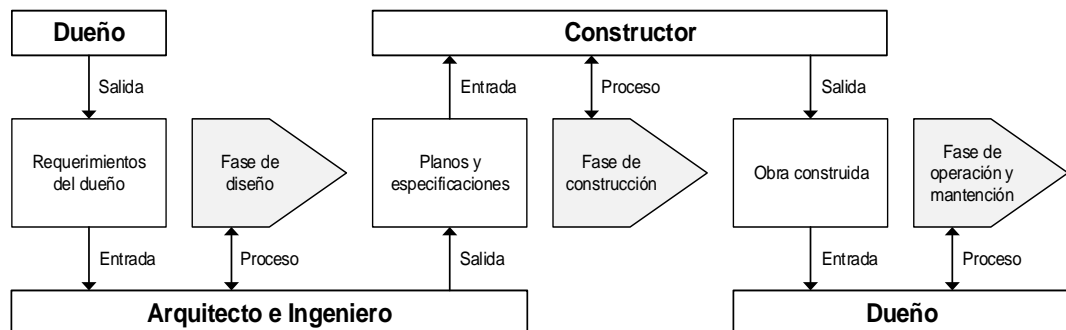


Figura 2.9. Relación entre los clientes en la construcción (Arditi y Gunaydin, 1997)

De acuerdo a la figura anterior, el arquitecto y el calculista son los clientes del dueño, debido a que ambos reciben como producto los requisitos del dueño para proveer

un diseño factible. El arquitecto y el calculista suministran los planos y especificaciones al constructor; en este caso el constructor es el cliente del arquitecto y el calculista en cuanto el constructor recibe como producto de ambos la información necesaria para conducir el proceso de la construcción. Finalmente, el constructor suministra la obra finalizada, el producto, al dueño; el dueño es ahora el cliente del constructor.

2.1.4.3. Enfoque estadístico para el control de la calidad: Metodología *Six Sigma*

Dinesh Kumar *et al.* (2007), plantea que la metodología *Six Sigma* (Seis Sigma en español) es, en esencia, una extensión de la filosofía de gestión de la calidad total, al tener también como objetivo principal satisfacer las necesidades del cliente. Uno de los aspectos más importantes para la satisfacción del cliente es un producto de alta calidad, lo que es sinónimo de un producto con el mínimo de defectos. Abdelhamid (2003) sintetiza la idea central de *Six Sigma* como una metodología estadística que permite organizar e implementar iniciativas de mejoramiento de productos y/o procesos con el objetivo de lograr reducciones de su variabilidad y, en consecuencia, reducir su tasa de defectos.

El valor de la metodología *Six Sigma* se encuentra en su capacidad de brindar ventaja competitiva a las empresas y facilitar la toma de decisiones mediante el uso de simples herramientas matemáticas. Han *et al.* (2008) afirma que estas herramientas permiten evaluar la calidad de la operación actual, cuantificar las metas de mejoramiento y reducir las tasas de defecto mediante el control de las fuentes críticas de variabilidad.

Principio estadístico:

El fundamento matemático de la metodología *Six Sigma* asume que el comportamiento de los procesos obedece a una distribución normal o gaussiana (ver Figura 2.10), curva simétrica definida por una media estadística, denotada con la letra griega μ (μ), y su desviación estándar, expresada por la letra griega σ (σ).

En la Figura 2.10 se muestran dos casos de distribución normal de una variable de control crítica para la calidad de un producto o proceso. La calidad para el cliente es el cumplimiento de sus especificaciones dentro de una banda de tolerancia, la cual se representa por el límite inferior especificado (LIE) y el límite superior especificado (LSE). En otras palabras, los requisitos del cliente se traducen en límites de especificación. El área bajo la curva antes del LIE y después del LSE se relaciona con la probabilidad de producirse defectos, definida en la metodología *Six Sigma* como el número de Defectos Por Millón de Oportunidades (DPMO), mientras que el valor ideal para la variable de control del proceso o producto se asigna a la media estadística.

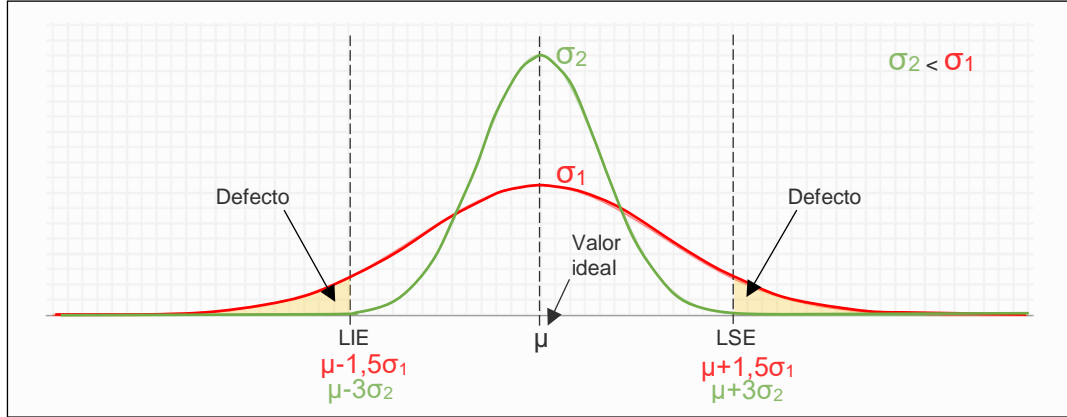


Figura 2.10. Distribución normal para variable de control de un proceso o producto

De la figura anterior se observa que, manteniendo constantes LIE, LSE y μ (indirectamente solicitados por el cliente), cuando la desviación estándar de la variable de control es σ_1 , la probabilidad de producirse defectos es mayor que cuando ésta adopta el valor σ_2 . En este ejemplo, al reducirse la desviación estándar de la variable de control desde σ_1 a σ_2 , los límites LIE y LSE pasan de estar alejados del valor ideal 1,5 veces la desviación estándar a estarlo 3 veces o 3 sigmas. La filosofía y metodología *Six Sigma* apunta a lograr que esta distancia a los límites de especificación sea igual a seis veces sigma, lo cual se logra controlando el proceso. En este caso, un nivel de 6 sigmas representa un número de DPMO de tan solo 0,001.

Por otro lado, dado que ningún proceso se puede mantener bajo un control perfecto, se ha determinado que el valor ideal de la media está sujeto a variaciones o desplazamientos de hasta 1,5 sigmas (Montgomery, 2001, citado en Abdelhamid, 2003), como se muestra en la Figura 2.11.

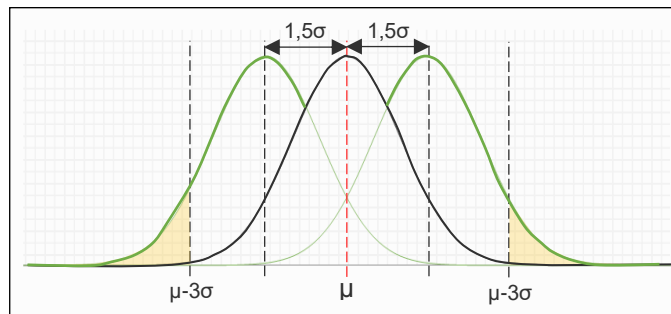


Figura 2.11. Variación de la media para la variable de control del proceso en 1,5 sigmas

Esta variación de la media implica que, para un nivel dado de por ejemplo 3σ , los DPMO sean en realidad mayores (ver área sombreada en Figura 2.11). Por lo tanto, si la media del proceso se puede controlar en 1,5 desviaciones estándar desde el valor ideal,

se puede esperar un máximo de 3,4 DPMO en un nivel de seis sigmas. El objetivo de la metodología *Six Sigma* es alcanzar este valor de DPMO.

Estrategia de implementación DMAIC:

Las iniciativas del principio Seis Sigma son implementadas a través de un marco conceptual de resolución de problemas denominado DMAIC: (1) definir, (2) medir, (3) analizar, (4) mejorar (*improve* en inglés) y (5) controlar. (Harry y Schroeder 2000 y Ahn 2000; en Han *et al.*, 2008). En la Tabla 2.7 se detallan los pasos de la estrategia DMAIC de acuerdo a Pheng y Hui (2004).

Tabla 2.7. Pasos de la estrategia DMAIC

1°	D	Definir a los clientes, sus requisitos y los procesos clave que los afectan. Las metas y objetivos de un proceso son establecidos basados en los requisitos del cliente.
2°	M	Identificar las variables clave, el plan de recolección de datos o el plan para la medición del proceso en cuestión y ejecutar el plan para la recolección de datos.
3°	A	Analizar los datos recolectados, así como también determinar las causas fundamentales del problema que necesita mejoramiento.
4°	I	Determinar y generar potenciales soluciones e implementarlas a pequeña escala para determinar si son positivas para el mejoramiento del desempeño del proceso. Los métodos de mejoramiento exitosos son entonces implementados a mayor escala.
5°	C	Desarrollar, documentar e implementar un plan para asegurar que el mejoramiento del desempeño se mantenga al nivel deseado.

Caso de implementación de Six Sigma por la empresa Samsung:

Un ejemplo de integración exitosa de la metodología Six Sigma es el desarrollado por la empresa *Samsung* durante los años 1999 y 2000 en todos sus procesos de negocios, capacitando a más de 49.000 trabajadores, repartidos en 89 oficinas ubicadas en 47 países, durante un periodo de 3 años (Yun y Chua, 2002). Dado el carácter global de la empresa, la implementación del sitio de intranet *Sigma Park* se demostró esencial para coordinar este esfuerzo. *Samsung* se enfocó en la estrategia de implementación DMAIC, para las fases de control de manufactura de productos existentes.

El principal resultado de la implementación de Six Sigma en un total de 3.290 proyectos fue la reducción, en promedio, de un 50% de los defectos detectados entre 1999 y 2001, lo que llevó a *Samsung* a estar dentro de las mejores 10 compañías de manufactura de equipos eléctricos en el mundo, con la mejor tasa de rentabilidad operativa y estabilidad fiscal. Yun y Chua (2002) concluyen que una de las razones más importantes de que una amplia gama de empleados pueda participar en proyectos Six Sigma es que la ingeniería de software está produciendo herramientas estadísticas cada vez más fáciles de utilizar.

2.1.5. Información y comunicación en los proyectos

La industria de la construcción es extremadamente compleja debido a que el desarrollo total de un proyecto generalmente comprende varias fases, las cuales requieren un diverso arreglo de servicios especializados y la participación de numerosos integrantes (Wang *et al.* 2006). La comunicación y la transmisión efectiva de información entre estos integrantes son fundamentales para el buen desarrollo de un proyecto.

Estudios micro y macroeconómicos realizados durante los años noventa han comprobado que la inversión en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) produce retornos bajo la forma de incrementos de la productividad (López, 2004). Por otro lado, Moody (2006, citado en Powell y Skjelstad, 2012) sugiere que, a pesar de que la rentabilidad puede ser mejorada en un gran número de formas, una de las vías más directas y que más recompensas trae es la utilización de la tecnología.

2.1.5.1. La importancia de una buena comunicación dentro de un proyecto

Una comunicación clara de los requisitos de un proyecto, restricciones, y recursos disponibles es necesaria para que los proyectos tengan una finalización y resultados exitosos. El éxito de los proyectos depende de buenos niveles de comunicación, cooperación y coordinación. Las principales razones por las que un proyecto falla se muestran en la Figura 2.12.

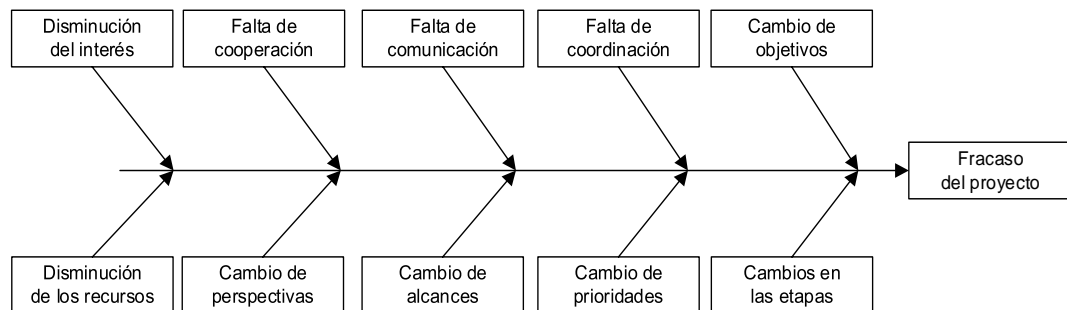


Figura 2.12. Principales razones de fracaso de un proyecto (Agustiady, 2014)

La eficacia en la adquisición de información y datos influye en el flujo de estos entre la oficina y el terreno de construcción. De acuerdo a Agustiady (2014) los ingenieros generalmente utilizan documentos impresos, planos, especificaciones, entre otros, para trabajar en terreno. En consecuencia, una brecha de tiempo y espacio entre la faena y la oficina causa duplicación o falta de datos e información. Además, los contratistas de la construcción interactúan normalmente vía telefónica para comunicarse con los

proveedores, subcontratistas, arquitectos e ingenieros, provocando que frecuentemente estas transacciones de información se pierdan o sean mal entendidas.

2.1.5.2. Aplicación de Tecnologías de la información y la comunicación a nivel industrial

Las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (TIC) son un conjunto de servicios destinados al procesamiento y a la transmisión de información por medios electrónicos. La utilización de TIC es especialmente provechosa en la gestión de la cadena de suministro, pues provee una plataforma de intercambio de información que facilita la gestión de los flujos de trabajos intra e inter-organizacionales, la gestión de los flujos materiales y también la integración entre las organizaciones. Desde la perspectiva de la calidad, Xu (2011) afirma que la disponibilidad de información en tiempo real de la cadena de suministro permite una rápida identificación de las causas de los problemas.

Algunas soluciones de TIC que se están implementando a nivel industrial incluyen (1) la Identificación por Radiofrecuencia (RFID), (2) Internet y (3) el Diseño Asistido por Computadora 4D (CAD 4D) junto al Modelado de Información de Construcción (BIM).

- (1) *RFID*: La Identificación por Radiofrecuencia (RFID) se define como una tecnología de almacenaje y recuperación de información mediante la transmisión electromagnética a un circuito integrado de Radio Frecuencia (RF) compatible (Powell, 2008, citado en Powell y Skjelstad, 2012). En su forma más simple, esta tecnología permite que, al incorporar un chip dentro de cualquier objeto, este pueda ser rastreado automáticamente, por lo que su aplicación ha sido particularmente popular en el ámbito de la logística y la cadena de suministro.

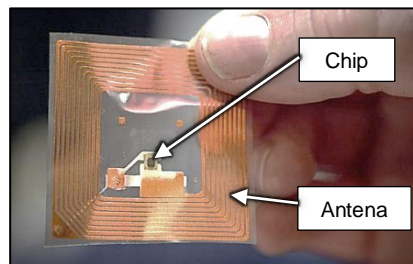


Figura 2.13. Etiqueta RFID pasiva

Un sistema RFID se conforma de una etiqueta o *Tag* RFID pasivo o activo y un lector RFID. La etiqueta (Ver Figura 2.13) consiste en un microchip que almacena datos usualmente en la forma de un número de serie único y una antena para su transmisión

De acuerdo a Michael y Mccathie (2005, citado en Powell y Skjelstad, 2012), las ventajas de la implementación de soluciones RFID dentro de una cadena de

suministro son numerosas, e incluyen reducción de la cantidad de mano de obra, una visibilidad mejorada y facilita la gestión de inventarios. Powell y Skjelstad (2012) afirman que el nuevo nivel de visibilidad que se obtiene mediante la aplicación de tecnologías RFID dentro de un enfoque *Lean* permite a las organizaciones colaborar, planificar, monitorear y ejecutar mientras se mejoran continuamente las condiciones de operación dentro de la cadena.

- (2) *Tecnologías basadas en Internet*: Las operaciones en terreno en la construcción, que pueden llegar a durar años dependiendo del tamaño del proyecto, generan una cantidad enorme de información. Con la llegada de internet, las soluciones de gestión de la información basadas en la Web permiten la diseminación e intercambio de información entre los participantes de un proyecto.

Mientras internet se define como una red de comunicación descentralizada interconectada a nivel mundial, existen redes corporativas más pequeñas que utilizan tecnologías basadas en internet como las Intranet, que pueden ser tan pequeñas como una red de área local (LAN) dentro de una empresa, o puede ser tan grande que unifique varias redes de área local utilizando redes de área amplia (WAN) (Mak, 2001). El término Extranet significa conectar dos o más redes corporativas utilizando tecnologías de internet, para formar redes cooperativas para transacciones comerciales.

- (3) *CAD 4D y modelado de información de construcción*: El Diseño Asistido por Computadora 4D (CAD 4D) conecta los aspectos espaciales y temporales de un proyecto de construcción mediante la combinación del potencial gráfico del CAD 3D con la programación del proyecto. Gráficamente representa la relación entre espacio y programación de una obra de construcción a través de la transformación de aquel espacio a lo largo del tiempo.

El Modelado de Información de Construcción (BIM por sus siglas en inglés) es la forma más moderna de las tecnologías CAD 4D. Al aspecto espacial (CAD 2D y 3D) y temporal incorporado en el CAD 4D, BIM incorpora toda la información necesaria del proyecto en una base de datos, para facilitar el diseño, la construcción y la operación de este. De acuerdo a Saldías (2010) Representa virtualmente lo que será construido y su entorno, los métodos y procedimientos de operación, la constructibilidad, el análisis estructural, etc. El objetivo de las tecnologías e implementaciones BIM es servir como base confiable para la toma de decisiones y proveer de una plataforma de análisis automatizados que puedan asistir a la planificación, los procesos de diseño y la gestión en la construcción.

2.2. Estado del arte

En esta sección se resume el conocimiento adquirido por algunas de las investigaciones más recientes, en torno al control, planificación, costos y mejoramiento de los procesos de la construcción, mediante la aplicación de nuevos modelos y tecnología de punta en terreno.

2.2.1. Control dinámico de la cadena de suministro

La planificación y simulación de procesos en la construcción aún se funda en el clásico modelo reactivo de *entradas-proceso-salida*, el cual se ha comprobado inadecuado para modelar la calidad en base a una cadena de suministro proactiva en la construcción (Abellan-Nebot *et al.* 2012, citado en Moon *et al.*, 2015), urgiendo la creación de nuevos enfoques. El control dinámico de la calidad en la cadena de suministro, o SC-DQC por su sigla en inglés, es un nuevo modelo de procesos planteado por Moon *et al.* (2015), de naturaleza predictiva, que define la calidad como función de los desperdicios productivos generados en los procesos desarrollados a lo largo de la cadena de suministro. El nuevo método SC-DQC es un cambio al paradigma actual, al enfatizar la importancia de la pre-alimentación (*feedforward*) por sobre el control por retroalimentación (*feedback*), y medir la calidad de acuerdo a la magnitud de desperdicios productivos generados a lo largo de la cadena de suministro.

El nuevo modelo propuesto por Moon *et al.* (2015) introduce tres módulos que definen la calidad en la cadena de suministro: (1) calidad de los recursos del proceso (PRQ), (2) calidad del proceso de la construcción (CPQ) y (3) calidad del producto (PQ). Para evitar cualquier problema de operación, la acción de control necesita identificar los efectos futuros que las *entradas* tendrán sobre los consiguientes procesos. El módulo PQ tiene como objetivo medir la deficiencia del producto en torno a satisfacer requisitos previamente definidos. Por otra parte, el módulo CPQ se encarga de medir los recursos desperdiciados durante las operaciones y procedimientos. El módulo PRQ debe cuantificar que tan preparados está el recurso para asegurar un proceso con mínimas pérdidas.

El experimento comparativo llevado a cabo en terreno por Moon *et al.* en torno al sistema de suministro de barras prefabricadas de acero de refuerzo para una obra de construcción, implementando un control dinámico de la cadena de suministro e investigando sus efectos mediante un estudio de tiempo continuo, permitió comprobar un aumento notable del tiempo productivo de un 31,5% a un 77,4% mediante una drástica reducción del desperdicio productivo de un 45,5% a un 6,2%. Más allá de eso, la principal contribución de este experimento, es la confirmación de las grandes consecuencias que la baja calidad de la logística en terreno puede tener sobre la eficiencia de un proceso constructivo.

2.2.2. Un método estadístico para determinar el costo de la calidad

En general, los proyectos de construcción involucran cantidades de dinero considerables, por lo que usualmente las decisiones son tomadas en base a este parámetro. Sin duda, uno de los balances más complejos que cualquier empresa constructora debe llevar a cabo, gira en torno a los costos de la calidad, a modo de tener prestigio, pero también permanecer competitiva en el mercado.

Rosenfeld (2009) determinó que los costos totales relacionados a la calidad en la construcción, medibles y tangibles, se dividen en dos componentes: (1) Costo de calidad, relacionados a las medidas tomadas para asegurar un nivel satisfactorio de calidad y (2) Costos por ausencia de calidad, relacionado a los costos incurridos por rehacer trabajos, gastos ocasionados por trabajos defectivos y en general desviaciones desde las especificaciones. Además, Rosenfeld identificó la existencia de (3) costos ocultos, intangibles e indirectos relacionados con la calidad.

- (1) *Costos de la calidad:* Dentro de los costos de calidad se incluyen los costos en prevención y en evaluaciones. Los costos de prevención se derivan de aquellas acciones tomadas por la empresa antes de los procesos de la construcción, para prevenir irregularidades, defectos, errores, etc. Los costos de evaluaciones, en cambio, se producen por acciones realizadas durante los procesos, como forma de asegurar la conformidad a las especificaciones predeterminadas de calidad.
- (2) *Costos por ausencia de calidad:* Se producen costos por ausencia de calidad al ocurrir fallas tanto internas como externas, entendiéndose como internas a aquellas fallas producidas *antes* de entregar el producto al cliente (por ejemplo, una obra al propietario o mandante) y externas a aquellas fallas producidas *después* de entregar el producto al cliente. En ambos casos, los costos asociados se derivan de las acciones realizadas para corregir irregularidades, desviaciones, defectos, errores, etc. en un caso durante la construcción y en otro caso durante la postventa.
- (3) *Costos ocultos, intangibles e indirectos relacionados a la ausencia de calidad:* En adición a los costos de fallas internas que son reportados, existen costos por ausencia de calidad asociados a los daños no reportados, errores del proveedor, pérdidas productivas, desperdicios materiales, retrasos, etc. De manera similar, además de los costos de fallas externas directamente medibles, se producen costos por ausencia de calidad relacionados a la exposición a futuros problemas, dificultad para retener a los clientes existentes, pérdida de nuevos clientes, daños a la reputación de la empresa, etc.

Por otra parte, Rosenfeld afirma que los costos visibles por ausencia de calidad siempre están acompañados de costos ocultos adicionales sustanciales. La Figura 2.14 reúne y relaciona los conceptos anteriormente mencionados.

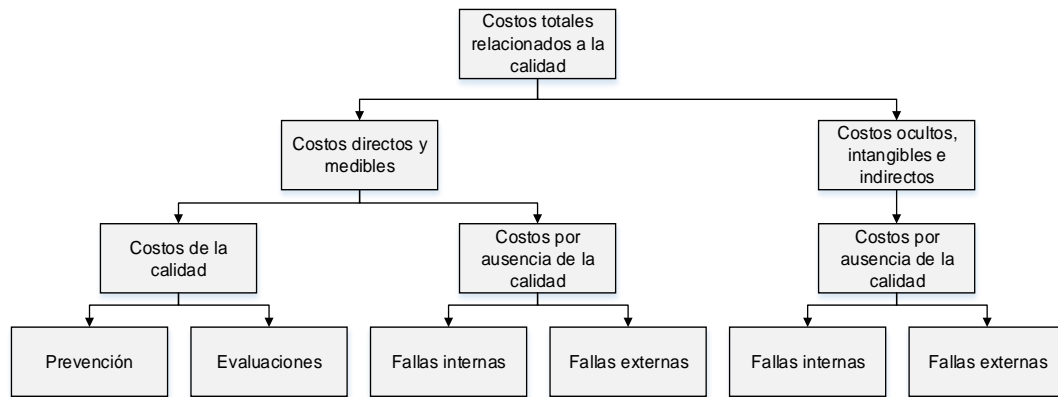


Figura 2.14. Costos totales relacionados a la calidad. Elaboración propia a partir de Rosenfeld (2009)

En base al estudio realizado a 8 empresas constructoras en Israel, Rosenfeld (2009) determinó un rango óptimo para el gasto monetario en prevenciones y evaluaciones, en el cual se maximiza la calidad, a la vez que se minimizan las pérdidas monetarias incurridas por fallas internas y externas. De acuerdo a sus resultados, un gasto menor a 2% de los ingresos de la empresa en actividades de prevención y evaluaciones, conlleva a la aparición de pérdidas monetarias muy altas debido a la ausencia de calidad. Por otra parte, gastos mayores al 4% de los ingresos de una empresa, destinados a actividades que promueven la calidad, traen consigo una reducción marginal de las pérdidas monetarias por ausencia de calidad.

A pesar de la reducida muestra estadística, Rosenfeld concluye que los gastos incurridos por actividades que aseguren la calidad, deberían estar entre 2% a 4% de los ingresos de una empresa a modo de maximizar sus utilidades. Más que los valores obtenidos por el estudio, el verdadero valor de la investigación realizada por Rosenfeld es que demuestra que existe un balance entre el costo de lograr calidad y los gastos resultantes por ausencia de calidad, y que este valor puede ser determinado empíricamente.

2.2.3. Aplicación del *Internet de las cosas* en la industria

Las investigaciones previas centradas en el uso de tecnologías de información y comunicación (TIC) en la construcción se basaron en la aplicación separada de diferentes tecnologías, tales como sensores RFID y sistemas de seguimiento GPS, por lo que se han limitado a identificar y mitigar aspectos específicos de los riesgos de seguridad en la construcción (Lu et al, 2011; Carbonari et al, 2011; Razavi y Moselhi, 2012; Kister et al, 2007; citados en Ding et al, 2013). En este sentido el Internet de las Cosas, o IoT por su sigla en inglés, es reconocida como una nueva generación de tecnologías de la información y la comunicación, al lograr una detección integral y permitir un procesamiento inteligente mediante la combinación de una variedad de pequeños *objetos inteligentes*, tales como sensores, etiquetas RFID, teléfonos móviles, entre otros, con tecnologías de internet para un intercambio de información en tiempo real (Atzori et al, 2010; Miorandi et al, 2012; citados en Ding et al, 2013).

Una de las investigaciones pioneras sobre un uso amplio de IoT en la construcción es la realizada por Ding *et al.* (2013) en el sector de la construcción subterránea en China, considerado como uno de los más peligrosos y con mayor riesgo de seguridad laboral. Para esto, Ding *et al.* Implementaron un sistema integrado por dos tecnologías que transmiten y reciben información a través de internet (ver Figura 2.15), en un proyecto de construcción de túnel para una línea de metro en Wuhan, China.

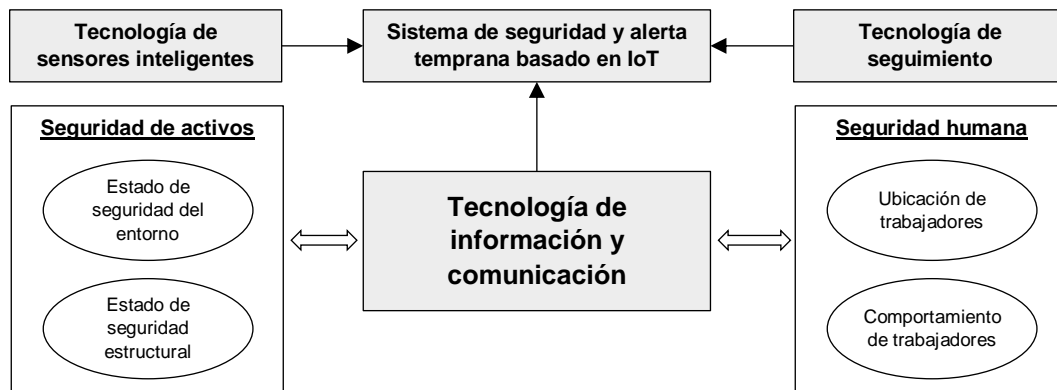


Figura 2.15. Sistema de alerta de seguridad en tiempo real mediante uso de IoT

La primera tecnología utilizada consiste en un sistema de monitoreo de la condición estructural (SHM por su sigla en inglés), basado en sensores de fibra óptica *fiber Bragg grating* (FBG), para controlar el estado de la seguridad en torno a las estructuras subterráneas. La segunda tecnología consta de un sistema de seguimiento de trabajadores centrado en el uso de etiquetas RFID, de forma de reducir los errores humanos y difundir automáticamente alertas tempranas.

La implementación de este sistema en el tramo de 3,2 [km] de túnel que atraviesa subterráneamente el río Yangtsé, en conjunto con la utilización de software especializado para el control en tiempo real de deformaciones, temperaturas y otros indicadores claves del estado estructural de la obra, así como también de la posición de trabajadores en terreno, tuvo como resultado inmediato una nula ocurrencia de accidentes. Además, el sistema fue capaz de proveer evidencia del efecto del congelamiento mediante el monitoreo de las temperaturas y deformaciones del suelo congelado durante las 24 horas, lo cual se demostró crucial para determinar en tiempo real la seguridad de realizar excavaciones.

Por otra parte, el sistema brindó la capacidad para prevenir el acceso de trabajadores a áreas restringidas, lo cual fue una causa repetida accidentes pasados. Otro beneficio es la adquisición de nueva información que permite adelantarse a situaciones peligrosas y alertar automáticamente a los trabajadores en terreno para que efectúen la evacuación pertinente, lo que reduce el tiempo de reacción ante emergencias, aumentando la probabilidad de salvar vidas y bienes.

2.2.4. Nuevas tecnologías de video-inteligente para proteger a los trabajadores

El método actual de evaluación de la productividad requiere de una recolección de datos manual, la cual es llevada a cabo por observadores en terreno. En relación a lo anterior, Weerasinghe *et al.* (2012) afirma que implementar un sistema automatizado de adquisición de datos de terreno en tiempo real es el enfoque más adecuado para extraer información no sesgada con respecto al desempeño de los trabajadores y facilitar el monitoreo de la productividad. Una de las tecnologías más recientes que ha permitido el seguimiento de personas, en base a técnicas de procesamiento de imágenes, proviene de la industria de los videojuegos.



Figura 2.16. Principales componentes de un sensor Kinect

Kinect es un sensor desarrollado por la empresa Microsoft e introducido en el año 2010 como parte integral de su consola de videojuegos Xbox 360 (Weerasinghe et al, 2012). Incluye cámaras y un sensor de profundidad en base a un proyector de infrarrojos (ver Figura 2.16). A pesar de ser concebida para el entretenimiento, los *kits* de desarrollo de software en torno al sensor, dispuestos por Microsoft, han permitido su aplicación en entornos alejados del consumo de videojuegos.

En base a las capacidades del sensor Kinect, Weerasinghe *et al.* desarrollaron un algoritmo de procesamiento de imágenes utilizando el software MATLAB R2010a. Estableciendo un código de color para el casco utilizado por el trabajador según su labor, fue posible identificar y mantener un seguimiento constante a un grupo de trabajadores utilizados como prueba.

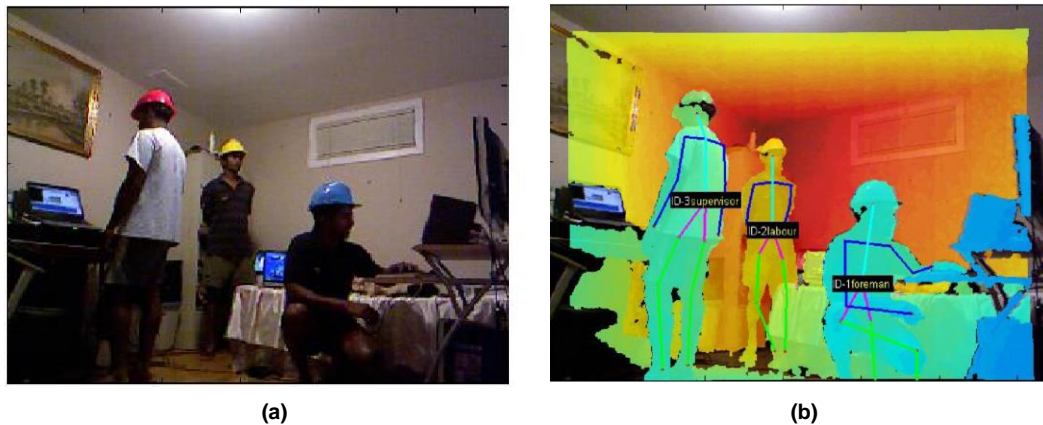


Figura 2.17. Trabajadores de diferentes disciplinas detectados por Kinect (Weerasinghe et al. 2012)

En la Figura 2.17(a) es posible visualizar un escenario de pruebas, en donde se simula la situación de tres trabajadores con distinta especialidad, denotada por el color del casco. En la Figura 2.17(b) se observa el mismo cuadro, pero tal como es detectado por el sistema Kinect, representando el cuerpo humano mediante un esqueleto simple, identificando a cada tipo de trabajador en tiempo real en base al color de su casco y mostrando su distancia, en una escala de colores, calculada gracias al uso de sus sensores de profundidad.

A pesar de las limitaciones actuales de la tecnología, principalmente la distancia máxima de 4 [m] en la que el trabajador es reconocido, las pruebas de concepto y experiencias prácticas realizadas por Weerasinghe *et al.* (2012) y Rafibakhsh *et al.* (2012) han demostrado la factibilidad de desarrollar sistemas de adquisición automatizada de datos en tiempo real utilizando tecnología actual. Rafibakhsh *et al.* agrega que, aunque el uso de Kinect para el modelado espacial de un terreno de construcción y sus actividades es prometedor, aún se requiere más investigación para llevarlo a la práctica.

2.2.5. Enfoque holónico de la gestión de la construcción

Los problemas de comunicación que abundan en la construcción han sido identificados como inhibidores para aumentar la productividad y como fuente de malos entendidos, rehacer trabajos y accidentes fácilmente evitables (Zekavat *et al.*, 2014). Con el creciente desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación, es natural buscar en la tecnología la solución para los problemas que aquejan a la industria, sin embargo, en el caso de la construcción, la revisión de la literatura reciente muestra que las soluciones desarrolladas han sido más bien parciales, dirigidas a problemas específicos.

La maduración de varias tecnologías de la información ha llevado a Zekavat *et al.* (2014) a desarrollar un nuevo y moderno enfoque holístico de gestión de la construcción centrado en la interacción y flujo de información crítica entre cinco diferentes tipos de holones o grandes miembros de un sistema mayor: (1) equipos, (2) trabajadores, (3) materiales, (4) espacio tridimensional y (5) logística de suministros e información. En la Figura 2.18 se muestra una representación gráfica simplificada de como el modelo holónico de gestión de la construcción (HCM) podría ser capaz de acortar la brecha existente entre los procesos de la construcción y la cadena de suministro.

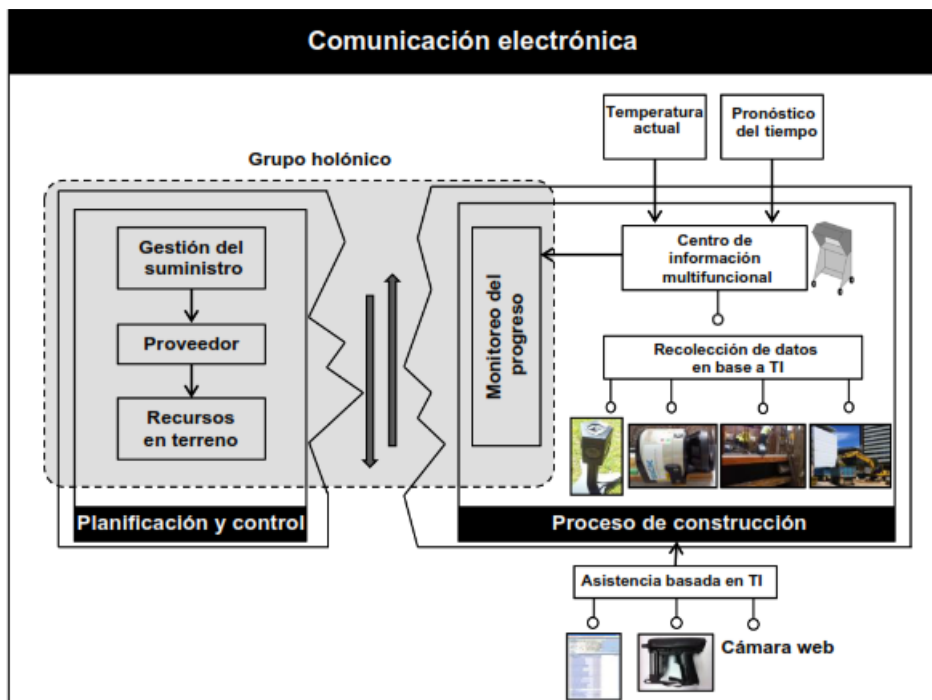


Figura 2.18. Arquitectura holónica para vincular la planificación y monitoreo de procesos

Como puede verse en la Figura 2.18, un grupo holónico tal como es planteado por Zekavat *et al.* abarcaría holones hasta ahora desconectados, tales como el monitoreo del

progreso del proceso y al proveedor, lo cual podría prevenir un exceso de abastecimiento o el desabastecimiento de recursos en terreno. Las dos grandes flechas verticales muestran como un ajuste del suministro, en base a información actualizada del proceso llevado a cabo, alinearía ambos aspectos cuales piezas en un puzle. Por otro lado, un centro de información multifuncional instalado en terreno, o eCKiosk, recolectaría información de varios sensores para automáticamente reportar los avances del trabajo. Algunos de estos sensores nacidos de las tecnologías de la información son: (1) videocámaras de 360° que facilita la realización de inspecciones remotas, (2) escáneres en base a láseres, como por ejemplo el sensor Kinect de Microsoft, (3) termómetros inalámbricos que recolecten la temperatura de puntos clave y (4) sensores incrustados en equipos, que provean información concerniente a su estado y posición.

El experimento comparativo en terreno realizado por Zekavat *et al.* (2014) en torno a la gestión del suministro de barras de acero de refuerzo, durante la construcción de un nuevo complejo en la universidad de New South Wales en Australia, demostró la dificultad con la que la industria de la construcción adopta nuevas tecnologías, observándose pronunciadas curvas de aprendizaje e incluso la no utilización de ciertos elementos, dando cuenta de la necesidad de desarrollar soluciones más amigables con el usuario. Por otra parte, la utilización de diversas tecnologías en conjunto logró reducir en un 23% el tiempo utilizado por la única grúa para el posicionamiento y descarga de paquetes de barras de acero, así como también brindar visibilidad para puntos ciegos del operador de la grúa, algo particularmente útil desde el punto de vista de la seguridad laboral.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA E HIPÓTESIS

Uno de los principales problemas que se ha identificado en las obras de construcción desarrolladas en Chile en el último tiempo, es la dificultad de cumplir con los plazos preestablecidos, lo cual implica que la planificación que se desarrolla previo a ejecutar la obra no se cumple a cabalidad. Considerando esto, Campero y Alarcón (2008) determinaron que el modelo de planificación convencional utilizado actualmente en la construcción, basado principalmente en la experiencia, no es óptimo, pues falla en identificar y eliminar las pérdidas productivas de los procesos constructivos, y contribuye a aumentar la incertidumbre, la variabilidad y la duración de estos.

Para disminuir los desperdicios productivos en la construcción, es necesario conocer sus causas y cuantificar sus efectos sobre los procesos constructivos. Respecto a esto, la revisión del estado del arte actual demuestra que el problema de fondo es la carencia de investigaciones y conocimientos científicos detallados en torno a los desperdicios productivos de los procesos constructivos que dan forma a los diversos tipos de obras civiles, lo cual impide la formulación e implementación de mejoras. Además, se constató la ausencia de sistemas modernos para la medición de las pérdidas productivas en la construcción, siendo esto una importante barrera para la creación de conocimiento científico en torno a esta situación.

Este trabajo tiene como propósito investigar el efecto de una planificación de suministros orientada a la obra, sobre los desperdicios productivos de sus procesos. Para ello, la investigación se enfocará sobre un proceso constructivo específico, para un proyecto de tipo industrial: el montaje de costaneras. Los motivos para la elección de este proceso particular como objeto de estudio forman parte de los alcances de esta investigación, y fueron expuestos en la sección 1.1.

Hipótesis

Con respecto a la revisión de literatura efectuado y el problema planteado anteriormente, se han formulado las siguientes hipótesis:

1. Es posible implementar exitosamente un sistema de registro de actividades en obra mediante cámaras de video inalámbricas de funcionamiento autónomo.
2. La planificación del suministro de perfiles de acero orientada al proceso resulta en una reducción de sus desperdicios productivos.

4. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la estrategia adoptada para comprobar las hipótesis establecidas. Incluye la metodología utilizada para el registro y tratamiento de la información obtenida de terreno y aquella utilizada para el posterior análisis de los datos.

4.1. Estudio en terreno

Para investigar el problema planteado y generar conocimiento científico que amplíe el estado del arte actual, se efectuó un experimento comparativo en un terreno de construcción siguiendo los lineamientos planteados por Bernold y Lee (2009).

Para probar las hipótesis planteadas, se realizó un estudio de tiempos dividido en dos fases. En la primera fase se comprobó la existencia de tareas no productivas e inefectivas, consideradas desperdicios productivos, identificando sus causas y cuantificando sus efectos, lo que permitió el desarrollo e implementación de un cambio a nivel de gestión del suministro. La segunda fase de este estudio consistió en comprobar el efecto del cambio implementado en conjunto con la empresa constructora y la maestranza proveedora.

El procesamiento de los datos para el estudio incluye la determinación del uso de tiempo por las tareas del proceso, su uso de fuerza laboral y de maquinaria, y los costos monetarios para la empresa, antes y después de implementar el cambio.

4.2. Diseño del experimento comparativo

Para llevar a cabo la investigación planteada en este trabajo, fue necesaria la realización de una serie de pasos que conforman la estrategia del experimento comparativo en terreno. Estos pasos se explican a continuación:

Primer paso: Se realizaron visitas a terreno para familiarizarse con el tipo de obra, los procesos involucrados y sus cuadrillas. También se determinaron las condiciones en terreno para instalar un sistema de observación en base a cámaras de vigilancia y los puntos de instalación de estas.

Segundo paso: Mediante observaciones preliminares, se realizó un diagrama de flujo del proceso de montaje escogido, identificando todas las tareas realizadas, hayan sido estas productivas o no, y las relaciones de dependencia entre ellas. También se identificaron los recursos utilizados y las cadenas de suministro involucradas.

Tercer paso: Mediante la implementación de un sistema de observación en terreno, se realizó un estudio de tiempos para medir el uso de recursos por cada actividad dentro del proceso escogido. Tareas de menor recurrencia, que no se hayan identificado previamente, fueron incluidas en este punto. El registro de las tareas en terreno se realizó durante un mes.

Cuarto paso: Finalizado el registro de tareas durante un mes, se categorizaron las actividades detectadas según su valor en el uso del tiempo en Agrega Valor, Contributiva, No Productiva, Inefectiva y Personal. Se determinó el tiempo destinado a cada categoría de actividad, identificando el tiempo dedicado a tareas No Productivas e Inefectivas, que corresponden a *Muda-Waste*.

Quinto paso: Se realizó un diagrama Causa-Efecto para reunir las causas de la existencia de *Muda-Waste*. En base a las causas determinadas previamente y los resultados obtenidos por el estudio inicial, se implementó un cambio de gestión en la planificación del suministro de perfiles de acero a obra, de modo que pase a estar orientada al proceso en estudio.

Sexto paso: Luego de implementar el cambio de gestión, se realizó nuevamente el tercer y cuarto paso para registrar lo realizado en terreno, a modo de poder comparar con la situación inicial.

Séptimo paso: Se comparan los resultados obtenidos antes y después de implementar el cambio, en función del uso del tiempo, de los recursos materiales y costos monetarios asociados.

Octavo paso: Se discutieron los resultados obtenidos y se concluyó respecto a la efectividad del cambio implementado y la utilidad del sistema de observación empleado. Con estos resultados se comprobó la validez de las hipótesis.

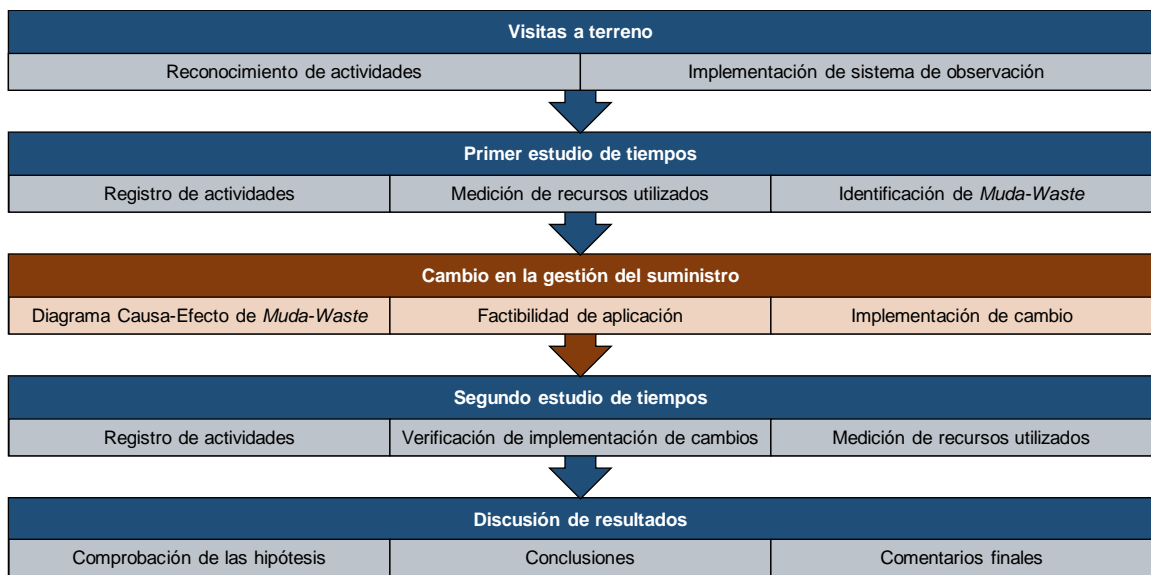


Figura 4.1. Estrategia del experimento comparativo

En la Figura 4.1 se muestra un diagrama donde se resumen los puntos clave de la estrategia antes planteada, resaltando el paso en donde se implementa la medida de cambio en la gestión.

4.3. Recolección y análisis de datos

Se realizó un seguimiento al proceso completo a nivel de tarea, midiendo la duración de tiempo de todas sus tareas, la cantidad de trabajadores involucrados y el número de máquinas relevantes utilizadas. Se consideraron máquinas relevantes a aquellas que son arrendadas, o cuyo servicio es subcontratado, y a las que retrasan notablemente la duración esperada de la actividad. El seguimiento del proceso se realiza en base de ciclos de trabajo. En el proceso de montaje de costaneras el ciclo de trabajo se define intrínsecamente por el montaje de una costanera individual.

En la Tabla 4.1 se presenta la planilla tipo utilizada para la recolección de los datos del estudio, en la que, para cada actividad del proceso, se registra el número de trabajadores (C.T. o maquinaria involucrados y la hora de inicio y término de la actividad, con lo que es posible calcular el tiempo utilizado en particular por cada actividad en cada ciclo.

Tabla 4.1. Planilla tipo de recolección de datos del estudio

Fecha									
Nombre de proceso									
Consideraciones									
Nº Tarea	Descripción	Ciclo 1				Ciclo 2			
		C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]

Las observaciones y toma de datos del primer y segundo estudio se realizaron en ventanas de tiempo de un mes. El periodo comprendido entre la toma de datos para el primer y segundo estudio se utilizó para procesar la información obtenida del primer registro y realizar el primer estudio de tiempos, identificar pérdidas productivas y sus causas, desarrollar e implementar un cambio de gestión en conjunto con la empresa constructora y proveedora. Para identificar las pérdidas productivas se categorizaron las tareas detectadas y medidas según su valor en el uso del tiempo.

Para facilitar la identificación de las actividades *Muda-Waste*, el tiempo total destinado al proceso es desglosado en una fracción que representa el trabajo base, o necesario para completar el proceso, y el resto de tiempo que se añade al proceso debido a situaciones improductivas, trabajos inefectivos y necesidades personales de los trabajadores. Esta categorización, basada en las características positivas y negativas en torno a la eficiencia en el

uso del tiempo, facilita el reconocimiento de las actividades que representan pérdidas productivas. En la Tabla 2.3 se entregó una descripción de lo descrito anteriormente, indicando causas frecuentes para el caso de tiempos de trabajo inefectivo, improductivo y personal.

Este trabajo se centra en las actividades *Muda-Waste*, originadas en tiempos de trabajo categorizados como inefectivos e improductivos, pues delatan problemas de gestión y su mejoramiento no implica necesariamente la introducción de nuevas tecnologías. Por otro lado, reducir el tiempo base sí requiere de inversiones monetarias en capacitación y nuevas tecnologías para incrementar la eficiencia del proceso.

4.4. Evaluación y conclusiones

Los datos de terreno son procesados, para luego efectuar un análisis comparativo en torno al uso de tiempo, recursos laborales y costos monetarios por parte de los desperdicios productivos del proceso escogido. El análisis consiste en la comparación de los resultados obtenidos antes y después de implementar el cambio, explicando los efectos observados en función de los resultados obtenidos y lo observado en terreno.

Finalmente, se concluye respecto a la efectividad del cambio implementado para reducir los desperdicios productivos del proceso y también respecto a la utilidad del sistema de observación empleado, verificando las hipótesis planteadas y enfatizando el conocimiento adquirido mediante esta experiencia.

5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ANALIZADO

El presente capítulo comienza entregando los antecedentes generales de la obra en estudio, los cuales tienen como fin poner en contexto al proceso a analizar, el montaje de costaneras, dentro de la situación de la obra. Más adelante, el enfoque recae directamente en el proceso, realizando una descripción visual de la zona de trabajo del montaje de costaneras e indicando, en líneas generales, la posición de los trabajadores y la maquinaria en ésta. Luego, se identifican y describen los principales suministros necesarios para realizar el proceso, así como también la maquinaria utilizada durante el periodo de observación. Finalmente se detallan las principales tareas del proceso, plasmando su secuencia lógica en forma visual mediante la creación de un diagrama de flujo del proceso.

5.1. Antecedentes generales de la obra en estudio

La obra de construcción en estudio se ubica en la ciudad Viña del Mar, a un costado de la ruta F-30 “Camino Internacional” y alejada del centro urbano. Corresponde a una estructura de acero, ensamblada en su totalidad mediante apernado, que forma parte de un proyecto industrial cuyo fin es la creación de un complejo de bodegaje.

El área útil que abarca esta obra (Ver Figura 5.1) es de aproximadamente 13.000 m², con una altura máxima proyectada de 10 metros. Esta gran área dificulta tener una instalación eléctrica en el perímetro de construcción, teniendo que utilizarse alargadores para suministrar electricidad a las herramientas y máquinas dentro de la obra.



Figura 5.1. Terreno de obra de estudio

Los perfiles de acero utilizados para el montaje estructural fueron provistos por una maestranza ubicada a un costado del terreno de la obra, por lo tanto, los camiones que realizaron

el transporte de estos elementos no circularon por la vía pública, eliminando la posibilidad de atrasos por congestión vial.

El terreno de la obra era lo suficientemente grande como para que no se produjeran problemas de espacios al momento de establecer zonas de acopio y realizar descargas de material.

5.1.1. Procesos de la secuencia constructiva

Desde el punto de vista estructural, los procesos más importantes de la secuencia constructiva se muestran en la Figura 5.2, siendo estos a grandes rasgos (1) movimiento de tierras y excavaciones, (2) instalación del armazón de fundaciones prefabricado en acero, (3) instalación de moldaje de fundaciones, (4) hormigonado y descimbrado de fundaciones, y (5) montaje en acero estructural y pavimentación de losa. Esta secuencia corresponde también a la ruta crítica constructiva.



Figura 5.2. Secuencia constructiva básica de la obra en estudio

El factor constructivo crítico es mantener la estabilidad estructural mientras se realiza el montaje. Esto determina el orden de ejes en el que se debe realizar esta actividad, por lo tanto, también el orden de ejes que deben ser hormigonados, el orden de instalación del armazón prefabricado de fundaciones y la instalación de moldaje en estas. Es decir, la secuencia constructiva está determinada por el orden de montaje y éste determina el orden del resto de las actividades.

5.1.2. Planificación de obra y cadena de información

La planificación de la obra se llevó a cabo mediante reuniones entre los principales actores de ésta: Ingeniería, Maestranza y Constructora. El principal criterio para la toma de decisiones fue la estabilidad de la estructura durante su construcción, la cual se determinó por la división de Ingeniería. La planificación de obra también dependía de la capacidad de la maestranza para suministrar perfiles estructurales a la obra.

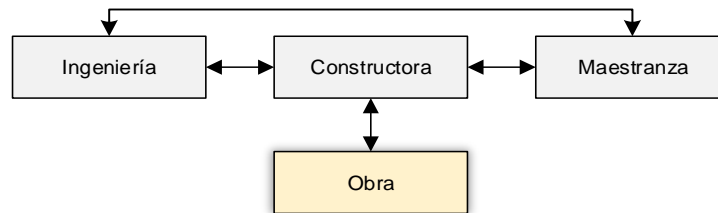


Figura 5.3. Cadena de información para la obra en estudio

Por otra parte, la constructora se encargó de materializar las decisiones adoptadas en la obra y servir de nexo entre esta, Ingeniería y Maestranza para retroalimentar la cadena de información. La situación antes descrita se esquematiza en la Figura 5.3.

Para el caso del montaje estructural, la decisión en cuanto al orden de su realización se informaba al administrador de obra, quien le notificaba al jefe de obra y al encargado de montaje en terreno. También se informaba al encargado de la maestranza para definir el orden de fabricación de perfiles y cumplir con una cadena de suministro lógica.

La cadena de información se llevaba a cabo mediante reuniones entre ingeniería, oficina técnica (incluyendo a administrador de obra) y encargado de la maestranza, y luego mediante reuniones entre administrador y jefe de obra para su ejecución.

5.1.3. El montaje estructural en acero

El montaje estructural es la principal actividad para este tipo de obra y de su correcta realización depende la estabilidad de la estructura durante la construcción. Involucra una serie de subprocesos tales como descarga de perfiles (columnas, vigas, costaneras y otros elementos menores), instalación de columnas, armado de vigas, montaje de costaneras, izaje de prefabricados, instalación de riostras, entre otros menores.

5.1.3.1. Suministro de materiales y herramientas

El suministro de materiales, herramientas y maquinarias para el montaje estructural en acero considera: Perfiles de acero (vigas, columnas, costaneras, cerchas, etc.), pernos y tuercas (de diversos diámetros y longitudes), sogas para cuerda de viento

(cuerda guía), cadenas y amarras (eslingas) para elevar y descargar perfiles, llaves francesa, camión grúa pluma, montacargas, brazo articulado, entre otros.

Los perfiles de acero, pernos y tuercas son suministrados por una maestranza. Los materiales y herramientas menores como sogas, cadenas, amarras, llaves, etc. son suministrados por la bodega de la obra. Servicios de maquinaria especializada, como camiones pluma, son subcontratados.

5.1.3.2. Cadena de suministro

La maestranza (ver Figura 5.4(a)), utilizando los planos de fabricación, máquinas automatizadas, herramientas manuales y planchas de acero como materia prima, realiza la fabricación de los diversos perfiles y elementos menores involucrados en el montaje estructural como, por ejemplo, pernos y tuercas.

Los perfiles estructurales, pernos y tuercas son enviados desde la maestranza en camiones (ver Figura 5.4(b)). Luego de finalizar la carga del camión en la maestranza, este se traslada a la obra y se realiza la descarga, generalmente dentro del área de trabajo, estableciéndose acopios según tipo de perfil y lugar de montaje. Finalmente, con los perfiles estructurales y materiales en obra, se realiza el proceso de montaje estructural (Ver Figura 5.4(c)).

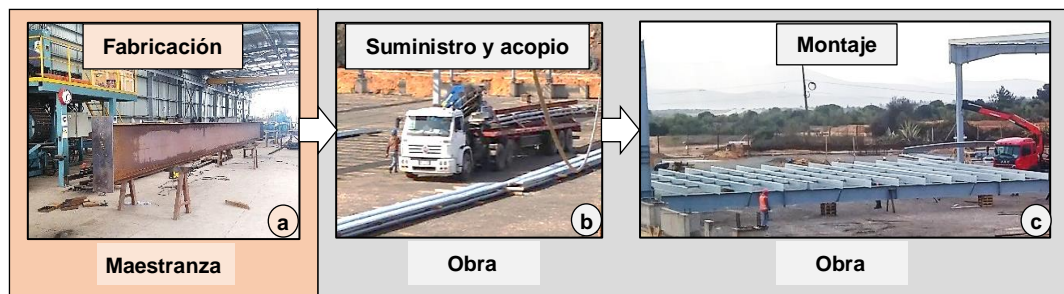


Figura 5.4. Cadena de suministro de perfiles de acero

El montaje de costaneras es uno de los varios procesos que conforman el montaje estructural en acero. Consiste en la instalación de dos elementos estructurales mediante apernado: una *costanera*, sobre dos vigas de acero paralelas, y cinco *colgadores* entre costaneras. La importancia y rol de estos elementos se profundizarán en la sección 5.3.1.

En el siguiente apartado se describirán en detalle las tareas, suministros y máquinas utilizadas para realizar el montaje de costaneras, así como también la relación entre éste proceso y las demás actividades que componen el montaje estructural de la obra.

5.2. Zona de trabajo del proceso de montaje de costaneras

Una zona de trabajo típica para la instalación de costaneras en tierra se muestra en la Figura 5.5. Consiste en un terreno amplio en donde el camión pluma puede estacionarse y transitar sin mayor dificultad. El camión pluma se estaciona generalmente entre las vigas paralelas de manera que su brazo pueda abarcar la mayor área de trabajo posible. A medida que avanza la instalación de costaneras se hace necesario que el camión pluma cambie de posición y se estacione.

En el caso de realizar el montaje de costaneras en altura, situación no prevista y sólo observada durante el segundo estudio, la situación es análoga. El mayor cambio respecto a la instalación en tierra se relaciona con la forma en que los trabajadores se trasladan, pues para el caso de montaje en altura es necesario el uso de una plataforma elevadora y/o brazo articulado para alcanzar los puntos de apernado, además de la utilización obligatoria de un arnés de seguridad por parte de los trabajadores que realizan la instalación. Por otro lado, para el montaje en tierra, los instaladores sólo deben caminar hacia los puntos de apernado, sin la necesidad de un arnés de seguridad. En ambos casos, el equipo de seguridad básico utilizado por los trabajadores incluye casco, antiparras, chaleco reflectante, guantes y zapatos de seguridad. La operación de la maquinaria involucrada obedece a procedimientos regulados por el Departamento de Prevención de Riesgos, sin existir diferencia entre ambos casos de montaje.



Figura 5.5. Zona de trabajo típica para montaje de costaneras. Montaje de costaneras a nivel de suelo

Las costaneras a instalar son perfiles estructurales de acero tipo Z, suministrados por maestranza en paquetes de 4 elementos conforme a su capacidad de producción y al avance de la obra. Las perforaciones en la costanera se realizan durante su fabricación, por lo que son suministradas en condición de ser instaladas de forma inmediata.

El par de vigas en donde se instalan las costaneras ha sido ensamblado y posicionado previamente por otro proceso de montaje según sea instalación en tierra o en altura. Cada viga posee 15 puntos de apernado, en los cuales se conectan los extremos de la costanera mediante 4 pernos por extremo. Entre costaneras se instalan 5 colgadores equiespaciados. Estos perfiles tipo L son suministrados por maestranza en *pallets*. Su descarga y acopio se realiza dentro del terreno de la obra y, a veces, alejado de la zona de trabajo.

Previo a la instalación de las costaneras (y en ocasiones incluso antes del armado de vigas) se descarga y acopia el suministro de costaneras enviado por la maestranza para la sección de techo a ensamblar. El acopio de costaneras se ubica a un costado de la zona de trabajo para estar al alcance del camión pluma y no interrumpir sus movimientos.

5.3. Suministros del proceso

A continuación, se describen los principales suministros del proceso de montaje estructural de costaneras.

5.3.1. Costaneras y colgadores

Las costaneras son elementos estructurales que, en conjunto, cumplen la función de soportar la cubierta de la estructura y las cargas que puedan existir sobre ésta. Debido a la inclinación del techo, las costaneras se encuentran sometidas fundamentalmente a flexión biaxial, por lo que se podría producir pandeo lateral torsional, o volcamiento, en éstas. Para evitar este tipo de falla se utilizan colgadores, elementos estructurales instalados entre costaneras cuyo fin es disminuir la distancia entre sus arriostramientos laterales, restringiendo así su desplazamiento lateral y el volcamiento. De esta forma, los colgadores se encuentran sometidos fundamentalmente a cargas axiales.

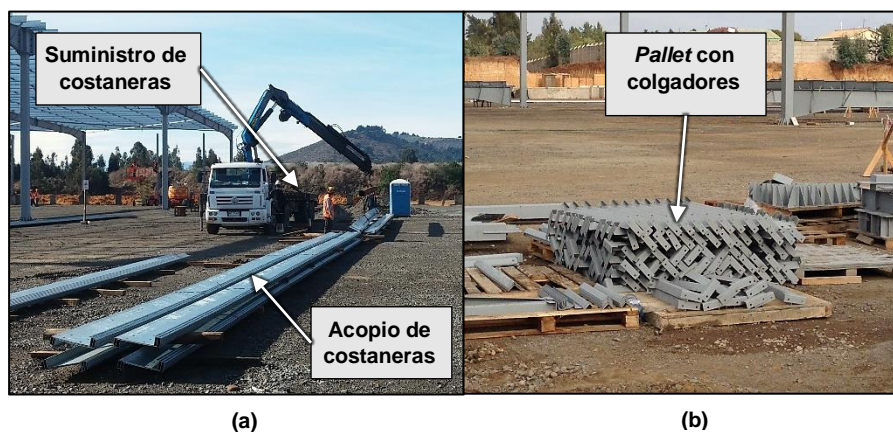


Figura 5.6. Suministro de materiales más relevantes del proceso de montaje de costaneras

El transporte y descarga de costaneras y colgadores desde maestranza es realizado por un camión pluma de la maestranza en conjunto con algún grupo trabajadores de la constructora que se encuentre presente al momento de la recepción del material. En la Figura 5.6(a) se observa la descarga y acopio de paquetes de costaneras antes de tener armadas las vigas. El acopio de colgadores mostrado en la Figura 5.6(b) puede abastecer a más de una zona de trabajo pues las dimensiones de este elemento son estándar en la obra.

Para el caso de instalación de costaneras en tierra, trabajadores transportan una cantidad razonable de colgadores a la zona de trabajo antes del comienzo del proceso. En el caso de instalación de costaneras en altura, la plataforma elevadora y/o brazo articulado utilizado es precargado con una cantidad razonable de colgadores.

5.3.2. Pernos y herramientas manuales

Los pernos a utilizar para el ensamblado de las costaneras en las vigas y los colgadores entre costaneras son suministrados por maestranza en paquetes con denominación según modelo BIM desarrollado por la división de ingeniería. Estos elementos, junto a las herramientas manuales utilizadas para el apernado, son almacenados en la bodega de la obra, desde donde son retirados y transportados a la zona de trabajo al momento de iniciar este proceso, en una cantidad adecuada para el avance planificado. Algunos equipos y herramientas utilizadas para este proceso son estrobos, eslingas, grilletes, ganchos giratorios, sogas y llaves de ajuste.

5.4. Maquinaria utilizada por el proceso

Para el caso de instalación de costaneras en tierra, el camión pluma (Figura 5.7(a)) es la única máquina utilizada, con una importancia fundamental debido al peso y dimensiones de la costanera. En el caso de instalación de costaneras en altura es igualmente necesario el camión pluma, pero se agrega el uso de una plataforma elevadora (Figura 5.7(b)) o brazo articulado (Figura 5.7(c)) para que trabajadores puedan realizar labores en altura.

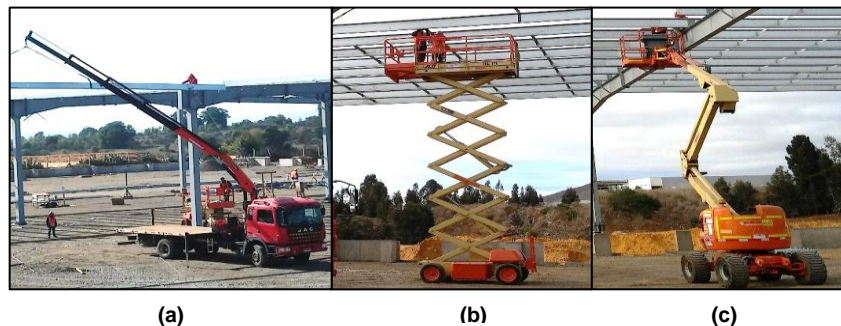


Figura 5.7. Maquinaria utilizada en el proceso de montaje de costanera

La cantidad de ocupantes máxima de la plataforma elevadora y del brazo articulado, según el fabricante, es de 2 trabajadores. La constructora posee una plataforma elevadora y un brazo articulado, mientras que el servicio del camión pluma corresponde a un subcontrato.

5.5. Principales tareas del proceso

Las tareas descritas a continuación corresponden a aquellas que son productivas. Estas tareas son análogas entre el caso de montaje de costaneras en tierra y el caso en altura. Para aquellas tareas en donde su desarrollo presente diferencias notables según el caso de instalación de costanera, la diferencia es explícitamente descrita.

El orden de presentación de las tareas nombradas a continuación pretende representar el orden lógico del proceso constructivo. Es importante destacar que el desarrollo de éstas no es completamente lineal, debido a que algunas actividades se desarrollan en paralelo.

1) *Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras*

Luego de que el camión pluma se ha posicionado y estacionado entre dos vigas paralelas, el operador de la grúa extiende el brazo del camión pluma, en cuyo extremo se ha preinstalado una eslinga de carga, hasta alcanzar el acopio de costaneras. En la Figura 5.8 se observa, además de la actividad descrita, a dos trabajadores esperando la eslinga de carga para poder iniciar la siguiente actividad.

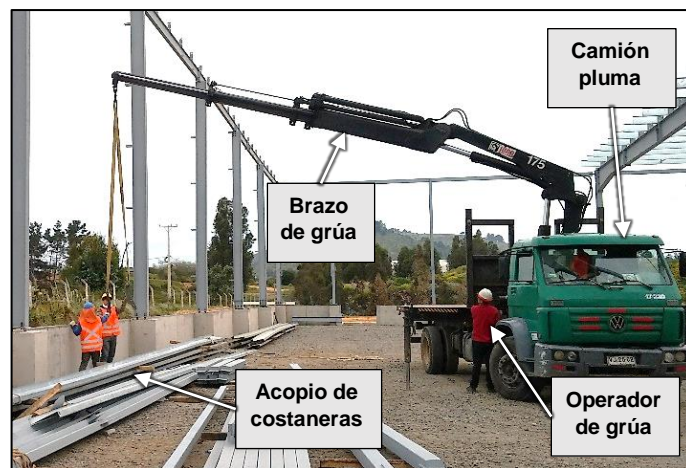


Figura 5.8. Tarea: Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras

2) *Ajustar amarra de carga en costanera*

Una vez que el extremo del brazo de grúa se ha posicionado sobre el acopio de costaneras, los trabajadores ajustan la eslinga de carga en la costanera. En la Figura 5.9(a) se observa la eslinga siendo conectada a la costanera en dos puntos mediante apernado (con dos pernos por punto), mientras que en la Figura 5.9(b) se indica el resultado de este apernado.

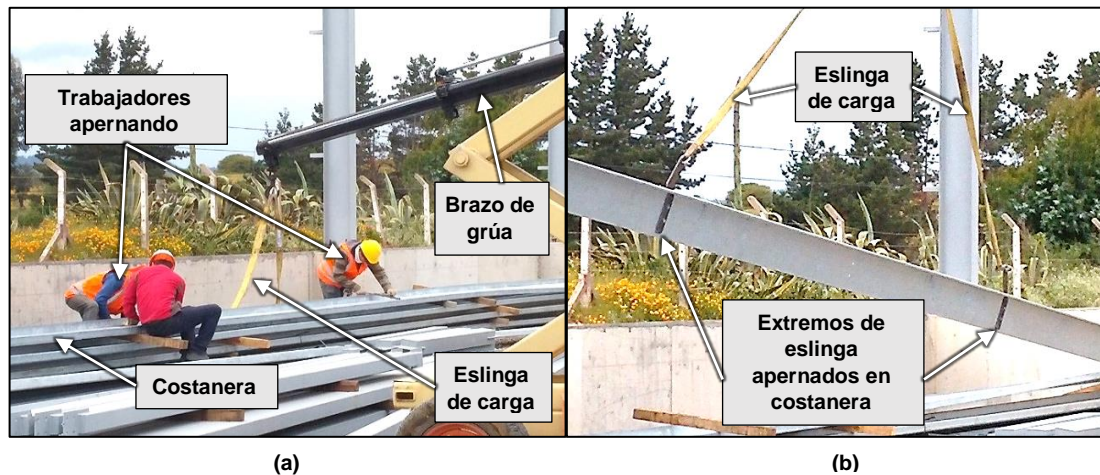


Figura 5.9. Tarea: Ajustar eslinga de carga en costanera

3) *Instalar cuerda guía*

Para poder controlar los movimientos de la costanera, mientras se encuentre elevada y es trasladada por la grúa, se instalan cuerdas guía en los extremos de la costanera mediante un nudo especial. Lo descrito anteriormente se observa en la Figura 5.10. En la zona de trabajo se cuenta con dos sogas para utilizarse como cuerdas guías.



Figura 5.10. Tarea: Instalar cuerda guía

4) *Elevar y descargar costanera sobre par de vigas*

Una vez que la costanera ha sido conectada a la grúa mediante las eslingas y se han instalado las cuerdas guías se procede a utilizar la grúa para elevar la costanera y trasladarla a su punto de instalación. En la Figura 5.11(a) se observa el desarrollo de esta actividad cuando la instalación de la costanera ocurre en tierra, donde las vigas están en tierra, mientras que la Figura 5.11(b) muestra el caso de instalación en altura, donde las vigas ya se han montado previamente a las columnas.



Figura 5.11. Tarea: Elevar y descargar costanera sobre par de vigas

5) *Guiar elevación y descarga con cuerda guía*

El movimiento de la costanera mientras es elevada y descargada por la grúa es controlado por trabajadores en tierra, quienes utilizan cuerdas guía previamente instaladas en la costanera para posicionarla en su punto de instalación. En la Figura 5.12 se observa un trabajador tensando la cuerda guía para dirigir el movimiento de una costanera.



Figura 5.12. Tarea: Guiar elevación y descarga con cuerda guía

6) *Sujetar costanera en suspensión*

Dado que la costanera posee un peso propio considerable se hace necesario sujetarla en suspensión luego de descargarla, para evitar su deflexión por peso propio y así permitir que las perforaciones en las costaneras, vigas y colgadores coincidan. En la Figura 5.13 se ilustra la situación antes descrita, observándose trabajadores comenzando el apernado de la costanera en vigas mientras la grúa continua sosteniendo la costanera.



Figura 5.13. Tarea: Sujetar costanera en suspensión

7) *Retirar cuerda guía*

Al finalizar la descarga de la costanera sobre la viga, se retira la cuerda guía para permitir su instalación en la siguiente costanera. La situación que se muestra en la Figura 5.14 corresponde al retirado de la cuerda para la instalación de costanera en altura, en cuyo caso el trabajador que realiza el apernado a la viga es también quien desconecta la cuerda guía. En la instalación en tierra lo anterior no necesariamente se cumple, pues cualquier trabajador puede realizar la labor.

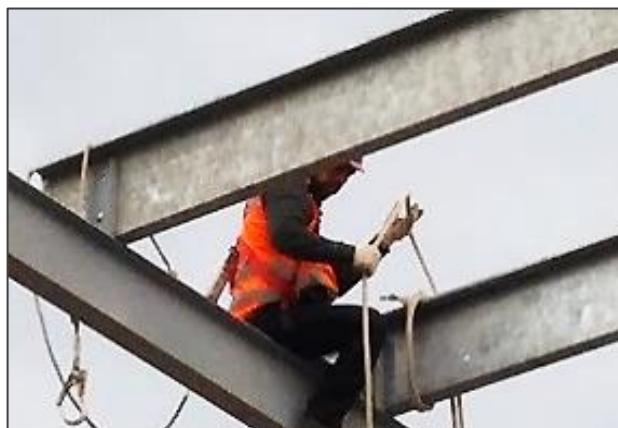


Figura 5.14. Tarea: Retirar cuerda guía

8) *Apernar extremo de costanera en viga*

La costanera se ensambla a las vigas mediante cuatro pernos en cada extremo. El caso de apernado mostrado en la Figura 5.15(a) corresponde al montaje de costanera en tierra, para el cual se destinan, generalmente, dos trabajadores por extremo de costanera. El caso representado en la Figura 5.15(b) corresponde al montaje de costanera en altura, para el cual se destina un trabajador por extremo de costanera, quien siempre está en altura sobre su viga.



Figura 5.15. Tarea: Apernar extremo de costanera en viga

9) *Apernar colgadores entre costaneras*

En la Figura 5.16(a) se presenta el desarrollo de esta tarea cuando la instalación de costaneras se realiza en tierra, mientras que la Figura 5.16(b) representa su desarrollo cuando la instalación de costaneras se lleva a cabo en altura y se hace necesario el uso de plataformas elevadoras o brazos articulados para alcanzar el punto de instalación.

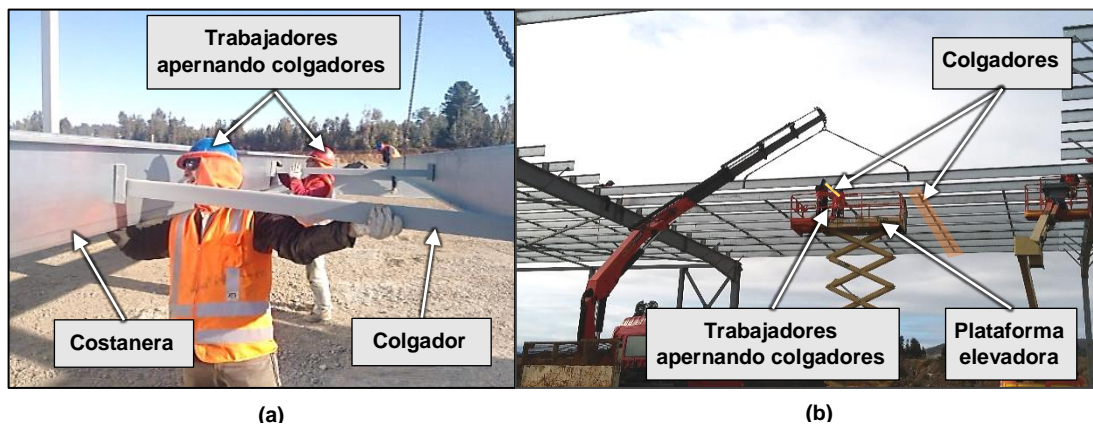


Figura 5.16. Tarea: Apernar colgadores entre costaneras

10) *Desconectar eslinga de carga de costanera*

Esta actividad se puede realizar si ya no es necesario sujetar la costanera en suspensión. En la Figura 5.17 se observan dos trabajadores llevando a cabo esta actividad para el caso de instalación de costanera en altura. Para el caso de instalación de costanera en tierra el desarrollo de esta actividad es análogo, con la salvedad de que no se utiliza plataforma elevadora o brazo articulado para alcanzar el punto de desconexión de la eslinga.



Figura 5.17. Tarea: Desconectar eslinga de carga en costanera

5.6. Relación entre las actividades del proceso

Durante las observaciones en terreno se hizo evidente que el proceso de montaje de costaneras tiene una naturaleza cíclica, centrada en la instalación individual de costaneras sobre un par de vigas, lo cual facilita la aplicación de métodos estadísticos para el análisis.

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de un algoritmo, mediante el cual es posible visualizar y transparentar la relación secuencial de las actividades implicadas en el proceso y sus límites. En este caso, el algoritmo para realizar el montaje de costaneras se compone de tareas individuales desarrolladas siguiendo un orden lógico.

Para realizar el diagrama de flujo del proceso se identificaron las principales actividades realizadas, las relaciones de dependencia entre ellas y los recursos utilizados mediante observación en terreno y conversaciones con el personal.

5.6.1. Diagrama de flujo del montaje de costaneras

El diagrama de flujo que se presenta en la Figura 5.18 indica las tareas mínimas realizadas durante el montaje de una costanera, considerando como punto de partida el posicionamiento de la pluma de la grúa sobre el acopio de costaneras.

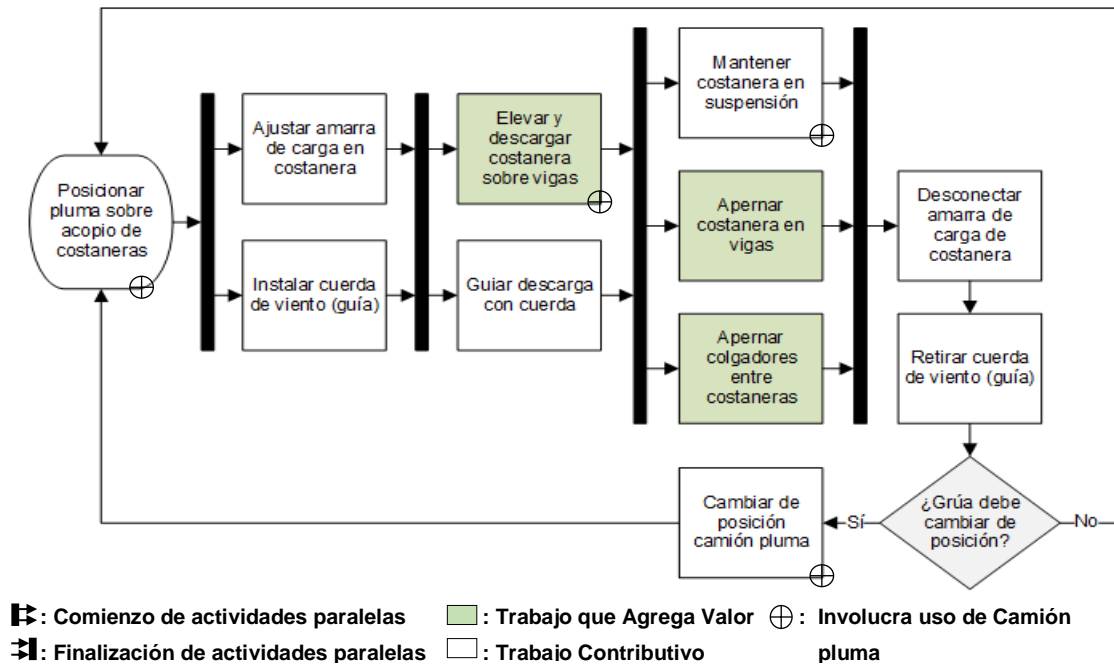


Figura 5.18. Diagrama de flujo del proceso de montaje de costaneras para la obra en estudio

Se han destacado en color verde aquellas actividades del proceso que agregan valor en el proceso, es decir, su desarrollo se ve plasmado en el producto final. Las tareas restantes son aquellas consideradas contributivas, pues no agregan valor, pero son necesarias para completar el proceso. Las tareas posicionadas entre barras negras son aquellas que se realizan paralelamente, requiriéndose su finalización para continuar con las siguientes.

5.6.2. Diferencia entre montaje de costaneras en tierra y en altura

Durante el experimento comparativo, el montaje de costaneras tuvo un cambio no previsto pero relevante en su forma de realización, pasando de llevarse a cabo sobre vigas apoyadas en tierra, a realizarse directamente en altura, sobre vigas ya montadas en columnas. A pesar de esto, el diagrama de flujo indicado en la figura anterior es válido para ambos casos.

La única diferencia operacional entre montaje de costaneras en tierra y altura es el uso de una plataforma elevadora o brazo articulado en el segundo caso, necesaria para transportar a los trabajadores, colgadores, pernos y tuercas a los puntos de montaje. En el montaje en tierra los trabajadores se trasladaban entre los distintos puntos de trabajo caminando, lo cual es mucho más rápido y se economiza en el uso de maquinaria adicional.

De acuerdo a la administración de la obra, el principal motivo de esta modificación fue la necesidad de eliminar otro proceso constructivo, el izaje de una sección de techo, consistente en dos vigas y 15 costaneras previamente montadas en tierra. Para realizar este proceso era necesario utilizar dos grúas de alto costo monetario.

5.7. El montaje de costaneras en el contexto global de la obra

La presente sección tiene como objetivo indicar cómo el proceso de montaje de costaneras puede afectar a la obra desde un punto de vista global, siguiendo un enfoque holístico. Para esto, se analiza cualitativamente, y en conjunto, la interacción de los procesos y variables que conforman el sistema del montaje estructural, el cual, a su vez, es parte de un sistema mayor definido por la obra gruesa del proyecto particular en estudio.

5.7.1. Principales variables del sistema conformado por la obra gruesa

Como se ha mencionado en la sección 5.1.1, la secuencia constructiva de las principales partidas de la obra desde el punto de vista estructural, equivalente a la ruta crítica, está determinada por el orden de ejes en el que se realizará el montaje, el que se define a modo de mantener la estabilidad de la estructura durante su construcción. Sin embargo, para que la empresa constructora realice la planificación global de la obra y determine los recursos necesarios para su ejecución, debe considerar, además de la secuencia constructiva, la capacidad de la maestranza proveedora para suministrar los perfiles de acero requeridos en terreno. La relación entre los principales actores de este proyecto en torno a la planificación de la obra y la cadena de información se encuentra detallado en la sección 5.1.2.

La gestión de obra antes mencionada corresponde al de obra gruesa en su totalidad, por lo que las decisiones adoptadas según los criterios antes expuestos tienen el potencial de influir en todos sus procesos, y viceversa. Se tiene entonces que, siguiendo un enfoque holístico, la obra gruesa corresponde al sistema mayor, el cual abarca a todas sus partidas estructurales en conjunta interacción con el diseño de ingeniería, la planificación, la cadena de suministro, la calidad, la comunicación, entre otras variables de gestión. La revisión de literatura presentada en el capítulo 2 repasó el conocimiento actual sobre algunos de estos aspectos de gestión de la construcción, por estar directamente relacionados con el alcance de esta investigación.

5.7.2. El montaje de costaneras como parte de un sistema mayor

Para evaluar cómo el montaje de costaneras puede afectar a la obra en forma global, es necesario determinar su posición dentro del sistema mayor, la obra gruesa, y cómo se relaciona con los demás procesos constructivos. El componente más relevante de este sistema estructural corresponde a la última partida de la secuencia constructiva, el montaje estructural en acero (ver sección 5.1.3), y es en este componente en donde actúa el montaje de costaneras. Para comprender la ubicación del montaje de costaneras en la secuencia constructiva primero se describirá, a grandes rasgos, la cadena de actividades de montaje de

acuerdo a lo observado en terreno. Cabe destacar que las características técnicas de los perfiles estructurales y materiales utilizados en los procesos de montaje estructural, salvo para la instalación de costaneras, no se han incluido en esta sección, debido a que son irrelevantes con respecto a los alcances y objetivos de esta investigación.

Considerando el caso inicial de instalación de costaneras a nivel del suelo, el montaje completo de una sección de techo requiere de la instalación de 4 columnas, mientras, en tierra, se arman 2 vigas, se instalan 15 costaneras sobre éstas ya ensambladas y, entre las vigas y las costaneras, se conectan 7 riostras por viga (*Fly-Bracing*). Luego, la sección de techo compuesta por las vigas, costaneras y riostras apernadas, se eleva y ensambla en las columnas en un proceso denominado izaje de techo. Finalmente, en forma previa a la pavimentación de losa y la instalación de la cubierta, se ensamblan 12 riostras en total entre las costaneras, en ciertos puntos definidos por el diseño estructural, y se conectan 2 riostras o tensores de techo.

Por otro lado, la pavimentación de la losa interior antecede a la instalación de cubierta a modo de permitir su correcto curado y fraguado en condiciones ambientales. Además, la pavimentación sólo puede desarrollarse toda vez que la sección de techo, sin cubierta, se encuentre totalmente ensamblada en altura y no se requiera más uso de maquinaria sobre el área a pavimentar.

Para visualizar lo descrito anteriormente, los productos de los procesos de montaje estructural requeridos para realizar la instalación de la cubierta, se muestran en la Figura 5.19. Se ha omitido mención alguna del producto del montaje de costaneras, por ser un proceso que ya ha sido descrito en forma extensa a lo largo de este capítulo.

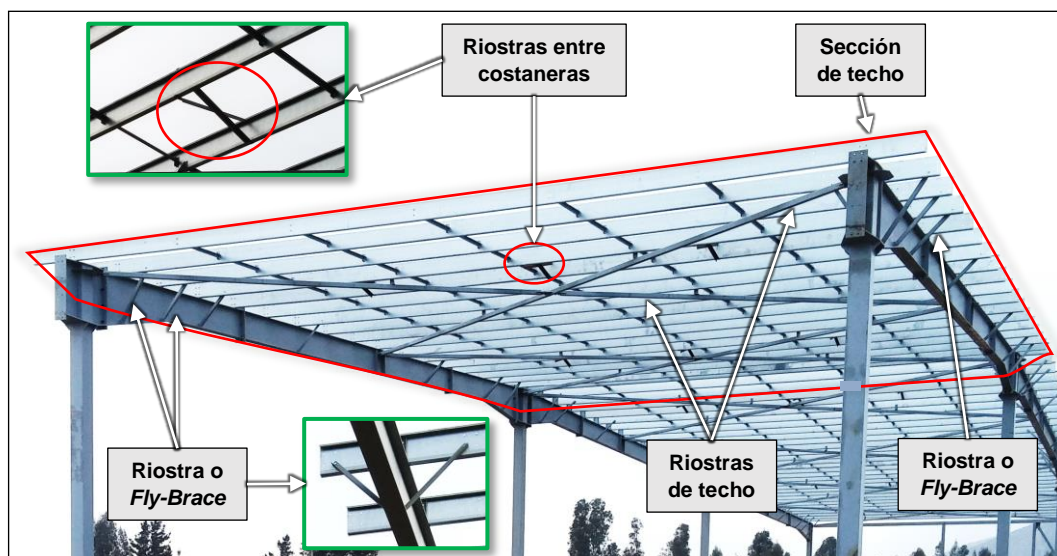


Figura 5.19. Productos de los procesos de montaje estructural para cubierta

Además de la instalación de cubierta, el montaje estructural considera las actividades necesarias para permitir la instalación del revestimiento exterior en los marcos perimetrales. En relación a esto, y de acuerdo a lo observado en terreno, existen dos situaciones:

- 1) En el primer caso, luego de instalar columnas perimetrales, se ensamblan en altura vigas perimetrales para conformar el marco, lo cual permite el montaje de la red de apoyo (perfiles Z y L) para la instalación de los paneles de revestimiento.
- 2) En el segundo caso el procedimiento es similar, añadiéndose a la ruta constructiva el arriostramiento de las columnas previo al montaje de la red de apoyo al revestimiento. Esto se debe a que, por razones de resistencia estructural, el diseño de ingeniería estableció que algunos de los marcos perimetrales deben ser reforzados arriostrando sus columnas. El producto de estos casos se muestra en la Figura 5.20.

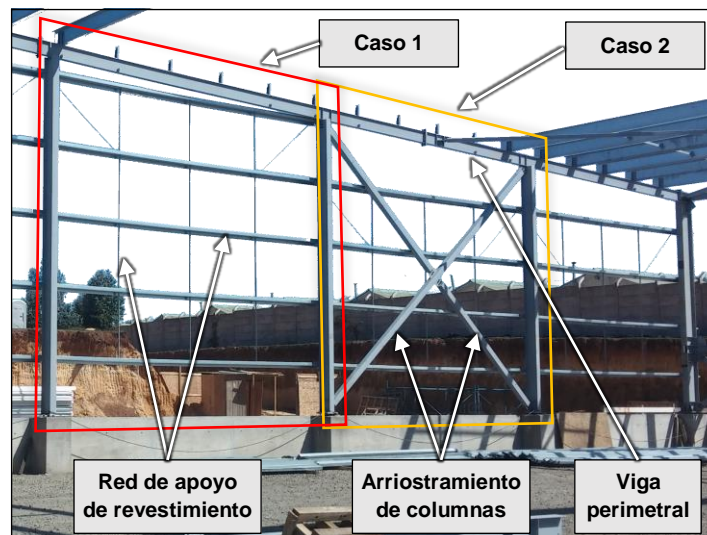


Figura 5.20. Productos de los procesos de montaje estructural para revestimiento

A partir de las observaciones llevadas a cabo en terreno, y descritas en los párrafos anteriores, es posible realizar un diagrama en donde se represente de forma visual cómo se relacionan los procesos del montaje estructural, para la obra en estudio.

La Figura 5.21 muestra la relación de dependencia entre los procesos que constituyen el montaje estructural, para el caso en donde la instalación de costaneras, proceso destacado en color amarillo, se realiza a nivel del suelo.

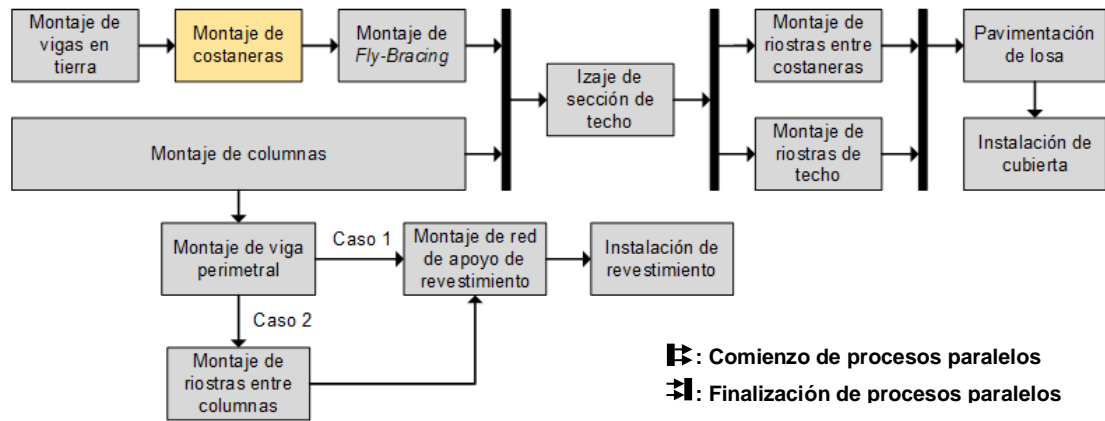


Figura 5.21. Relación de dependencia entre los procesos del montaje estructural – Con izaje de techo

A grandes rasgos, se observan las dos rutas de procesos antes descritas, una que finaliza con la instalación del revestimiento y otra con la instalación de la cubierta, siendo parte de esta última el montaje de costaneras.

Por otro lado, la decisión adoptada por la empresa constructora de eliminar el proceso de izaje de techo, modificó la relación de dependencia representada por la Figura 5.21, afectando la ruta constructiva de la instalación de cubierta. La nueva configuración resultante se muestra en la Figura 5.22.

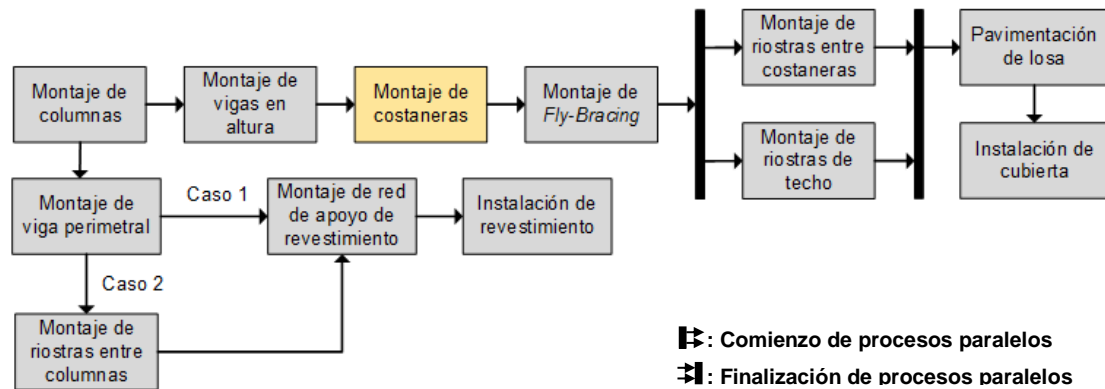


Figura 5.22. Relación de dependencia entre los procesos del montaje estructural – Sin izaje de techo

Al comparar las figuras anteriores se aprecia que, la eliminación del izaje de sección de techo tuvo como consecuencia directa la anulación del paralelismo entre el montaje de columnas y el ensamblado de la sección del techo, pues tanto la instalación de vigas, como de costaneras y su arriostamiento, fue forzada a realizarse directamente en altura sobre las columnas, requiriendo en forma previa de estas ya instaladas.

Por su parte, la realización de estos procesos en altura implicó un aumento del protocolo de seguridad laboral, el uso de nuevas máquinas para movilizar a los trabajadores a los puntos de instalación y, particularmente, un aumento de la dificultad en el armado de las

vigas, proceso donde se tuvo que incorporar un apuntalamiento a tierra durante la unión de dos de sus secciones con las columnas.

Es por esto que, a pesar de eliminar completamente el izaje de sección de techo, la serialización de la ruta constructiva, junto al inevitable aumento del tiempo utilizado por el desarrollo de los procesos en altura, dificulta la medición del beneficio neto obtenido a nivel global, desde el punto de vista operacional, con respecto a la situación inicial. Desde el punto de vista científico, sin un estudio acabado de los procesos de montaje de columnas, vigas, costaneras y *Fly-Bracing*, para ambos periodos de la investigación, es imposible determinar la relación causal entre la variable independiente, la eliminación del izaje de sección de techo, y las variables dependientes, el uso de recursos por parte de las tareas de tales procesos, pudiendo existir causas distintas a este cambio impuesto por la constructora que expliquen las diferencias posibles de medir entre ambos periodos de estudio.

Dado que este cambio impuesto por la constructora se presentó en una etapa avanzada de esta investigación, no formó parte del problema planteado, de sus alcances ni de sus hipótesis, así como tampoco del diseño e implementación del sistema de registro y observación de actividades que será detallado en el próximo capítulo, por lo que aun de ser posible realizar el estudio acabado antes mencionado, su ejecución no traería beneficios en pos de cumplir los objetivos de esta investigación, centrada específicamente en la relación entre la planificación de la cadena de suministro y el montaje de costaneras.

Sin embargo, el análisis de los resultados obtenidos por el experimento comparativo realizado en específico sobre el montaje de costaneras (ver sección 8.4 y anexo B), permitió identificar las tareas creadas en él como consecuencia de la eliminación del izaje, y medir sus efectos sobre este proceso en particular, lo cual era requisito para conocer, aislar y medir el efecto real sobre el proceso del cambio implementado en la gestión del suministro.

5.7.3. Influencia del montaje de costaneras sobre la obra global

En la sección anterior se ha determinado la ubicación lógica del montaje de costaneras con respecto al montaje estructural, perteneciendo a la ruta constructiva que finaliza con la instalación de cubierta. En el caso donde este proceso se realiza a nivel del suelo, su ejecución se produce en forma paralela al montaje de las columnas, sin embargo, es el primero quien define la ruta crítica. Esto se debe al alto número de elementos que deben ser ensamblados en tierra para conformar una sección de techo, especialmente de costaneras y colgadores, cuyo número es considerablemente mayor al de las columnas necesarias (Ver Figura 5.19). Por otro lado, cuando el montaje de costaneras se realiza en altura, se elimina su paralelismo con el montaje de columnas, por lo tanto, la única ruta constructiva restante pasa a ser la ruta crítica.

De acuerdo al modelo inclusivo de la construcción propuesto por Salim y Bernold (Zhang *et al.* 2005) entregado en la Figura 2.5, toda perturbación que afecte las entradas o a las tareas del proceso, ya sea por condiciones controlables como la falta de suministros, problemas de calidad de materiales, fallos o ausencia de las máquinas y herramientas requeridas, y errores durante su ejecución, así como también por condiciones incontrolables tales como un clima adverso, tienen el potencial de modificar las salidas del proceso, afectando de esta forma las entradas del siguiente.

En el caso particular del montaje de costaneras, el gran número de elementos que debían ser instalados a nivel global, cercano a las 480 costaneras y 2.200 colgadores, lo hacía muy susceptible de verse perturbado por condiciones internas y externas al terreno, lo cual amplifica su influencia sobre la obra global.

Dado que, en ambos casos de montaje, el proceso de instalación de costaneras es parte de la ruta crítica de construcción de la cubierta, las perturbaciones producidas en él, tanto por condiciones controlables como incontrolables, tienen el potencial de afectar a toda su ruta constructiva y, por extensión, al montaje estructural, retrasando el desarrollo de sus actividades y disminuyendo la productividad global. De esta forma, aspectos de gestión del sistema mayor, tales como la planificación de obra, la programación de camiones con hormigón para pavimentar la losa, la coordinación con la maestranza, el arriendo de maquinarias, el cumplimiento de plazos, entre otros, pueden verse afectados, requiriéndose así la toma de nuevas decisiones que realicen modificaciones sobre estos aspectos y los compatibilicen con la realidad en terreno.

6. SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y REGISTRO DE ACTIVIDADES

Mantener un registro manual de la cantidad de trabajadores y el tiempo utilizado en cada una de las actividades del proceso requiere de un observador trabajando de forma ininterrumpida, con conocimientos acabados del proceso y con experiencia en terreno. En la práctica, esta labor podría ser muy compleja según sea la dificultad del proceso, la cantidad de trabajadores involucrados y el número de actividades que se desarrollen en paralelo.

La mantención de un registro manual en obra no permite la obtención de información en tiempo real sobre la productividad del proceso estudiado, pues luego de recoger los datos aun restaría procesar la información recabada. Además, debido a la falta de un respaldo visual de lo ocurrido durante la realización del proceso, el resultado del procesamiento de los datos no es comprobable y todo detalle no captado por el observador en terreno, se pierde de forma irrecuperable.

Desde el punto de vista del estudio mismo, no es recomendable la presencia constante de un observador en terreno, pues se produciría un Efecto Hawthorne, o de Reactividad Psicológica, en la cuadrilla; De acuerdo a Bernold y AbouRizk (2011) la mera presencia del observador podría influir en la conducta de los trabajadores al saber que están siendo estudiados, de forma positiva o negativa dependiendo de la situación. De producirse este efecto, las conclusiones obtenidas del estudio podrían ser muy distantes de la realidad.

El sistema de observación diseñado para este estudio permite crear un registro fotográfico de lo ocurrido en obra durante la jornada laboral y no requiere de un observador en terreno, lo que es ideal para cuando el investigador es un agente externo a la constructora y cuenta con acceso limitado. Este sistema brinda capacidad de comprobación y reprocesado de la información en caso de cualquier error y además minimiza el Efecto Hawthorne.

6.1. Sistema implementado

Para registrar la actividad en terreno, se utilizaron cámaras de vigilancia interconectadas inalámbricamente a través de un *router Wi-Fi* y posicionadas en puntos estratégicos en las cercanías del perímetro de la obra. Las fotografías captadas son almacenadas en una memoria flash conectada al *router* e incluyen la fecha y hora a la que son capturadas, con resolución de tiempo al segundo. Mediante el uso de cámaras de vigilancia, se logra “disfrazar” la actividad de observación del proceso constructivo como la implementación de un sistema de seguridad en la obra.

6.2. Equipos utilizados y ubicación en obra

Se dispuso en terreno de una cámara de vigilancia fija, una cámara de vigilancia móvil comandada por software, un *router Wi-Fi* con capacidad de emulación de servidor FTP en una memoria flash USB, una memoria flash USB con capacidad de 8 GB, un inversor de corriente, una batería de ciclo profundo y dos temporizadores digitales.

En la Figura 6.1 se presenta un esquema de la ubicación de los dos puntos de observación considerados para el registro del proceso. Estas ubicaciones se determinaron en base a la planificación de obra.

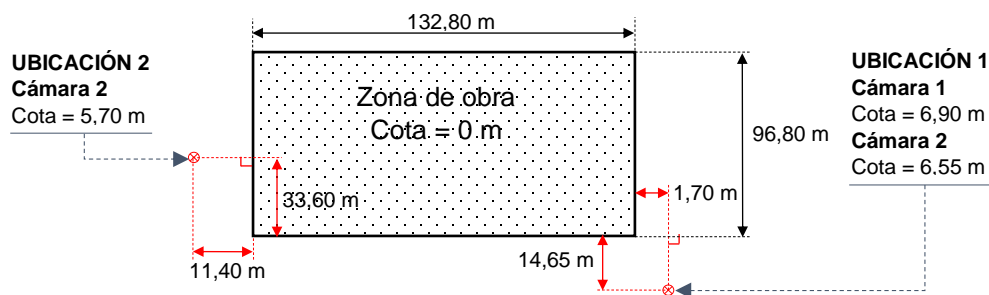


Figura 6.1. Esquema en planta de ubicación en obra de cámaras de video

Se ha denominado “Cámara 1” a aquella con visor fijo y “Cámara 2” a la que cuenta con un sistema de movimiento rotacional horizontal y vertical, también denominada cámara móvil. Las cotas indicadas en la figura anterior para las cámaras están referenciadas al nivel del terreno dentro de la obra al momento de la implementación del sistema, el cual correspondía al de la base compactada.

En la Figura 6.2 se muestra la ubicación 1 del sistema de observación implementado en obra, el cual se emplaza contiguo al acceso vehicular a la obra. Tiene como principal característica contar con acceso a la red eléctrica utilizada en la instalación de faenas. Se observa, además, la posición de las 2 cámaras instaladas.

La caja de madera que se observa en la Figura 6.2 lleva montada en su puerta la cámara 2, mientras que la cámara 1 se encuentra separada y a mayor altura. Dentro de la caja están contenidos la instalación eléctrica de este punto, el router Wi-Fi, la memoria flash USB y un temporizador digital para automatizar el encendido de las cámaras, durante la jornada laboral, y apagado durante el resto del día. La instalación del router en esta ubicación se debe a que cuenta con acceso a la red eléctrica de la obra, lo que le permite mantenerse encendido en todo momento y así asegurar la conectividad de las cámaras.

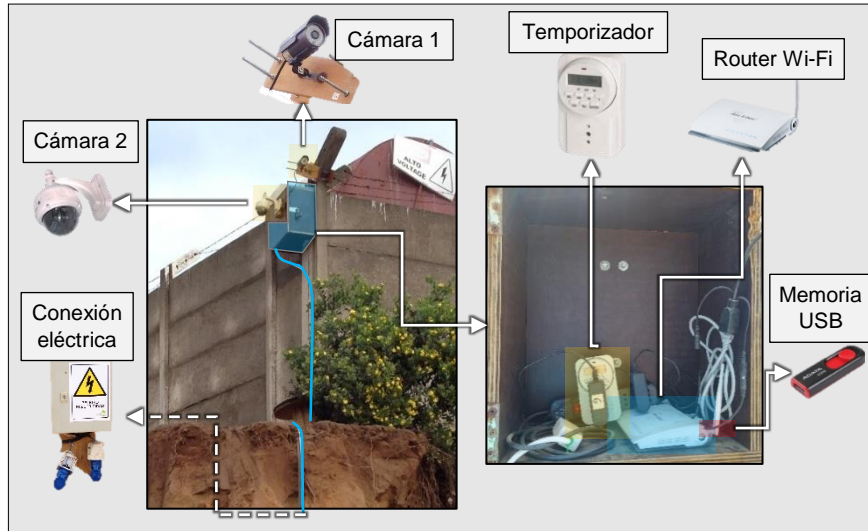


Figura 6.2. Dispositivos utilizados en la ubicación 1 para el sistema de observación

En la Figura 6.3 se muestra la ubicación 2 del sistema de observación implementado en obra. Tiene como principal característica no contar con acceso a la red eléctrica, sino que alimentar a la cámara mediante una batería de ciclo profundo en conjunto con un inversor de corriente. La batería utilizada tiene la capacidad suficiente para proveer energía a la cámara durante toda la semana laboral.

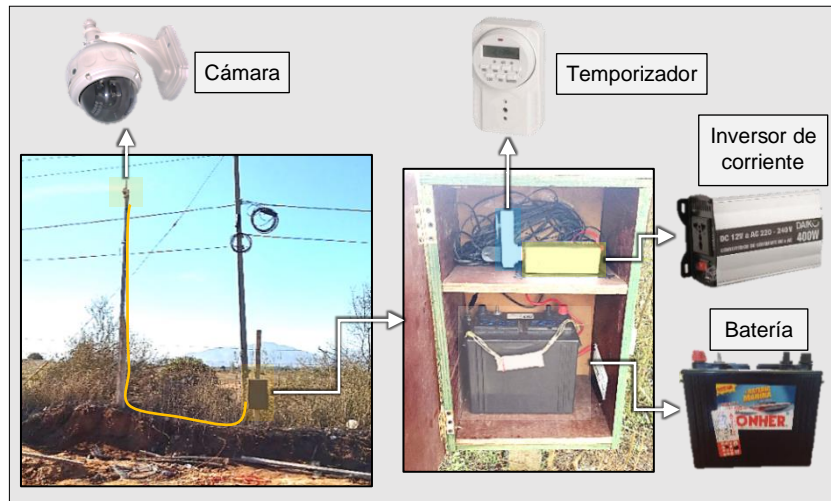


Figura 6.3. Dispositivos utilizados en la ubicación 2 para el sistema de observación

La caja de madera que se observa en la Figura 6.3 contiene la instalación eléctrica antes descrita y un temporizador digital para automatizar el encendido de la cámara durante la jornada laboral y el apagado durante el resto del día.

6.3. Consideraciones del sistema de observación

Una ubicación ideal para las cámaras es aquella que entrega un nivel de detalle de imagen adecuado, para identificar las actividades realizadas y los materiales utilizados durante el proceso estudiado y, al mismo tiempo, una visibilidad lo suficientemente amplia para captar completamente la zona de trabajo en un mismo cuadro (Bernold y AbouRizk, 2011). Mientras más cerca de la zona de trabajo se instale el sistema, disminuye el área visible, pero aumenta el nivel de detalle. Por otra parte, las cámaras deben estar suficientemente alejadas de la zona de trabajo para que los operarios no las consideren invasivas y no se entorpezca el desarrollo del proceso.

Por su posición relativa a la zona de obra y el uso de 2 cámaras, la ubicación 1 entregó imágenes con gran área de visibilidad y un nivel de detalle adecuado al proceso estudiado durante la fase inicial del experimento. La instalación de una cámara en la ubicación 2 fue necesaria para observar zonas muy alejadas para ser captadas, por las cámaras posicionadas en la ubicación 1, durante la segunda fase del experimento. Por su posición relativa a la zona de obra, cercano a un punto medio del perímetro, se obtuvieron imágenes con área de visibilidad menor en comparación a las obtenidas de la ubicación 1 pero adecuadas para el proceso estudiado. Debido a lo anterior, fue necesario continuamente dirigir la cámara hacia la zona de trabajo.

Ambas ubicaciones se encuentran lo suficientemente alejadas de las zonas de trabajo para no ser consideradas invasivas por los trabajadores y, al no estar dentro de la zona de obra, no interrumpen el desarrollo normal de los procesos constructivos.

Las imágenes obtenidas por las cámaras tienen una resolución de 0,3 Mpx, lo cual se considera bajo para el estándar actual de las cámaras digitales, pero normal en cámaras de vigilancia. Esta baja resolución no representó una limitante importante para el proceso estudiado dada la distancia implementada entre las cámaras y las zonas de trabajo, y la envergadura del proceso estudiado.

Por otra parte, las pruebas realizadas en terreno demostraron que el uso de una red inalámbrica, como medio de transferencia de archivos al almacenamiento USB, limitaba la tasa de captura de imágenes de forma estable a 1 fotografía cada 8 segundos por cámara, funcionando ambos equipos en paralelo. Debido a lo anterior, las cámaras se configuraron para capturar imágenes cada 8 segundos durante toda la jornada laboral, lapso menor a la duración promedio de las tareas productivas del proceso y despreciable frente a la duración promedio de las principales actividades clasificadas como pérdidas productivas. Sin embargo, para un reducido número de casos, este lapso no se cumplió de forma exacta, presentándose variaciones no controlables, de 1 segundo en promedio, en el intervalo de captura de imágenes, siendo esto registrado en las mediciones.

7. RECOLECCIÓN DE DATOS DE TERRENO

Las actividades realizadas para la investigación requirieron continuas visitas a terreno, entrevistas y conversaciones con el jefe de terreno, capataces y trabajadores, de manera de contar con una visión integral y no sesgada del desarrollo normal del proceso estudiado y además obtener conocimientos sobre los problemas frecuentes con los que se enfrentan los trabajadores en la construcción y la estrategia con la que son solucionados.

7.1. Tareas identificadas y categorización

En el diagrama de flujo del proceso se han incluido sus principales tareas, correspondientes a aquellas productivas que clasifican como *Agrega Valor* y *Contributivas*. Durante la toma de datos, y mediante el sistema de observación, se detectaron nuevas actividades, principalmente inefectivas y no productivas. El conjunto de tareas productivas y aquellas identificadas durante la recolección de datos de terreno se muestran categorizadas en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Categorización de tareas identificadas en el proceso de montaje de costaneras

Categoría de trabajo	Actividad
Agrega valor	1) Elevar y descargar costanera sobre par de vigas 2) Apernar extremo de costanera en viga 3) Apernar colgadores entre costaneras
Contributivo	4) Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras 5) Sujetar costanera en suspensión con camión pluma 6) Ajustar amarra de carga en costanera 7) Instalar cuerda guía 8) Guiar elevación con cuerda guía 9) Desconectar amarra de carga 10) Retirar cuerda guía 11) Camión grúa cambia de posición y se estaciona 12) Cambio de posición en brazo articulado 13) Cambio de posición en plataforma elevadora
Inefectivo / Ineficiente	14) Acercar costaneras sin ayuda de maquinaria 15) Acercar costaneras con ayuda de camión pluma 16) Acercar costaneras con ayuda de Plataforma elevadora
No Productivo	17) Cambio de costanera 18) Trabajador recibe instrucciones 19) Trabajador espera en tierra sin actividad 20) Trabajador espera en altura sin actividad 21) Trabajador espera sin camión pluma presente 22) Camión pluma espera por iniciar operación después de estacionar 23) Camión pluma espera sin trabajadores 24) Camión pluma espera por continuar operación
Personal	25) Descanso durante actividades

7.1.1. Tareas que agregan valor y contributivas

El producto de un ciclo del proceso estudiado es una costanera instalada sobre un par de vigas, conectada a otra costanera paralela mediante elementos denominados colgadores. Las tareas 1, 2 y 3 mostradas en la Tabla 7.1 se han clasificado como actividades que agregan valor, debido a que su desarrollo es esencial y se ve plasmado en el producto. Por otra parte, las actividades contributivas identificadas, desde el número 4 hasta el número 13, son esenciales para el desarrollo del proceso, sin embargo, su desarrollo no se ve plasmado en el producto.

7.1.2. Tareas inefectivas, ineficientes y no productivas

Como se ha mencionado anteriormente, las pérdidas productivas o *Muda-Waste* corresponden a la realización de aquellas tareas categorizadas como inefectivas, o ineficientes, y no productivas, pues no agregan valor al proceso ni son estrictamente necesarias para su desarrollo.

7.1.2.1. Tareas inefectivas-ineficientes

Las actividades identificadas como *ineficientes* corresponden al acercamiento de costaneras realizado por trabajadores, con o sin ayuda de maquinaria, desde acopios lejanos hasta la zona de trabajo (tareas 14, 15 y 16 de la Tabla 7.1). Estas pertenecen a esta categoría debido a que representan un trabajo en condiciones adversas que se hace necesario para el desarrollo del proceso sólo cuando el acopio no se encuentra en la zona de trabajo, siendo esto último una situación evitable. Mientras más alejado se encuentre el acopio de costaneras a la zona de montaje, más tiempo de trabajo productivo, pero ineficiente, es sumado al proceso.

7.1.2.2. Tareas no productivas

Las actividades identificadas como *no productivas* se pueden clasificar a su vez en rehacer trabajos, detenciones y esperas. A diferencia de las actividades ineficientes, las no productivas no son necesarias para el desarrollo del proceso.

- *Rehacer trabajos*: La tarea 17, cambio de costanera (ver Tabla 7.1), se produce cuando se destina tiempo a instalar una costanera que luego, por cualquier razón, debe ser desmontada, por lo que el tiempo utilizado representa un nulo avance del proceso y obliga a rehacer la instalación con otra costanera del acopio.
- *Detenciones*: El tiempo destinado para que los trabajadores detengan su labor y reciban instrucciones (tarea 18) no aporta al proceso. Este caso corresponde a una situación forzada por un superior, como por ejemplo el capataz.

- *Esperas*: El tiempo destinado por los trabajadores y servicios de maquinaria subcontratada a esperar sin realizar actividad alguna también es tiempo en donde no aportan al proceso. En este caso la situación no es forzada por un superior, sino que por el mismo proceso o la situación en terreno mediante la dependencia de finalización de actividades previas (actividades 19, 20 y 24), el traslado de recursos humanos y materiales a otro proceso (actividades 21 y 23) o la ausencia de trabajadores en terreno al inicio de la jornada laboral o después del periodo de colación (actividad 22).

7.1.3. Actividades personales

Corresponde al tiempo destinado por los trabajadores para efectos personales, tales como descansos, idas al baño, hidratación, etc. En el proceso estudiado, la actividad personal prominente es el descanso de los trabajadores durante el proceso (tarea 25).

7.2. Registro visual de actividad en terreno

El resultado del sistema de observación y registro detallado en el capítulo 5.7 es la captación en video del desarrollo de la obra, en conjunto con información básica para el seguimiento del avance del proceso y el cálculo de los tiempos asociados a cada actividad. En la Figura 7.1 se muestra un fotograma que ejemplifica el registro visual obtenido, con la zona de trabajo centrada en la imagen, y la fecha y hora del registro en la esquina inferior derecha.



Figura 7.1. Ejemplo del registro visual obtenido mediante el sistema de observación empleado en obra

7.3. Registro de datos

Para almacenar los datos se utilizó una planilla de registros compatible con el sistema de observación empleado. Ésta incluye las actividades antes descritas, el número de trabajadores involucrados en ellas y su hora de inicio y término para todos los ciclos observados en cada día. El tiempo destinado a cada actividad se calcula mediante la diferencia entre la hora de inicio y término. La Tabla 7.2 entrega un ejemplo del tipo de planilla utilizada para el ingreso de datos.

Tabla 7.2. Ejemplo de registro de datos del montaje de costaneras

Fecha	miércoles, 1 de julio de 2015							
Nombre de proceso	Montaje de costaneras en suelo							
Consideraciones	Proceso comienza una vez que el camión grúa se ha estacionado							

Nº Tarea	Descripción	Ciclo 1				Ciclo 2			
		C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	...	...	...	...
4	Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras	1	9:08:59	9:10:45	106	...	...	...	...
6	Ajustar amarra de carga en costanera	3	10:04:58	10:07:58	180	...	...	...	...

Las consideraciones básicas para la transformación del registro visual en datos se explican a continuación.

7.3.1. Criterios de inclusión

Para el registro de datos se consideró que cada ciclo de proceso comenzó una vez que el camión pluma se hubiese estacionado y extendido sus soportes o ya se encontrase estacionado, pues sólo después de eso es posible posicionar la pluma sobre el acopio de costaneras (ver diagrama de flujo entregado en la Figura 5.18). Por otra parte, el ciclo finaliza una vez que se ha retirado la amarra de carga que conecta la pluma con la costanera, pues sólo después de esto la pluma ha sido liberada y puede ser dirigida al acopio de costaneras.

7.3.2. Criterios de exclusión

Cualquier actividad registrada por el sistema de observación que no pertenezca al diagrama de flujo presentado en la sección 5.6.1 ni se haya introducido en la Tabla 7.1, no se ha incluido dentro de los ciclos de estudio. De esta forma, los registros obtenidos representan la realidad aislada del proceso de montaje de costaneras, salvo que existan interferencias externas al proceso que directamente produzcan pérdidas productivas en éste.

El tiempo destinado al inicio de la jornada laboral para entregar las instrucciones iniciales diarias a los trabajadores no se consideró parte del proceso, por lo que la actividad no productiva número 18 sólo ha sido considerada posible una vez se ha comenzado el trabajo.

7.3.3. Criterios generales

Sólo se registraron datos correspondientes a ciclos completos, de acuerdo al criterio de inclusión antes expuesto. De esta forma, el tiempo y los recursos registrados en cada ciclo se corresponden con los utilizados para montar completamente una costanera.

Con respecto a las actividades inefectivas identificadas, su ocurrencia se considera toda vez que el gancho de la pluma de la grúa no alcance a llegar al acopio de costaneras.

7.4. Periodo de observación y registro

El sistema de observación implementado en obra registró todas las actividades desarrolladas en terreno durante el periodo comprendido entre el 8 de junio y el 29 de octubre de 2015, sumando un total de 93 días efectivamente laborados.

La toma de datos para el estudio inicial para el experimento comparativo se realizó durante el periodo comprendido entre el 30 de junio y el 31 de julio de 2015, dentro del cual se registraron 8 días trabajados en el proceso de instalación de costaneras, completando 69 ciclos de instalación, es decir, 69 costaneras montadas sobre vigas.

La toma de datos para el segundo estudio en terreno, para efectos comparativos, fue realizada durante el periodo comprendido entre el 16 de octubre y el 27 de octubre de 2015, dentro del cual se registraron 6 días trabajados en el proceso de instalación de costaneras, completando también 69 ciclos del proceso.

El periodo intermedio comprendido entre ambos estudios fue utilizado primero para procesar los datos obtenidos durante la primera toma de datos, esto es: cuantificar el uso de los tiempos, recursos humanos y de maquinaria junto a los costos monetarios de cada actividad, con énfasis en aquellas clasificadas como *Muda-Waste*. Luego, en base a las observaciones realizadas en terreno y durante la toma de datos, se configuró un diagrama causa-efecto, en donde se representarán visualmente las causas de las pérdidas productivas identificadas. Finalmente, utilizando los datos obtenidos del estudio inicial y las causas identificadas de las pérdidas productivas, se planteó e implementó un cambio a nivel de gestión del suministro de perfiles de acero a obra con el fin de reducir las pérdidas productivas. La identificación y cuantificación del efecto del cambio implementado es parte del segundo estudio de terreno.

8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se analizan y discuten, en primera instancia, los resultados obtenidos por el estudio inicial del proceso de montaje de costaneras, en términos de uso del tiempo, maquinaria, recursos humanos y costos monetarios, cuantificando las pérdidas productivas. Luego se describen las causas de ocurrencia de estas pérdidas productivas y el cambio implementado en torno a la gestión del suministro de perfiles de acero. Finalmente se discuten los resultados de la segunda fase del estudio, realizada luego de la implementación del cambio, y se realiza un análisis comparativo con respecto a lo obtenido previo al cambio.

8.1. Resultados estudio inicial

Los resultados del estudio inicial son entregados en términos de uso del tiempo, uso de recursos humanos, maquinaria y costos monetarios. Estos a su vez se centrarán en aquellas categorías de tiempo de trabajo consideradas pérdidas productivas, es decir tiempos de trabajo inefectivo y no productivo.

Es importante destacar que, en todos los ciclos registrados durante el estudio inicial, se realizó montaje de costaneras a nivel del suelo.

8.1.1. Uso del tiempo por el proceso durante el registro inicial

En esta sección se muestra el tiempo por ciclo, el número de ciclos de ocurrencia y el tiempo promedio de las tareas que conforman las pérdidas productivas del proceso.

Para el cálculo del tiempo por ciclo de cada tarea se ha normalizado su duración total acumulada, durante todo el estudio, por el número total de ciclos estudiados, igual a 69. De esta forma, es posible cuantificar el impacto real de la pérdida productiva, en términos de tiempo, con respecto a la duración del ciclo.

Por otro lado, para el cálculo de la duración promedio se efectuó la división del tiempo total acumulado de la tarea, durante todo el estudio, por el número de ciclos de ocurrencia correspondiente. Este valor se entrega como referencia para evaluar la magnitud de los eventos durante su ocurrencia.

8.1.1.1. Análisis de tiempo por categorías de trabajo – estudio inicial

Aun cuando algunas tareas se realizan en forma paralela, limitando un análisis porcentual, es relevante analizar la cantidad de tiempo que se utiliza en forma inefectiva y no productiva, pues implica un desperdicio de los recursos involucrados.

Los resultados entregados en la Figura 8.1 muestran el tiempo por ciclo destinado por categoría de trabajo. Estas categorías fueron definidas en la sección 7.1 y son: Agrega valor (AV), Contributivo (CO), Inefectivo (IN), No productivo (NP) y Personal (PE).

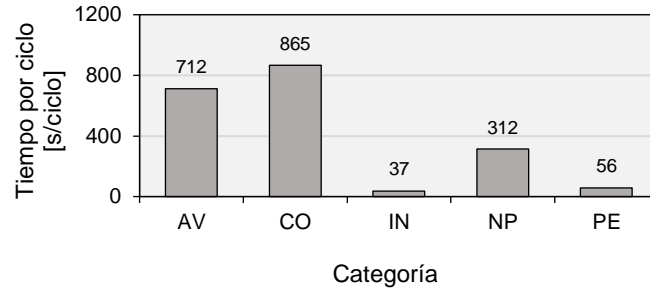


Figura 8.1. Tiempo por ciclo trabajado por categoría – Registro inicial

Desde el punto de vista del tiempo, las tareas inefectivas y personales utilizan una cantidad mínima de tiempo, por lo que, para lograr un mejoramiento importante, la atención debería centrarse en las actividades no productivas.

8.1.1.2. Análisis de tiempo en tareas inefectivas e ineficientes – estudio inicial

Las tareas inefectivas detectadas corresponden al acercamiento de costaneras que se encuentran en acopios lejanos a la zona de trabajo.

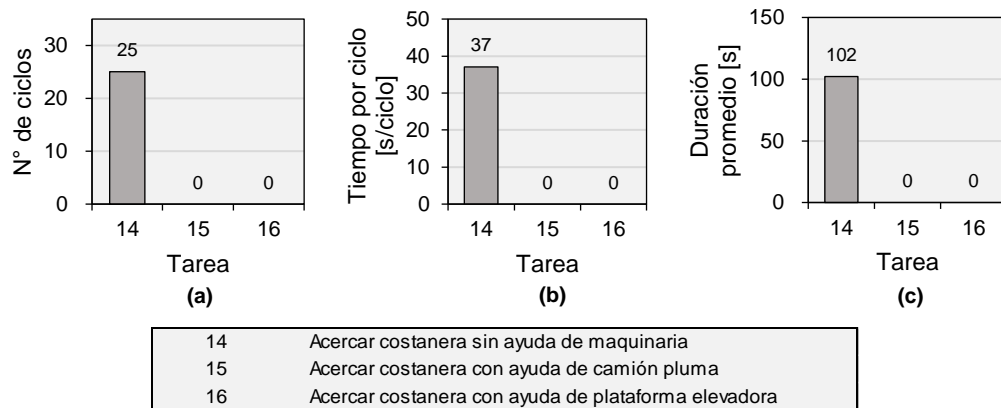


Figura 8.2. Uso del tiempo por tareas inefectivas – Registro inicial

Del resultado entregado en la Figura 8.2 se aprecia que sólo se produce pérdida productiva debido a la tarea 14. Esto se debe a que los acopios de costaneras se encontraban muy lejanos a la zona de montaje y cambiar de posición el camión pluma hubiera alargado en demasía la duración del proceso. Por otro lado, durante el periodo de estudio inicial no se contaba con una plataforma elevadora en terreno, pues el montaje se realizaba a nivel del suelo.

El aspecto más relevante de este resultado es el alto número de ciclos en los que se realizó acercamiento de costaneras, 37 ciclos correspondientes a un 36% de los registrados. De acuerdo a lo observado en terreno, existía una comunicación y coordinación deficiente entre la maestranza proveedora y la obra, lo que provocaba que las descargas de costaneras se efectuaran, en algunas ocasiones, en lugares alejados de donde debían ser montadas, desencadenando la pérdida productiva mencionada. Considerando que la función principal de la maestranza es proveer perfiles de acero a la obra, es comprensible que su área de despacho no considere el efecto que provoca una descarga mal coordinada en el desarrollo del proceso constructivo.

8.1.1.3. Análisis de tiempo en tareas no productivas – estudio inicial

En el resultado entregado en la Figura 8.3 se observa que no se presentaron pérdidas productivas relacionadas a trabajadores en espera durante el estudio inicial. Por otra parte, el número de ciclos de ocurrencia de las tareas no productivas es notablemente menor que en el caso de la única tarea inefectiva producida, sin embargo, en términos de duración por ciclo, las actividades no productivas son mucho más relevantes, en especial la espera del camión pluma sin trabajadores (tarea 23) y el cambio de costanera (tarea 17), de similar duración promedio, pero con la mitad de la frecuencia.

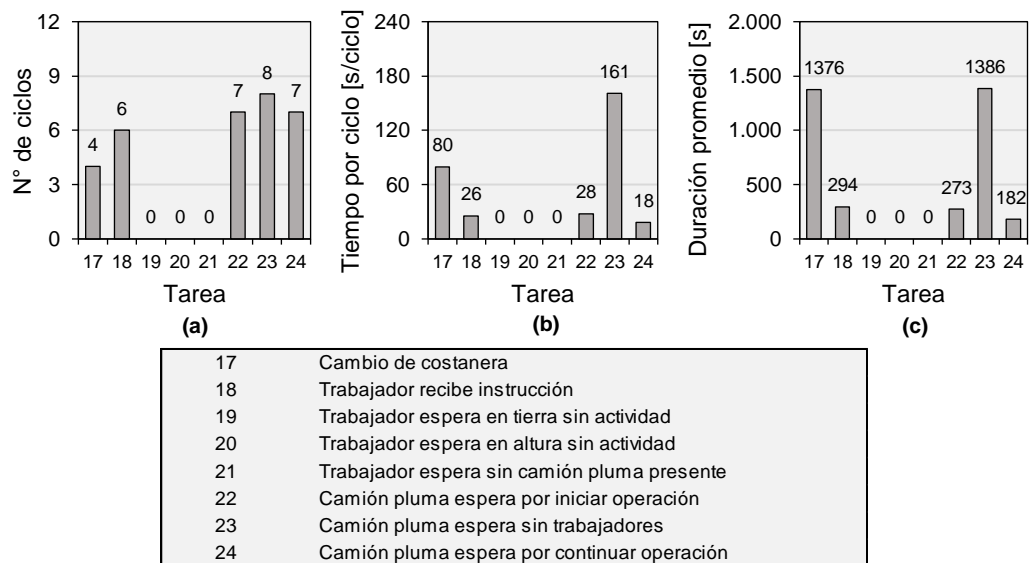


Figura 8.3. Uso del tiempo por tareas no productivas – Registro inicial

Las observaciones realizadas, durante las visitas a terreno, permitieron identificar a la falta de calidad del suministro como la principal causa de ocurrencia de la tarea 17. En este caso, la falta de perforaciones en la costanera, o errores en su posición, no permitieron completar su montaje. De esta forma, el trabajo total efectuado durante la instalación de la costanera con desperfectos pasó a ser una pérdida productiva, debido a que era necesario

rehacer completamente el montaje con otro perfil. Además del problema antes expuesto, la falta de un control de calidad del suministro, durante su recepción en obra, produjo que esta situación no pudiera ser evitada a tiempo.

En cuanto a la tarea 18, de acuerdo a lo observado, las instrucciones adicionales que se dan a algunos trabajadores obedecen a una comunicación deficiente entre el capataz y la cuadrilla, así como también a la falta de capacitación del trabajador, que obliga al capataz a aclarar dudas y dar indicaciones adicionales.

En el caso de las esperas del camión pluma para iniciar operación (tarea 22), su ocurrencia es exclusiva al inicio de la jornada laboral de la mañana o de la tarde, luego de la colación de los trabajadores, y se produce debido a la falta de coordinación entre la llegada del camión pluma a la zona de trabajo y la llegada de la cuadrilla completa a esta.

La pérdida productiva más relevante en esta categoría, la espera del camión pluma sin trabajadores en la zona de trabajo (tarea 23), se produjo exclusivamente por interrupciones al proceso provocadas por descargas, deficientemente programadas, de suministro, las que tuvieron que ser atendidas por trabajadores del montaje de costaneras.

Finalmente, las esperas del camión pluma por continuar la operación (tarea 24) se produjeron durante el desarrollo del montaje por retrasos ocurridos en otras tareas del proceso, tales como aquellas que agregan valor, contributivas o incluso inefectivas, y que preceden a la utilización del camión pluma. Desde el punto de vista del tiempo, las tareas 17 y 23 se configuran como las principales fuentes de pérdida productiva.

8.1.2. Uso del recurso laboral por el proceso durante el registro inicial

En esta sección se muestran las horas-hombre y horas-máquina por ciclo, en promedio y el número de trabajadores involucrados en la realización de las tareas del proceso, en especial aquellas que representan sus pérdidas productivas. Durante el primer estudio la única máquina utilizada corresponde a un camión pluma subcontratado por la empresa.

La cuantificación de las horas-hombre se obtiene de multiplicar la cantidad de trabajadores involucrados en cada tarea con su tiempo de desarrollo respectivo. Luego de acumular el resultado del procedimiento anterior para todos los ciclos registrados, la suma obtenida, normalizada por la cantidad total de ciclos, entrega las horas-hombre por ciclo de la tarea en particular. En el caso de las horas-máquina, el procedimiento es análogo.

En forma análoga a la determinación de los tiempos promedios en la sección anterior, las horas-hombre promedio de cada tarea se obtuvo considerando sólo la cantidad de ciclos de ocurrencia correspondientes a cada tarea en particular.

8.1.2.1. Análisis de recursos por categorías de tiempo de trabajo – estudio inicial

De los resultados entregados en la Figura 8.4 se aprecia que, mientras la fuerza laboral humana es utilizada principalmente en tareas que agregan valor, el camión pluma sirve al proceso mayoritariamente en forma contributiva, junto a un alto desperdicio en tareas no productivas.

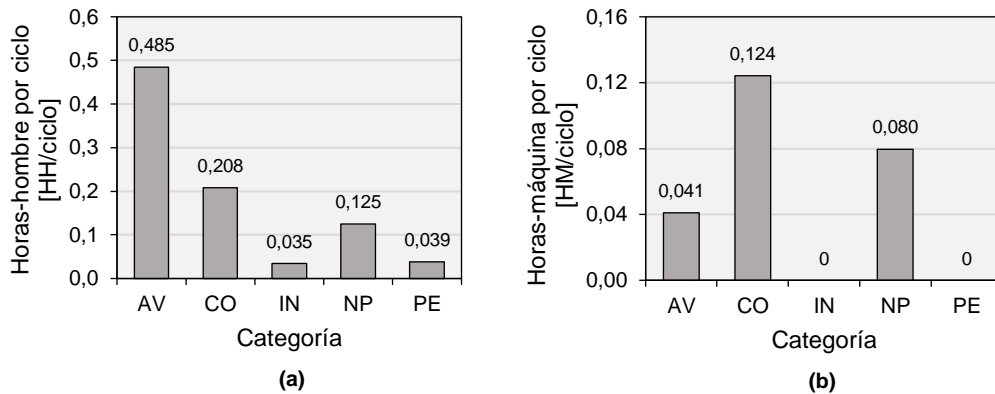


Figura 8.4. Magnitud del recurso laboral utilizado por ciclo en categoría de trabajo – Registro inicial

Por otra parte, es relevante la cantidad de horas-hombre y horas-máquina que se destinan, en proporción, a tareas no productivas, a pesar de estas tengan una cantidad de ciclos de ocurrencia bajo (ver Figura 8.3(a)).

De acuerdo al resultado entregado en la Figura 8.5, el 17,9% del recurso horas-hombre se desperdicia en total debido a actividades inefectivas y no productivas, mientras que el 32,5% del recurso horas-máquina se desperdicia sólo por actividades no productivas, no existiendo un uso inefectivo por parte del camión pluma.

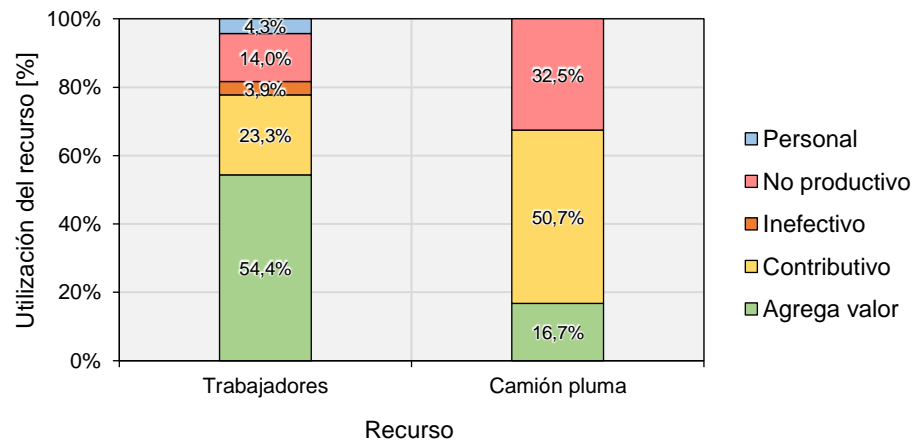


Figura 8.5. Proporción de utilización del recurso laboral por categoría de trabajo – Registro inicial

Desde el punto de vista de la utilización de recursos y de acuerdo al resultado entregado en la figura anterior, la reducción del uso no productivo del camión pluma representa el mayor potencial de mejoramiento.

8.1.2.2. Análisis de recursos en tareas inefectivas e ineficientes – estudio inicial

En los gráficos de la Figura 8.6 se aprecia que el 100% de las horas-hombre utilizadas en forma inefectiva se ha utilizado para acercar costaneras sin ayuda de maquinaria (tarea 14). El número de trabajadores que desarrollan esta tarea varía en función de la lejanía de la costanera a la zona de trabajo, obteniéndose en promedio 3,4 trabajadores.

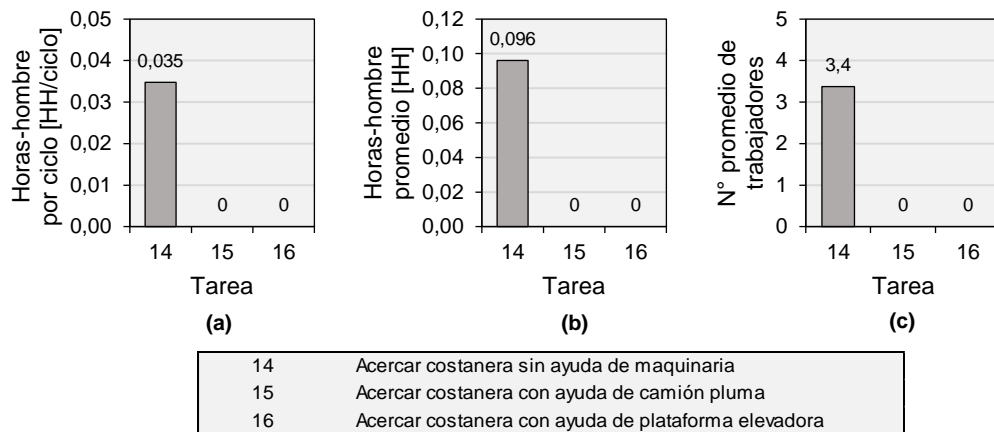


Figura 8.6. Utilización del recurso horas-hombre por tareas inefectivas – Registro inicial

Como se mencionó en el numeral anterior, no se destinaron horas-máquina a actividades inefectivas durante la primera fase del estudio.

8.1.2.3. Análisis de recursos en tareas no productivas – estudio inicial

El tiempo desperdiciado en instalar una costanera que luego deberá ser desmontada (tarea 17) involucró a toda la cuadrilla de instalación de costaneras, conformada en promedio por 5 trabajadores. En cambio, el número de trabajadores promedio que reciben instrucciones (tarea 18) no equivale al tamaño total de la cuadrilla, sino que es igual a 2 trabajadores (ver Figura 8.7(b)), pues corresponden a aquellas instrucciones adicionales dadas durante el desarrollo del proceso y no a aquellas entregadas a toda la cuadrilla al inicio de la jornada laboral. De acuerdo al resultado entregado en la Figura 8.7(a), la tarea 17 se configura, desde el punto de vista del recurso horas-hombre, como la principal fuente de pérdida productiva.

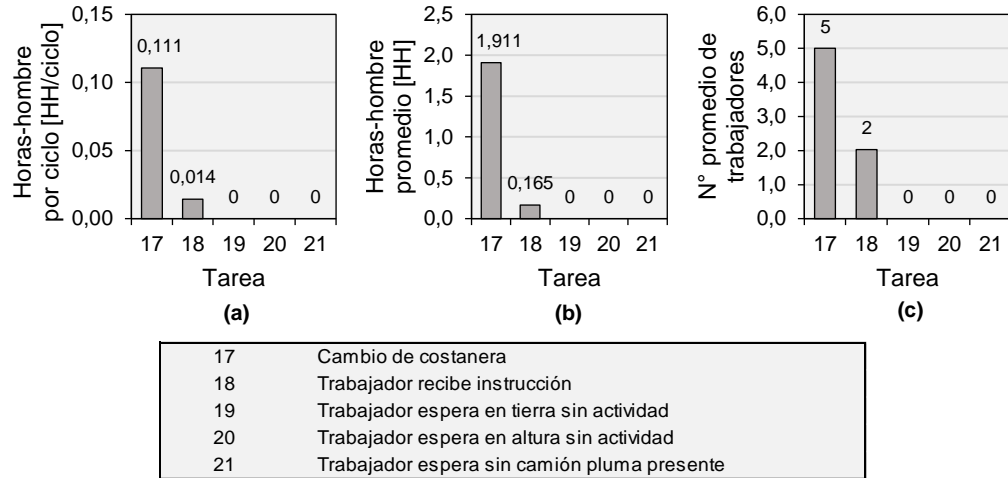


Figura 8.7. Utilización del recurso horas-hombre por tareas no productivas – Registro inicial

Con respecto a la utilización de maquinaria, la espera del camión pluma sin trabajadores presentes en la zona de trabajo (tarea 23) concentra la mayor parte de las horas-máquina desperdiciadas en tareas no productivas (Figura 8.8(a)). Por otro lado, a pesar de que la tarea 17 y 23 presentaron una utilización promedio de horas-máquina similares durante sus ocurrencias (ver Figura 8.8(b)), el impacto por ciclo de la tarea 23, mostrado en la Figura 8.8(a), fue prácticamente el doble que el de la tarea 17.

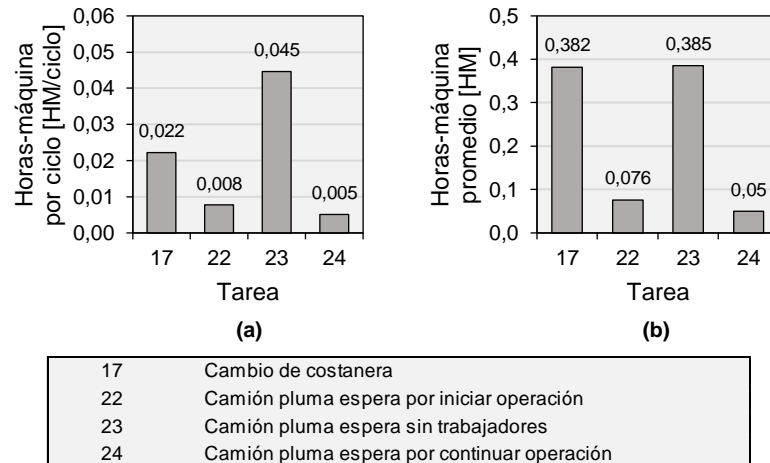


Figura 8.8. Utilización del recurso horas-máquina por tareas no productivas – Registro inicial

Con respecto a la utilización de los recursos horas-hombre y horas-máquina en actividades no productivas, en la Figura 8.9 se aprecia la predominancia de la tarea 17 en el uso de horas-hombre con un 88,5% y la tarea 23 con un 56,1% de utilización de camión pluma (horas-máquina).

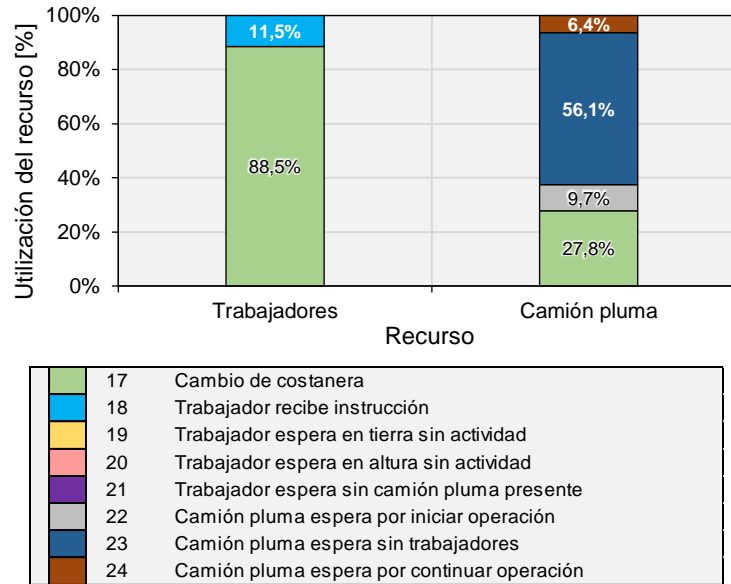


Figura 8.9. Proporción de utilización del recurso laboral por tarea no productiva – Registro inicial

De los resultados obtenidos se tiene que, desde el punto de vista del desperdicio de los recursos laborales, las tareas 17 y 23 se configuran como las principales fuentes de pérdida productiva.

8.1.3. Costos monetarios del proceso durante el registro inicial

Además del costo de los materiales involucrados en la instalación de costaneras, es relevante el costo de la mano de obra y el servicio subcontratado del camión pluma, pues a diferencia de los costos materiales, estos tienen el potencial de ser reducidos al disminuir la cuota de pérdidas productivas dentro del proceso.

Mientras la cantidad de trabajadores promedio en el proceso fue de cinco personas, sólo se utilizó un camión pluma. El costo monetario asociado a este último recurso, para una misma cantidad de tiempo, comparativamente es mucho mayor. A modo de evaluar la utilización de estos dos recursos en una misma escala se introduce la siguiente estimación de costos.

Para estimar los costos monetarios del proceso se utilizaron valores promedio del costo mensual de la mano de obra por trabajador y grupo ocupacional en el año 2007 para las empresas del sector de la construcción, publicados el año 2009 por el INE (informe de Remuneraciones, Costo de Mano de Obra y Empleo del año 2007) y el valor promedio de mercado de arriendo de un camión pluma con servicio de operador incluido, para el año 2016, en la zona costera de la quinta región.

A falta de un estudio estadístico reciente, para efectos de estimación se han actualizado los costos mensuales de la mano de obra por trabajador del año 2007 a valores aproximados a la realidad del año 2016, utilizando como base la variación del IPC entre estos periodos, equivalente a un 31,8% de acuerdo al INE. Los grupos ocupacionales que pertenecen al proceso de instalación de costaneras y su costo monetario mensual actualizado por trabajador se muestran en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1. Costo monetario mensual promedio por trabajador para empresa constructora en Chile (INE)

Grupo ocupacional	Costo monetario mensual por trabajador		Costo actualizado \$/Hora
	Año 2007	Año 2007 Actualizado por IPC	
Grupo 8: Operadores de instalaciones, máquinas y montadores.	\$ 379.244	\$ 499.738	2.776
Grupo 9: Trabajadores no calificados.	\$ 230.658	\$ 303.943	1.689

Para obtener el costo monetario por hora de los trabajadores se ha considerado una jornada de trabajo de 45 horas semanales, correspondientes a las laboradas en la obra en estudio, lo cual suma 180 horas de trabajo mensuales, equivalentes al máximo aceptado por el Código del Trabajo en Chile.

El costo de arriendo de un camión pluma para montaje con servicio de operador se valoriza en promedio en torno a los \$20.000 por hora de acuerdo a la oferta al año 2015 en la zona. En este trabajo se ha adoptado este valor a modo de tener una estimación acorde a la realidad del mercado local.

Las actividades identificadas en el proceso estudiado presentan trabajadores de ambos grupos ocupacionales. Las actividades directamente relacionadas con los trabajadores encargados del montaje utilizan fuerza laboral correspondiente al grupo ocupacional 8, mientras que las labores de apoyo a la instalación de costaneras son realizadas por fuerza laboral del grupo ocupacional 9. En la Tabla 8.2 se muestra el grupo ocupacional al que pertenecen, teóricamente, los trabajadores de acuerdo a su actividad y además se destacan en color amarillo aquellas actividades en donde participa el camión pluma.

Tabla 8.2. Grupo ocupacional de trabajadores del montaje de costaneras de acuerdo a actividad realizada

Categoría de trabajo	Actividad	Grupo ocupacional
Agrega valor	1) Elevar y descargar costanera sobre par de vigas	-
	2) Apernar extremo de costanera en viga	8
	3) Apernar colgadores entre costaneras	8
Contributivo	4) Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras	-
	5) Sujetar costanera en suspensión con camión pluma	-
	6) Ajustar amarra de carga en costanera	9
	7) Instalar cuerda guía	9
	8) Guiar elevación con cuerda guía	9
	9) Desconectar amarra de carga	9
	10) Retirar cuerda guía	9
	11) Camión grúa cambia de posición y se estaciona	-
	12) Cambio de posición en brazo articulado	8
	13) Cambio de posición en plataforma elevadora	8
Inefectivo / Ineficiente	14) Acercar costaneras sin ayuda de maquinaria	9
	15) Acercar costaneras con ayuda de camión pluma	9
	16) Acercar costaneras con ayuda de Plataforma elevadora	9
No Productivo	17) Cambio de costanera	8 y 9
	18) Trabajador recibe instrucciones	8 y 9
	19) Trabajador espera en tierra sin actividad	9
	20) Trabajador espera en altura sin actividad	8
	21) Trabajador espera sin camión pluma presente	8 y 9
	22) Camión pluma espera por iniciar operación después de estacionar	-
	23) Camión pluma espera sin trabajadores	-
	24) Camión pluma espera por continuar operación	-
Personal	25) Descanso durante actividades	8 y 9

Los resultados de la estimación de costos llevada a cabo se muestran a continuación, primero en términos generales por categoría de trabajo y luego analizando los costos de los desperdicios productivos debido a tareas inefectivas y no productivas.

8.1.3.1. Costos monetarios por categorías de tiempo de trabajo – estudio inicial

En el resultado entregado en la Figura 8.10 se aprecia que el costo monetario asociado a las horas-máquina (camión pluma) fue el más relevante para el proceso, representando un 70% del costo total. Por otro lado, desde el punto de vista monetario, las tareas inefectivas fueron irrelevantes en comparación con las no productivas.

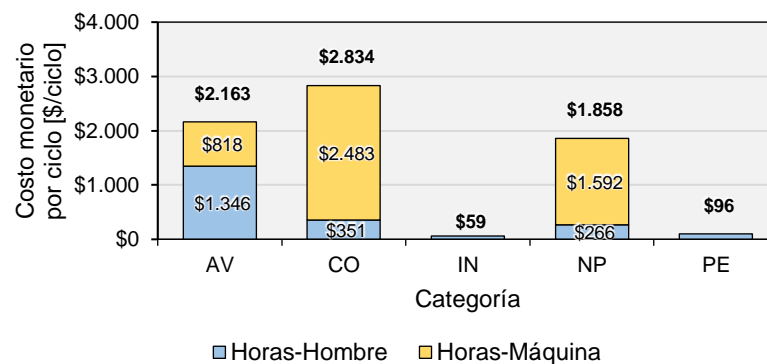


Figura 8.10. Costo monetario por ciclo según categoría de trabajo y recurso utilizado – Registro inicial

En términos porcentuales (ver Figura 8.11), en torno al 15% del costo monetario asociado a las horas-hombre se desperdició en pérdidas productivas, en cambio esto sube hasta aproximadamente un 33% en el caso del costo asociado al servicio del camión pluma.

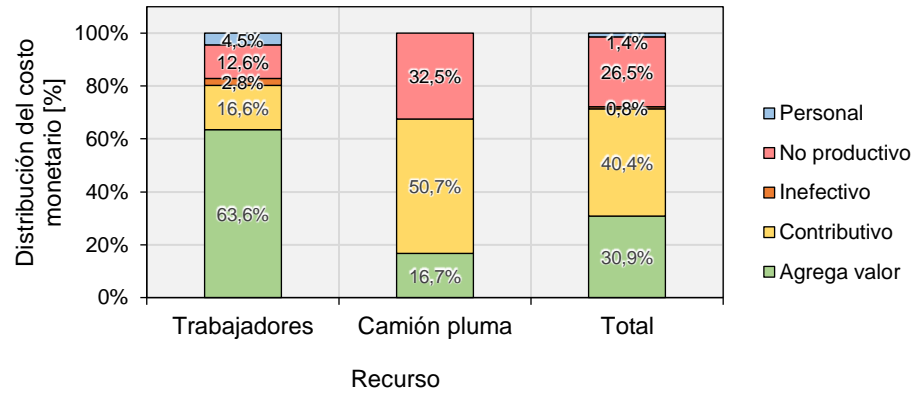


Figura 8.11. Distribución del recurso monetario por categoría de trabajo – Registro inicial

El costo monetario total por ciclo es igual a \$7.010, de los cuales \$1.917 se utilizaron en pérdidas productivas, lo que equivale a desperdiciar el 27,3% del dinero destinado a la ejecución del proceso.

8.1.3.2. Costos monetarios de tareas inefectivas e ineficientes – estudio inicial

Como se ha mencionado previamente, durante el registro inicial sólo se produjo la tarea 14 de acercar costaneras sin ayuda de maquinaria. En la Figura 8.12 se aprecia que el costo monetario por ciclo asociado a esta tarea es bajo, lo cual se explica por su corta duración y la no utilización del camión pluma.

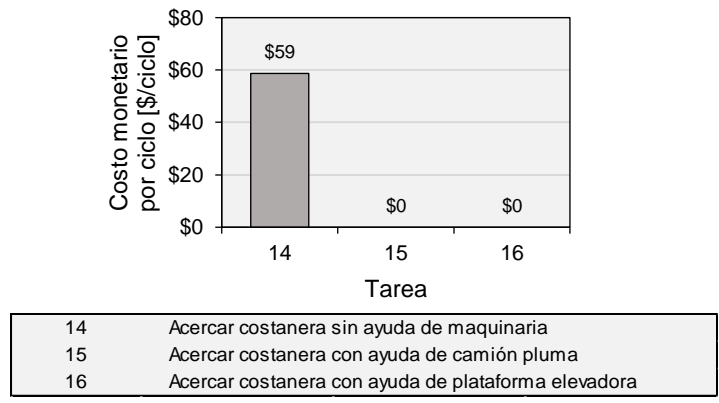


Figura 8.12. Costo monetario de tareas inefectivas – Registro inicial

8.1.3.3. Costo monetario de tareas no productivas – estudio inicial

En los resultados entregados en la Figura 8.13 se aprecia la preponderancia del costo monetario del camión pluma con respecto al de la mano de obra en relación a las tareas no productivas. De acuerdo a lo obtenido previamente en términos de uso del tiempo y recursos, era esperable que la tarea 23 de espera de camión pluma sin trabajadores junto a la tarea 17 concentraran una fracción importante del costo monetario asociado a pérdidas productivas.

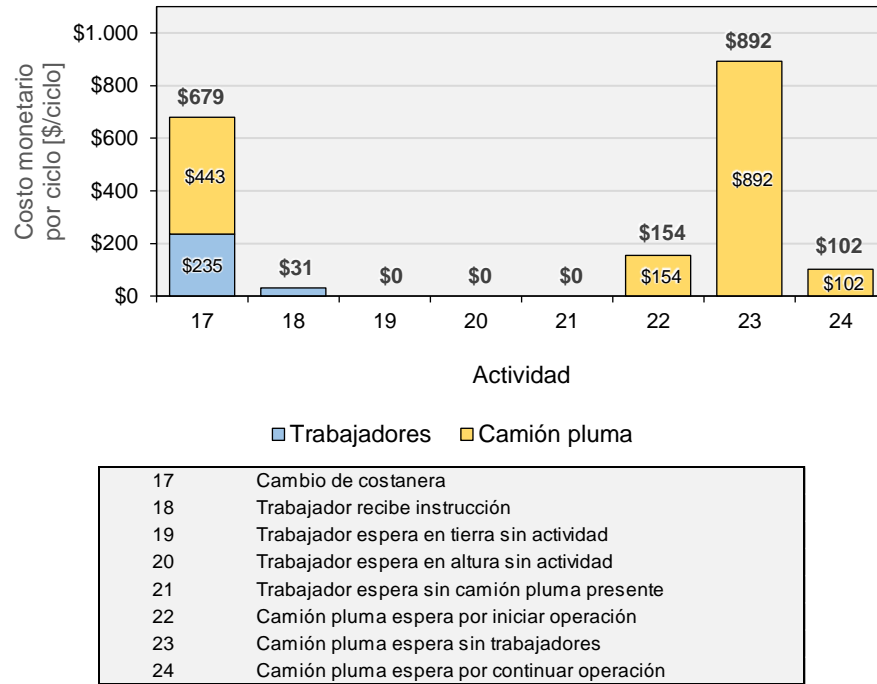
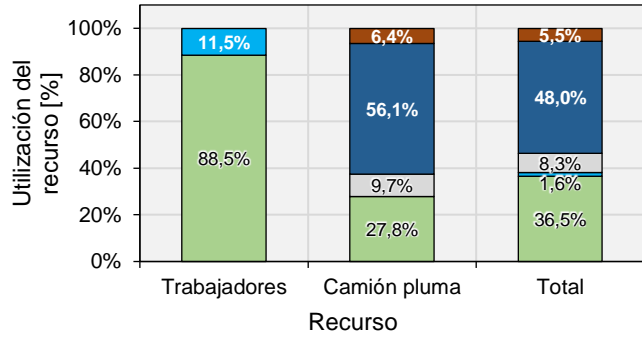


Figura 8.13. Costo monetario de tareas no productivas por recurso laboral – Registro inicial

El costo monetario total por ciclo desperdiciado en actividades no productivas es igual a \$1.858, de los cuales \$1.592 están asociados al uso del camión pluma, lo que es equivalente a un 86%.

De acuerdo a los resultados de utilización porcentual del recurso en tareas no productivas, entregados en la Figura 8.14, la tarea 23 concentró el 56,1% del costo asociado al uso del camión pluma en actividades no productivas, lo que al incluir el costo de la mano de obra pasa a ser igual a un 48% del costo total atribuido a tareas no productivas.



17	Cambio de costanera
18	Trabajador recibe instrucción
19	Trabajador espera en tierra sin actividad
20	Trabajador espera en altura sin actividad
21	Trabajador espera sin camión pluma presente
22	Camión pluma espera por iniciar operación
23	Camión pluma espera sin trabajadores
24	Camión pluma espera por continuar operación

Figura 8.14. Uso del recurso monetario por tarea no productiva y recurso laboral – Registro inicial

En vista de los resultados obtenidos, las tareas 17 y 23 se configuran como las principales fuentes de pérdida monetaria.

8.2. Diagrama causa-efecto

En base a las pérdidas productivas identificadas y las observaciones en terreno realizadas durante el estudio inicial, se realizó un diagrama causa-efecto, o espina de pescado, en el cual es posible visualizar la relación entre las múltiples variables que intervienen y afectan al proceso. Esta herramienta facilita el entendimiento de las causas que originan el efecto estudiado y ayuda a identificar posibles soluciones desde varios puntos de vista.

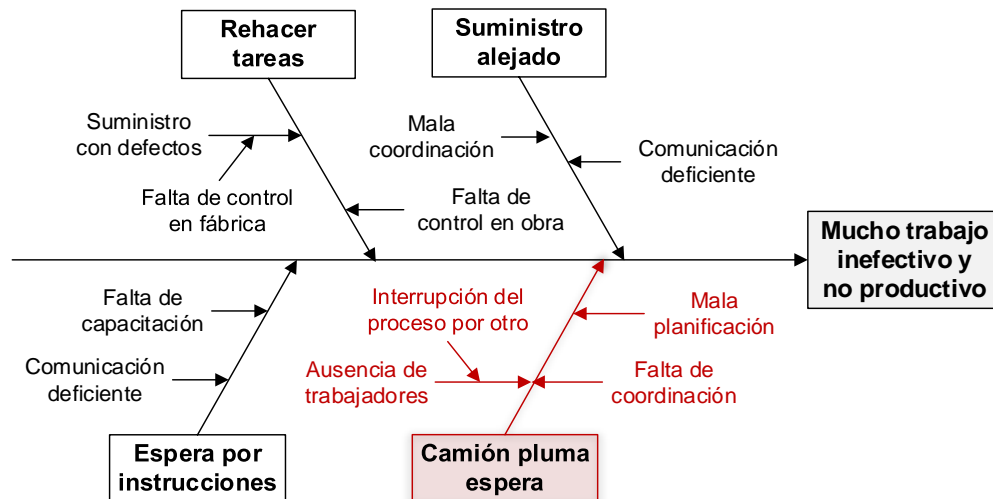


Figura 8.15. Diagrama causa-efecto de pérdidas productivas del montaje de costaneras para obra en estudio

El diagrama causa-efecto elaborado para el proceso estudiado se muestra en la Figura 8.15. En este caso, el efecto a estudiar es el tiempo de trabajo no productivo e inefectivo que se ha observado durante el desarrollo del proceso de montaje de costaneras.

Las principales causas que han sido identificadas son la espera de los trabajadores por instrucciones, el rehacer tareas, tener el suministro de perfiles alejado de la zona de trabajo y las esperas sin actividad por parte del camión pluma. A su vez, estas causas se producen por una comunicación y coordinación deficiente entre capataces, jefe de terreno, oficina técnica y maestranza, la presencia de suministro defectuoso en terreno, la falta de control en obra durante la ejecución del proceso, la falta de control de calidad del suministro en maestranza, la deficiente planificación del despacho de suministro y la ausencia de trabajadores en la zona de trabajo debido a la interrupción provocada por la descarga del camión proveniente de maestranza con suministro de perfiles de acero. Estos aspectos se corresponden con aquellos identificados por Ogelsby *et al.* (1989, citado en Zhang *et al.*, 2005) y Botero y Álvarez (2003) como desperdicios productivos típicos de esta industria.

En la Figura 8.15 se han destacado las causas relacionadas a la espera sin actividad del camión pluma por estar relacionada, en gran medida, con interferencias provocadas por una mala planificación del despacho de perfiles desde maestranza. Para efectos de este experimento comparativo, se implementó un cambio en el modo de operar el despacho de perfiles de acero a terreno, con motivo de comprobar su efecto sobre las causas destacadas y las pérdidas productivas en general.

8.3. Cambio en la logística del suministro

Previamente se determinó que una cantidad considerable de recursos destinados al proceso en cuestión son desperdiciados en actividades *Muda-Waste*. Dentro las pérdidas productivas cuantificadas, el tiempo en donde el camión pluma espera sin trabajadores es un ejemplo de la interferencia que provoca sobre el proceso desarrollado en obra la descarga de un suministro deficientemente planificado. En este caso, toda o gran parte de la fuerza laboral es removida temporalmente del proceso para atender la descarga. Dado que el camión pluma por sí solo no puede continuar el proceso, es forzado a esperar.

Considerando la incertidumbre expuesta anteriormente en relación a la deficiente planificación del suministro de perfiles a obra, el cambio implementado a nivel de gestión del suministro, particularmente en el área de despacho de la maestranza proveedora, es la acotación de los horarios de llegada a obra del camión con suministro a cuatro momentos particulares de la jornada laboral, los cuales son: (1) el inicio de la jornada laboral en la mañana, (2) un bloque de tiempo adecuado antes del periodo de colación, (3) al inicio de la jornada de tarde y (4) un bloque de tiempo adecuado antes del fin de la jornada de tarde. Un bloque de tiempo adecuado se define

según la cantidad de suministro despachado y la duración típica del trabajo de descarga. Esto se ha dejado a criterio y experticia del profesional a cargo, sin embargo, no supera los 15 minutos por camión descargado.

Es importante destacar que el cambio implementado se elaboró considerando una mínima utilización de recursos adicionales por parte de los actores involucrados, que fuera lo suficientemente simple de manera de facilitar la puesta en práctica en un corto plazo y que perteneciera al ámbito de la gestión, favoreciendo y valorando buenas prácticas de comunicación, coordinación, logística y manejo de información por sobre inversiones en equipos, máquinas y tecnologías.

8.4. Análisis comparativo

Los resultados del segundo estudio de terreno también se entregan en términos de uso del tiempo, fuerza laboral, maquinaria y costos monetarios, comparándolos con los obtenidos del primer estudio y analizando el efecto que tiene el cambio implementado en la gestión del suministro sobre la operación en terreno del proceso en cuestión. Estos se centrarán en aquellas categorías de actividades consideradas *Muda-Waste*, es decir tiempos de trabajo inefectivo y no productivo.

Es importante destacar que, en todos los ciclos registrados durante el segundo estudio, se realizó montaje de costaneras en altura, lo cual fue un cambio no previsto por esta investigación y recae completamente en una decisión adoptada por la administración de la obra, cuya causa fue explicada en la sección 5.6.2. Debido a lo anterior, en esta sección se analiza también el efecto que tuvo este cambio sobre las tareas del proceso y los resultados del estudio, comprobándose que, desde el punto de vista de los desperdicios productivos, el montaje en altura incorporó 2 nuevas tareas con respecto al montaje en tierra, sin modificar el comportamiento de las restantes. Además, se analiza la interferencia que esta modificación pudo tener sobre los resultados del cambio implementado en la logística del suministro, comprobándose la no superposición de efectos. Esto permitió medir, de forma aislada y en condiciones comparables, el efecto que tuvo el cambio de la logística sobre el proceso.

En el Anexo B se analizan y discuten los resultados obtenidos por el experimento comparativo para las tareas productivas, a modo de complemento de lo presentado a continuación.

8.4.1. Resultado comparativo de uso del tiempo por el proceso

De igual forma que para el estudio inicial, el análisis comparativo entre ambas fases del estudio se llevará a cabo primero con resultados generales en relación a las categorías de tiempo de trabajo para luego profundizar en aquellas categorías consideradas pérdidas productivas.

8.4.1.1. Análisis de tiempo por categorías de trabajo – estudio comparativo

Los resultados entregados en la Figura 8.16 muestran el tiempo por ciclo destinado a cada categoría de trabajo antes y después del cambio de gestión implementado. Estas categorías fueron definidas en la sección 7.1 y son: Agrega valor (AV), Contributivo (CO), Inefectivo (IN), No productivo (NP) y Personal (PE).

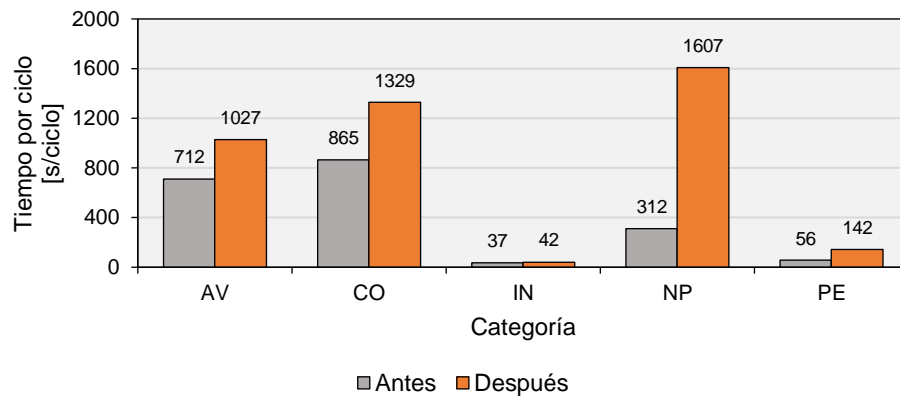


Figura 8.16. Resultado comparativo, según categoría, de tiempo por ciclo trabajado

En primera instancia se observa que el tiempo destinado a todas las categorías aumentó durante el segundo registro, en especial el tiempo destinado a tareas no productivas, en 415%, lo cual implica que el tiempo total del ciclo, igual al tiempo necesario para el montaje de una costanera, aumentó.

Con respecto a lo anterior, es importante mencionar que, además de implementar el cambio en la gestión del suministro detallado en la sección 8.3, por motivos concernientes a la administración de la obra se reformuló la ejecución del proceso de montaje de costaneras. Esta modificación estipulada completamente por la empresa constructora cambió el montaje de costaneras a nivel del suelo por su instalación directamente en altura. De acuerdo a la administración de la obra, el principal motivo de esta modificación fue la eliminación de otro proceso, el izaje de una sección de techo completa (ver Figura 8.17) que consistía de dos vigas y 15 costaneras previamente instaladas. Para realizar este izaje era necesario utilizar dos grúas de alto costo monetario.



Figura 8.17. Izaje de sección de techo desarrollado en obra en estudio

Esta partida no fue incluida en el estudio inicial, pues no forma parte del proceso de montaje de costaneras definido por el diagrama de flujo presentado en la sección 5.6.1. En cuanto a montaje de costaneras sobre vigas se refiere, tanto el montaje de costaneras en tierra como en altura se desarrollaron completamente, obteniéndose en ambos casos, como producto de cada ciclo, una costanera instalada sobre dos vigas, junto a sus colgadores.

En las siguientes etapas del análisis comparativo se comprobará el efecto del cambio implementado a nivel de gestión del suministro de perfiles de acero, diferenciándolo del provocado por la reformulación del proceso impuesta por la administración de la obra.

8.4.1.2. Análisis de tiempo en tareas inefectivas e ineficientes – estudio comparativo

En los gráficos de la Figura 8.18 se observa que en el estudio realizado después de la implementación del cambio se producen todas las actividades inefectivas identificadas, adquiriendo participación en el acercamiento de costaneras el camión pluma y la plataforma elevadora. El impacto de acercar las costaneras con o sin ayuda del camión pluma, en términos globales de tiempo por ciclo, es similar (Figura 8.18(b)). En el caso de la tarea 16, el único ciclo de ocurrencia observado indica que es un evento aislado y no la forma normal de responder ante la necesidad de acercar el suministro. Por otro lado, en la Figura 8.18(a) se aprecia una reducción en el número de veces que fue necesario acercar una costanera a la zona de trabajo, de 25 a 14 veces para el segundo estudio, equivalentes a una disminución del 44% de ocurrencia.

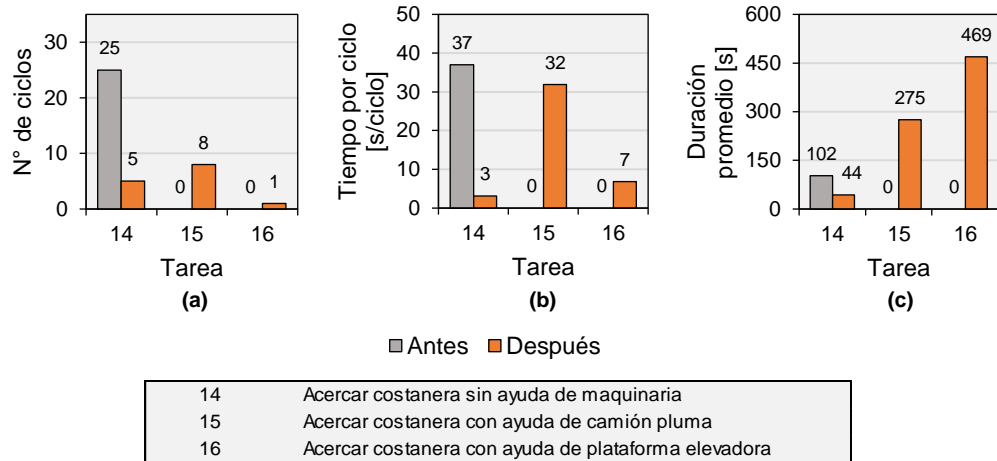


Figura 8.18. Resultado comparativo de uso de tiempo por tareas inefectivas

Todo lo expuesto anteriormente no se explica por el cambio de gestión implementado, pues estas tareas no tienen relación alguna con la interferencia del despacho de costaneras, sino que obedecen exclusivamente a la lejanía del acopio formado al descargar. De igual forma, tampoco se explica por la reformulación del proceso impuesta por la administración, debido a que para el camión pluma es irrelevante si la costanera se instala en suelo o en altura, por lo que el lugar al que deben ser acercadas las costaneras a esta máquina se mantiene.

De acuerdo a lo observado en terreno, la causa de la disminución de costaneras acercadas y el aumento de la utilización de maquinaria como ayuda en esta tarea es la reducción del espacio disponible en obra para la descarga de costaneras. A medida que se realizaba el montaje estructural, las zonas interiores de la obra eran pavimentadas para conformar la losa de hormigón (ver Figura 8.19).



Figura 8.19. Avance de hormigonado como limitante de espacio disponible para descargas

Dado que no era posible descargar los pesados perfiles sobre el hormigón recientemente vertido, y a modo de no retrasar el hormigonado de otras zonas, las costaneras fueron descargadas en lugares donde aún se debía realizar montaje estructural y por lo tanto aún no habían sido hormigonados. De esta forma la distancia de la zona de trabajo a los acopios fue notablemente reducida.

En el mismo contexto, el uso del camión pluma se limitó a acercar costaneras que estaban lo suficientemente próximas al camión pluma ya estacionado, como para ayudar a los trabajadores en el acercamiento (ver Figura 8.20), pero no lo suficiente como para ajustar la amarra de carga.



Figura 8.20. Acercamiento de costaneras a zona de trabajo con ayuda de camión pluma

Con lo anterior se ejemplifica la importancia de realizar observaciones en terreno a modo de entender la forma de proceder en obra, las circunstancias en que se desarrollan las tareas y la causa de los eventos producidos.

8.4.1.3. Análisis de tiempo en tareas no productivas – estudio comparativo

En la Figura 8.21(a) se observa que la pérdida productiva de instalar costanera que luego es retirada y cambiada (tarea 17) redujo su cantidad de ciclos de ocurrencia a una única ocurrencia después de implementar el cambio de gestión. Sin embargo, este cambio no explica la diferencia observada, pues la ocurrencia de esta tarea se relaciona exclusivamente con un control de calidad deficiente en maestranza o en obra, ocurrido en forma paralela al cambio implementado.

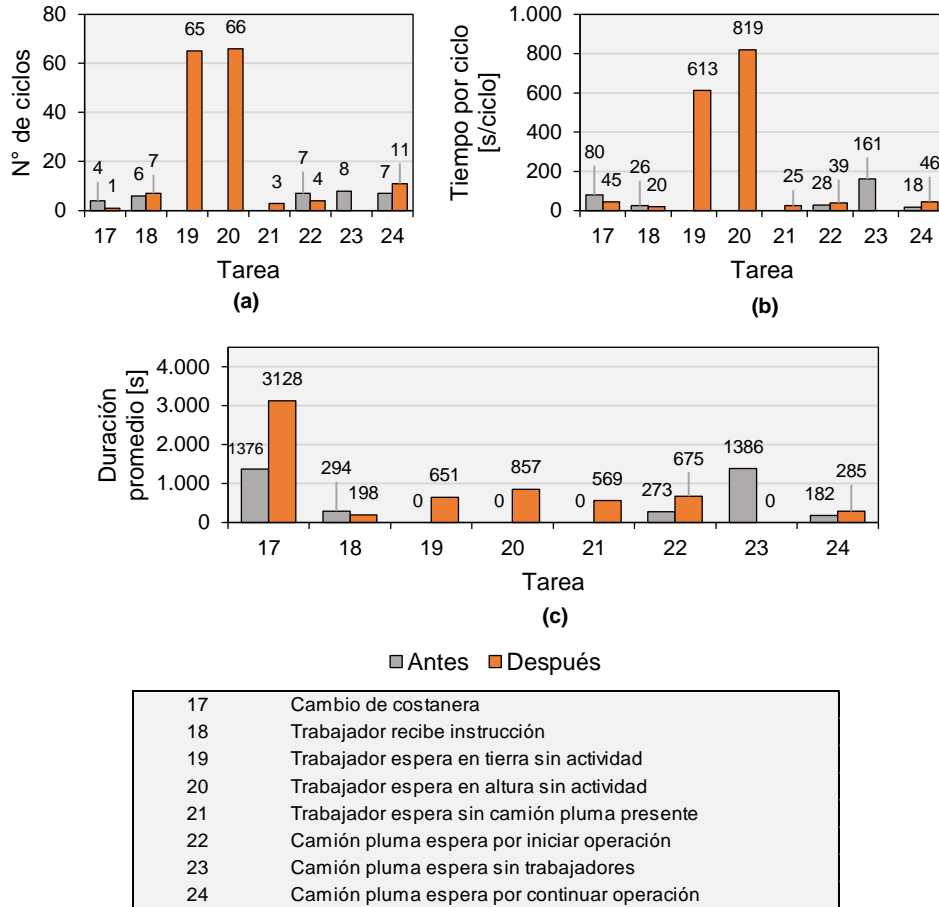


Figura 8.21. Resultado comparativo de uso de tiempo por tareas no productivas

En el caso del tiempo desperdiciado debido a instrucciones adicionales a trabajadores (tarea 18), a pesar de que el número de ciclos de ocurrencia aumentó en una unidad (Figura 8.21(a)), el tiempo por ciclo y promedio disminuyeron (Figura 8.21(b) y Figura 8.21(c)), por lo que su impacto total en el ciclo disminuyó. Esta diferencia tampoco se puede explicar por el cambio implementado, pues no tiene relación con la gestión del suministro de costaneras, sino más bien es una situación particular de la experticia de los miembros de la cuadrilla y la efectividad en el traspaso de información en obra.

Las tareas 19 y 20 de esperas por los trabajadores sin actividad en tierra y altura, respectivamente, sólo ocurrieron en la segunda parte del estudio, pero no se explican por el cambio implementado en este, sino más bien es una consecuencia directa de la reformulación del proceso por la constructora, la cual creó dos pérdidas productivas de alta ocurrencia y de importante uso del tiempo por ciclo.

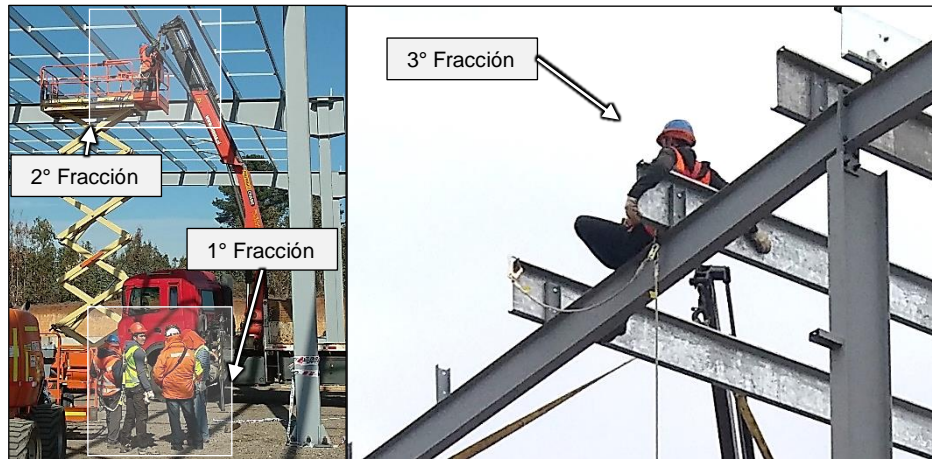


Figura 8.22. División de la cuadrilla al realizar montaje de costaneras en altura

De acuerdo a lo observado en terreno y registrado por el sistema de observación, realizar el montaje de costaneras en altura provoca una división de la cuadrilla, como se aprecia en la Figura 8.22, en una fracción compuesta por trabajadores no especializados laborando exclusivamente en tierra en actividades contributivas de soporte, una segunda fracción que se desempeña en altura en el apernado de colgadores entre costaneras, pero que puede descender a tierra mediante una plataforma elevadora o brazo articulado, y una tercera fracción dedicada al apernado en altura de los extremos de las costaneras sobre las vigas, cuyos trabajadores permanecen en altura durante todo el proceso.

Mientras en tierra se realizan labores necesarias para elevar la costanera al punto de montaje, los trabajadores de la tercera fracción están forzados a esperar la llegada de la costanera (tarea 20). De igual forma, mientras se realiza el apernado de las costaneras, con el camión pluma sosteniendo la costanera en suspensión, los trabajadores de la primera fracción están forzados a esperar que finalice el apernado (tarea 19), para que se desocupe el camión pluma y así poder iniciar un nuevo ciclo de montaje.



Figura 8.23. Interrupción del proceso por descarga de suministro proveniente de maestranza

Las esperas de los trabajadores por la falta del camión pluma en la zona de trabajo (tarea 21) son el caso opuesto a la espera del camión pluma sin trabajadores (tarea 23) pero ambas responden a la misma situación de interrupciones provocadas por las descargas deficientemente planificadas de suministro, situación que se muestra en la Figura 8.23. En el caso de la tarea 21, es el camión pluma quien se aleja de la zona de trabajo para atender la descarga.

De los resultados entregados en la Figura 8.21 se observa que la tarea 21 sólo se produjo en el segundo estudio, lo cual indica que, a pesar del cambio implementado, se generaron recepciones de suministro desde maestranza fuera de los horarios establecidos, implicando la ausencia del camión pluma para el proceso en tres ocasiones (Figura 8.21(a)) y un impacto de 25 segundos por ciclo (Figura 8.21(b)).

Por otro lado, se aprecia que la tarea 23 no ocurrió después de implementar el cambio de gestión, eliminándose completamente su ocurrencia (Figura 8.21(a)) y anulando su impacto de 161 segundos por ciclo al proceso (Figura 8.21(b)). Dado que no se observaron otros factores que explicaran esta reducción, tanto en visitas a terreno, conversaciones con el personal, como a través del sistema de observación, el cambio de gestión implementado se configura entonces como la única causa posible de esta disminución. Se tiene entonces que, en términos del tiempo utilizado, el cambio implementado tuvo un efecto neto favorable con respecto al impacto de las interrupciones al proceso, reduciéndose de 161 [s/ciclo] a sólo 25 [s/ciclo] aportados por la tarea 21. Esto equivale a una disminución del 85% del tiempo desperdiciado por esta causa. Cabe destacar que el cambio implementado, indicado en la sección 8.3, fue desarrollado teniendo como eje central la eliminación de la tarea 23, por lo tanto, era esperable que tuviera algún efecto importante sobre esta tarea.

La espera de la grúa por iniciar operación (tarea 22) tuvo un menor número de ciclos de ocurrencia en el segundo estudio de acuerdo a la Figura 8.21(a), reduciéndose de 7 a 4 ciclos, sin embargo, aumentó el tiempo destinado por ciclo (Figura 8.21(b)) en aproximadamente un 40% como respuesta al aumento de 150% del tiempo promedio de la actividad (Figura 8.21(c)). Esta diferencia no puede explicarse por el cambio implementado, pues corresponde a un ámbito completamente dominado por la situación en obra. El factor gravitante en este caso es la falta de coordinación entre el recurso humano y el camión pluma, el cual se vio empeorado en comparación al estudio inicial.

La tarea 24, definida como la espera del camión pluma para continuar su operación vio incrementado su número de ciclos de ocurrencia en 4 (Figura 8.21(a)) y su uso del tiempo por ciclo en aproximadamente un 155% (Figura 8.21(b)). La causa de ocurrencia de esta pérdida productiva sigue siendo el retraso en otras actividades del

proceso, tales como aquellas que agregan valor, contributivas o incluso inefectivas. Esto es consecuencia directa de la alta variabilidad observada en la duración de las tareas del proceso.

Finalmente es importante recalcar que las tareas 19 y 20 fueron los únicos desperdicios productivos que se produjeron exclusivamente por la reformulación del proceso de montaje de costaneras, lo cual no estaba incorporado en el cambio implementado de gestión del suministro. Si no se considera el aporte de pérdida productiva de las tareas 19 y 20, los resultados entregados en las Figura 8.21(b) indican que el cambio implementado en la gestión del suministro permite la reducción del tiempo destinado a tareas no productivas en un 44%. Si a lo anterior, además se le agregan las tareas inefectivas, de las Figura 8.18(b) y Figura 8.21(b) se obtiene que el cambio implementado permite en total una reducción del 38% del tiempo por ciclo desperdiciado en pérdidas productivas cuando el montaje se realiza en tierra.

8.4.2. Resultado comparativo de uso del recurso laboral por el proceso

El análisis comparativo de la utilización de fuerza laboral y maquinaria se realizó, en primera instancia, con respecto a cada categoría de trabajo, para luego ahondar en aquellas tareas consideradas pérdidas productivas.

Durante la segunda fase de la toma de datos de terreno se detectó la adición de una plataforma elevadora y un brazo articulado como soporte al proceso. El aprovechamiento del nuevo recurso, en el marco del estudio presentado, también es discutido en esta sección.

8.4.2.1. Análisis de recursos por categorías de tiempo de trabajo – estudio comparativo

La disminución del uso de horas-hombre en un 25% para las tareas que agregan valor, que se desprende del resultado entregado en la Figura 8.24, se debe a la reducción de la fuerza laboral destinada a las actividades de esta categoría (ver Figura B.5 en anexo). Por otro lado, el camión pluma se mantiene como la única maquinaria utilizada para agregar valor, por lo que el aumento de horas-máquina utilizadas en agregar valor de un 42%, que se obtiene de la Figura 8.24, se explica por el aumento del tiempo destinado por el camión pluma a elevar y descargar la costanera sobre un par de vigas.

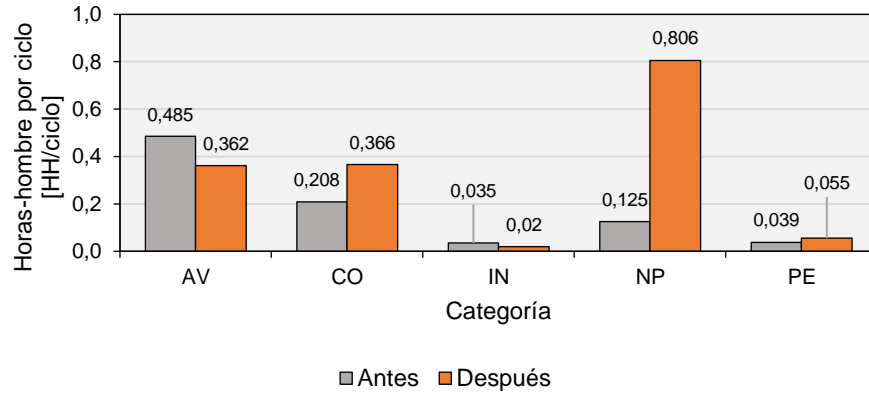


Figura 8.24. Resultado comparativo, según categoría, de horas-hombre por ciclo trabajado

La Figura 8.24 y Figura 8.25 indican que aumentó el uso de horas-hombre y horas-máquina, de forma contributiva, en un 76% y 90% respectivamente, y que, además, se añadió el uso de una plataforma elevadora y un brazo articulado mayoritariamente para esta categoría de trabajo. El aumento del tiempo, horas-hombre y horas-máquina destinadas a tareas contributivas, así como también la inclusión de la nueva maquinaria, se explican por la reformulación del proceso de montaje, el cual contribuyó al aumento de la duración de algunas de las tareas de esta categoría (ver Figura B.3 en anexo) y a la creación de actividades de traslado de trabajadores a la altura de montaje, para las cuales se requirió de la nueva maquinaria.

Mientras el uso de horas-hombre en tareas inefectivas disminuyó en un 41%, gracias al uso de maquinaria como apoyo durante la segunda parte del estudio, el uso de horas-hombre en actividades no productivas aumentó enormemente en un 544%.

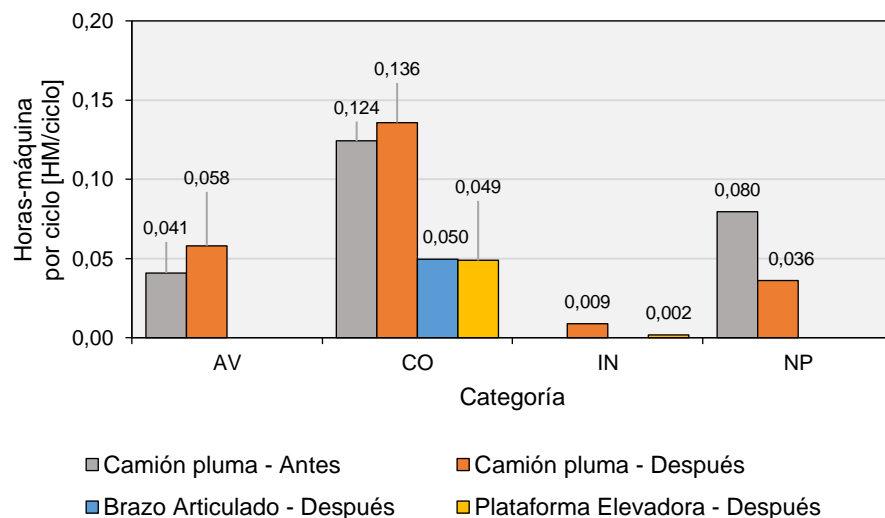


Figura 8.25. Resultado comparativo, según categoría, de horas-máquina por ciclo trabajado

De acuerdo al resultado entregado en la Figura 8.26, la proporción de uso de los recursos en pérdidas productivas, tiempo inefectivo y no productivo, aumentó de un 17,9% a un 51,4% para el caso de las horas-hombre, pero disminuyó de 32,5% a un 18,8% en el caso del uso del camión pluma. Esto tuvo como consecuencia un aumento en la proporción de uso del camión pluma en tareas que agregan valor y contributivas.

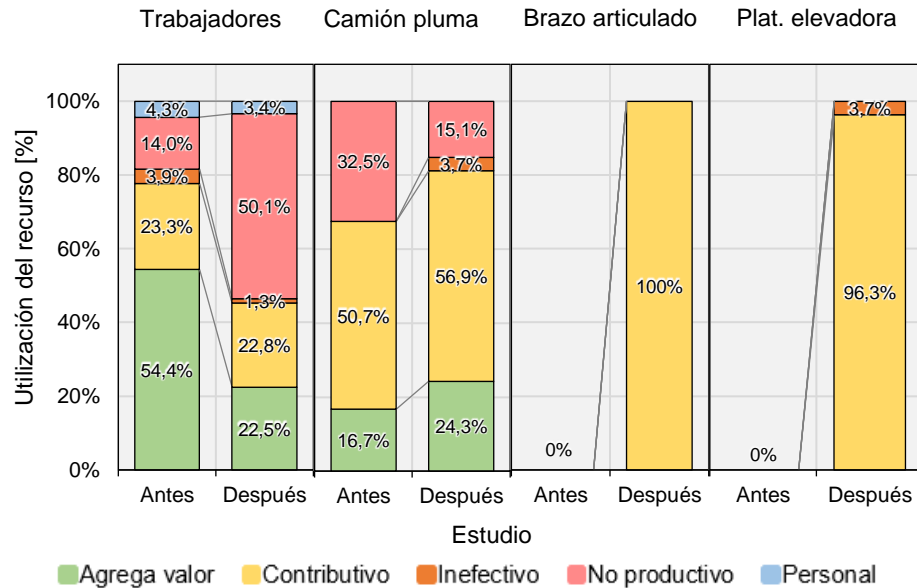


Figura 8.26. Resultado comparativo de utilización del recurso laboral por categoría de trabajo

El análisis de la utilización del recurso horas-hombre y horas-máquina en actividades inefectivas y no productivas será profundizado a continuación.

8.4.2.2. Análisis de recursos en tareas inefectivas e ineficientes – estudio comparativo

En la Figura 8.27(a) se observa que la utilización de horas-hombre por ciclo para acercar las costaneras sin ayuda de maquinaria (tarea 14) se redujo en un 95% al favorecer la utilización del camión pluma (tarea 15) y la plataforma elevadora (tarea 16). Por otra parte, la Figura 8.27(c) confirma que, al utilizar el camión pluma como apoyo al acercamiento de costaneras, se requiere de una menor cantidad de trabajadores.

El acercamiento de costaneras con ayuda de la plataforma elevadora, por su parte, tuvo un único ciclo de ocurrencia, pero por su alto uso del tiempo y cantidad de trabajadores, se obtuvo una cantidad de horas-hombre por ciclo no despreciable frente a las otras alternativas.

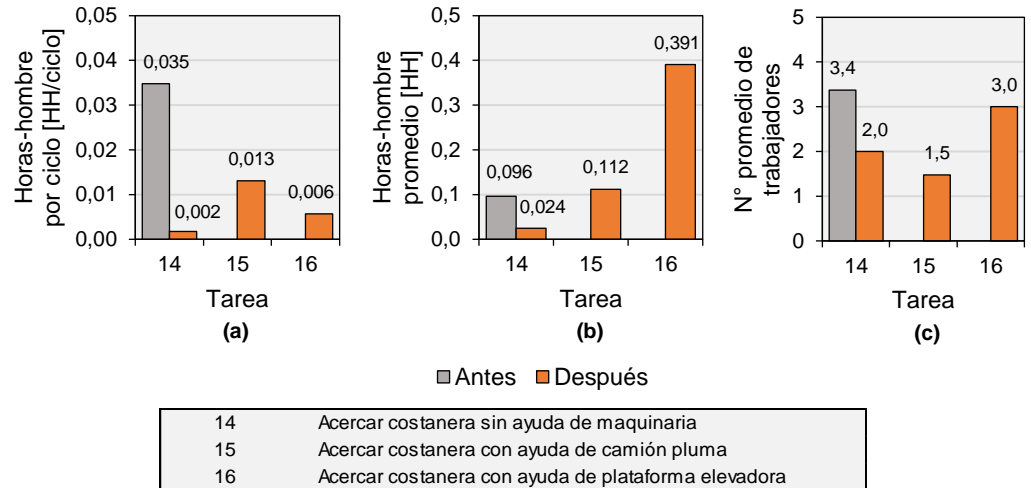


Figura 8.27. Resultado comparativo de uso de horas-hombre por tareas inefectivas

Con respecto al uso de horas-máquinas, del resultado entregado en la Figura 8.28(a) se desprende que el 82% de utilización del recurso por ciclo, en forma inefectiva, corresponde al camión pluma.

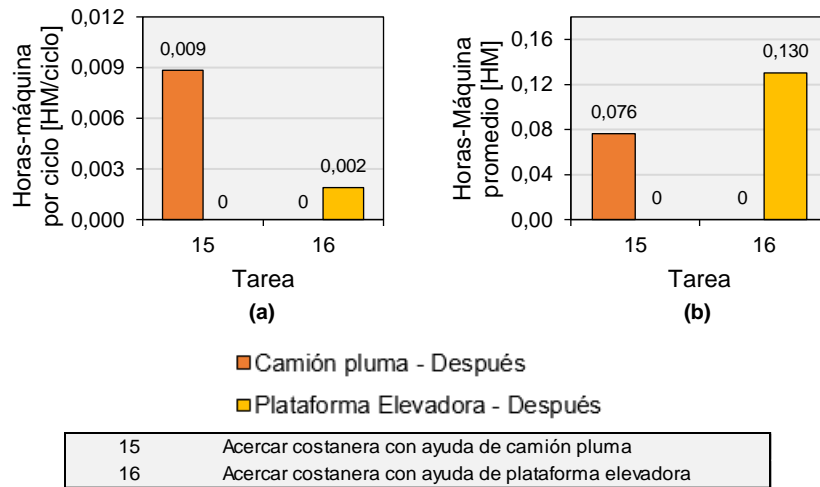


Figura 8.28. Resultado comparativo de uso de horas-máquina por tareas inefectivas

De la Figura 8.29 se tiene que, en la segunda parte del estudio, un 63,7% de las horas-hombre se utiliza para acercar costaneras con ayuda del camión pluma, mientras sólo un 8,6% para acercarlas sin ayuda de este. Sin embargo, dado que el tiempo por ciclo destinado a las actividades inefectivas de acercar costaneras globalmente aumentó, a pesar de haberse reducido los ciclos de ocurrencia en un 44%, de acuerdo a lo obtenido en la sección anterior, se desprende que acercar las costaneras con ayuda de maquinaria, desde el punto de vista de reducir los desperdicios productivos, fue contraproducente.

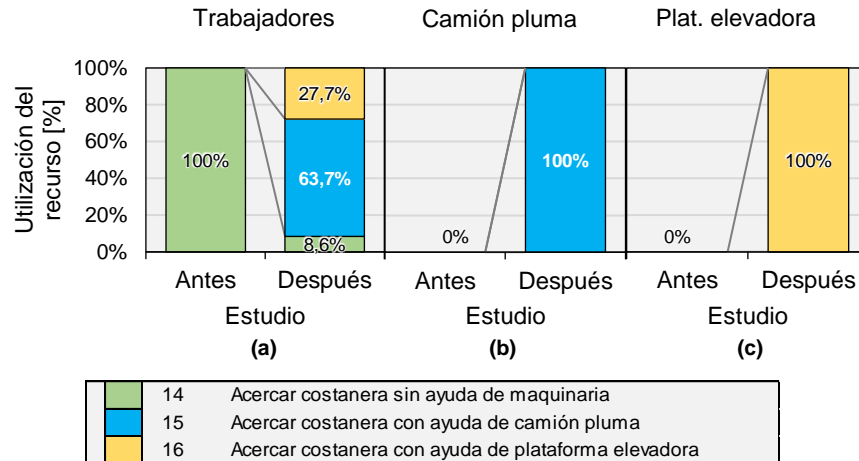


Figura 8.29. Resultado comparativo de utilización del recurso laboral por tarea inefectiva

Cabe recalcar que los resultados expuestos en este numeral no son consecuencia del cambio implementado en la gestión del suministro, sino que obedecen exclusivamente a condiciones propias de la obra que fueron detalladas en 8.4.1.2.

8.4.2.3. Análisis de recursos en tareas no productivas – estudio comparativo

La reducción en el uso del recurso horas-hombre por ciclo que se observa en la Figura 8.30(a) para las tareas 17 y 18 se ve enormemente opacada por el uso de horas-hombre en esperas de trabajadores en tierra y altura posterior al cambio implementado. Lo anterior, como fue explicado en la sección 8.4.1.3, es consecuencia directa de la reformulación del proceso impuesta por la constructora, más no del cambio de logística implementado.

En la Figura 8.30(a) se aprecia también cómo cambia la configuración de utilización del recurso humano, pasando las tareas 19 y 20 a concentrar el 88,1% de la fuerza laboral utilizada en forma no productiva. Mientras las horas-hombre desperdiciadas en tareas no productivas sumaron en total 0,125 [HH/ciclo] para el estudio inicial, el uso total ascendió hasta las 0,806 [HH/ciclo] para la segunda fase del estudio, equivalentes a un aumento de 544% de uso del recurso. A pesar de que las horas-hombre promedio utilizadas por las tareas 19 y 20 (Figura 8.30(b)), así como también su número promedio de trabajadores necesarios (Figura 8.30(c)) presentan una magnitud inferior al caso de cambio de costaneras, el alto impacto de estas actividades, observado en la Figura 8.30(a), se explica por su ocurrencia en casi la totalidad de los ciclos de observación (ver Figura 8.21(a)).

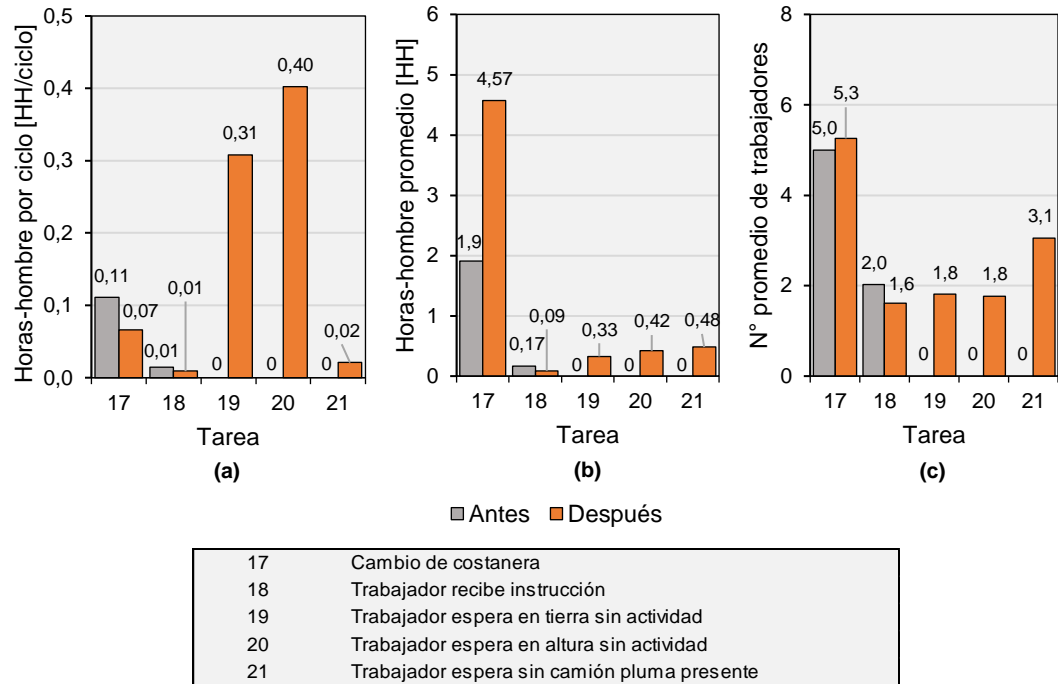


Figura 8.30. Resultado comparativo de uso de horas-hombre por tareas no productivas

Otra tarea que se presentó solamente en la segunda fase del estudio fue la espera de trabajadores sin camión pluma presente (tarea 21), con la cual se desperdiciaron 0,02 [HH/ciclo] (ver Figura 8.30(a)) correspondientes al 2,6% de las horas-hombre destinadas a tareas no productivas durante el segundo registro. Como se mencionó en la sección 8.4.1.3, la ocurrencia de esta actividad respondió a interrupciones al proceso provocadas por descargas de suministro en obra deficientemente planificadas, por lo que, a pesar del cambio implementado en torno a la gestión del suministro, se desperdició recurso laboral por esta causa.

La única tarea no productiva cuya ocurrencia fue eliminada en un 100% durante el segundo periodo registrado fue la tarea 23 de espera del camión pluma sin trabajadores en la zona de montaje (ver Figura 8.31). De acuerdo a lo detallado en la sección 8.1.1.3, esta actividad se relaciona directamente con las interrupciones provocadas por las descargas de suministro en obra deficientemente planificadas. Este resultado representa el mayor impacto positivo del cambio de gestión implementado, pues fue esta actividad la que mayor tiempo y horas-máquina por ciclo desperdició durante el estudio inicial y como tal, determinó el cambio de logística implementado.

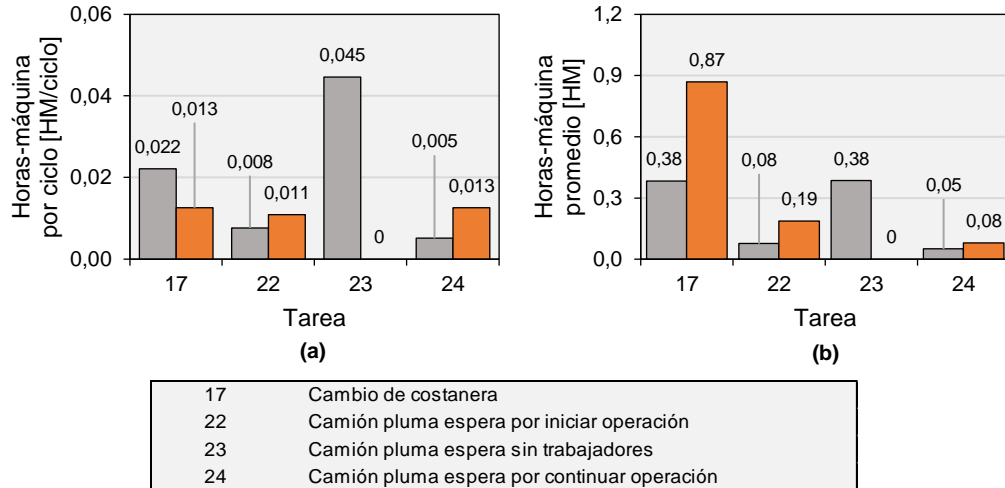


Figura 8.31. Resultado comparativo de uso de horas-máquina por tareas no productivas

En la Figura 8.32(b) se muestra que inicialmente la tarea 23 utilizaba el 56,1% del recurso horas-máquina desperdiciado en forma no productiva, mientras que después de la implementación del cambio su utilización fue anulada. Gracias a esto, las horas-máquina desperdiciadas en total en tareas no productivas pudieron reducirse en un 55% (ver Figura 8.25).

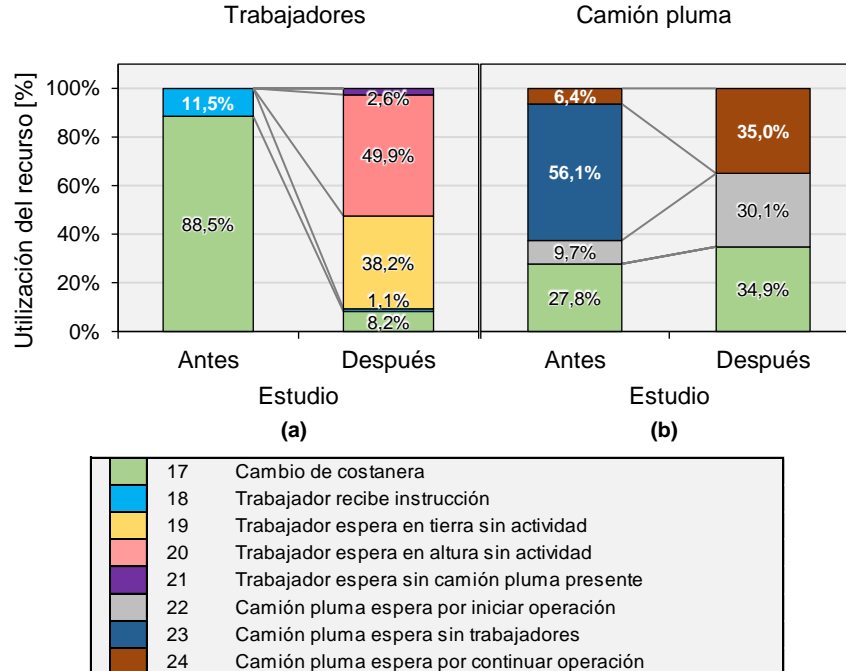


Figura 8.32. Resultado comparativo de utilización del recurso laboral por tarea no productiva

En términos de la utilización de fuerza laboral, los resultados indican que la implementación del cambio de gestión se relaciona directamente con un aumento de las

horas-hombre desperdiciadas de 0,02 [HH/ciclo] debido a la tarea 21, en paralelo a una reducción del uso del camión pluma de 0,045 [HM/ciclo] por la anulación de la tarea 23.

Finalmente, se recalca que el efecto aislado del cambio de gestión implementado frente a la modificación del proceso, obtenido al no considerar la ocurrencia de las tareas 19 y 20, fue la reducción en un 55% del desperdicio de horas-máquina en tareas no productivas (ver Figura 8.31(a)). Si además se consideran los resultados obtenidos para tareas inefectivas mostrados en la Figura 8.28(a), la reducción total de horas-máquina desperdiciadas en pérdidas productivas alcanza un 44%. A pesar de que, sin considerar las tareas 19 y 20 se obtuvo una reducción del 23% del uso de horas-hombre en tareas no productivas (ver Figura 8.30(a)) y en total del 27% si se consideran las tareas inefectivas (ver Figura 8.27(a)), esto no es atribuible al cambio implementado, sino que obedece principalmente a la menor ocurrencia del rehacer tareas, representado por la tarea 17, explicado por un aumento en la calidad del suministro.

8.4.3. Análisis comparativo de costo monetario del proceso

Para el cálculo de los costos monetarios se mantienen las consideraciones adoptadas en la sección 8.1.3 en relación al recurso humano y el camión pluma. Sin embargo, cabe recalcar que la utilización del brazo articulado y la plataforma elevadora no ha sido considerada dentro de este análisis. Esto se debe a que la empresa siempre contó con estas máquinas dado que eran de su pertenencia, por lo que no existió un costo extra por su utilización. De esta forma también se posibilita comparar en las mismas condiciones el costo asociado al desarrollo del proceso durante ambos periodos de estudio.

Como se determinó en la sección anterior, la utilización del brazo articulado y la plataforma elevadora se limitó casi en su totalidad a tareas contributivas, por lo que el camión pluma continúa siendo la única maquinaria con presencia importante en las pérdidas productivas del proceso estudiado.

8.4.3.1. Costo monetario por categorías de tiempo de trabajo – estudio comparativo

A pesar de que se modificó la proporción de horas-hombre y horas-máquina utilizadas en tareas que agregan valor, los resultados entregados en la Figura 8.33 indican que el costo monetario por estas se mantuvo prácticamente constante, no así en el caso de las tareas contributivas, cuyo costo por ciclo aumento tanto por el mayor uso de horas-hombre como de horas-máquina. Por otro lado, se observa que los costos monetarios asociados a tareas inefectivas y personales aumentaron, sin embargo, su magnitud sigue siendo mínima en comparación con las demás categorías.

Los resultados de la Figura 8.33 muestran que la categoría de tiempo de trabajo no productivo vio reducida su fracción de costo monetario asociado a la maquinaria (camión pluma) en aproximadamente un 55%, sin embargo, gracias al aumento de un 592% en la utilización de horas-hombre, el costo monetario neto por ciclo en esta categoría aumentó en un 38%.

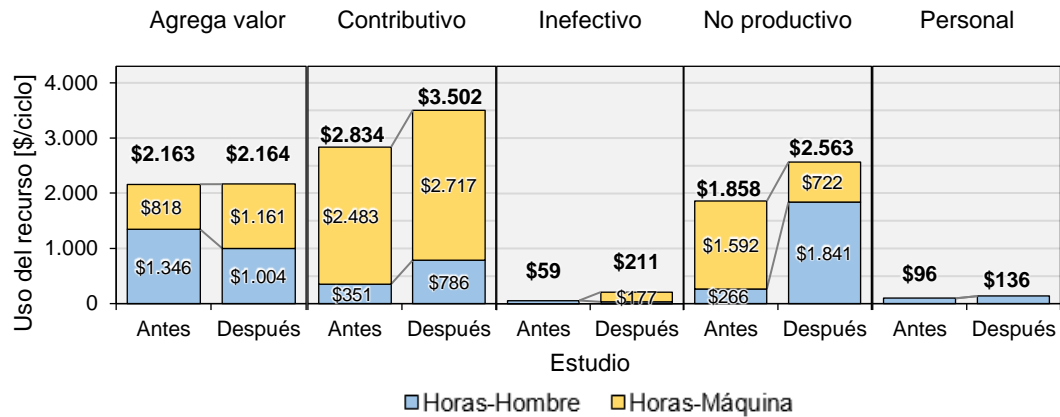


Figura 8.33. Resultado comparativo de costo monetario por ciclo según categoría de trabajo y recurso

El costo monetario por ciclo de proceso, para el estudio inicial, resultó \$7.010, mientras que en la segunda fase del estudio este valor creció aproximadamente en un 22%, alcanzando los \$8.577 por ciclo. Como en ambas fases del estudio la cantidad de ciclos registrada fue igual a 69, es posible comparar el costo total del proceso durante ambos registros, equivalentes a \$483.698 durante el estudio inicial y \$591.812 durante la segunda fase, los cuales suman \$1.075.510 para un total de 138 costaneras montadas durante todo el experimento.

En la Figura 8.34 se aprecia cómo fue aprovechado el dinero en los recursos utilizados. Inicialmente, un 80,2% del gasto monetario en trabajadores se justificaba en actividades productivas, es decir aquellas que agregan valor y contributivas, sin embargo, esto se redujo a sólo un 47,1% durante la segunda fase del estudio debido al enorme desperdicio de horas-hombre detectado por la realización de las tareas 19 y 20. Por otro lado, de un 67,4% de gasto monetario en el camión pluma en actividades productivas, se aumentó su proporción al 81,2%, a la vez que se redujo el desperdicio monetario de un 32,5% a un 18,7%.

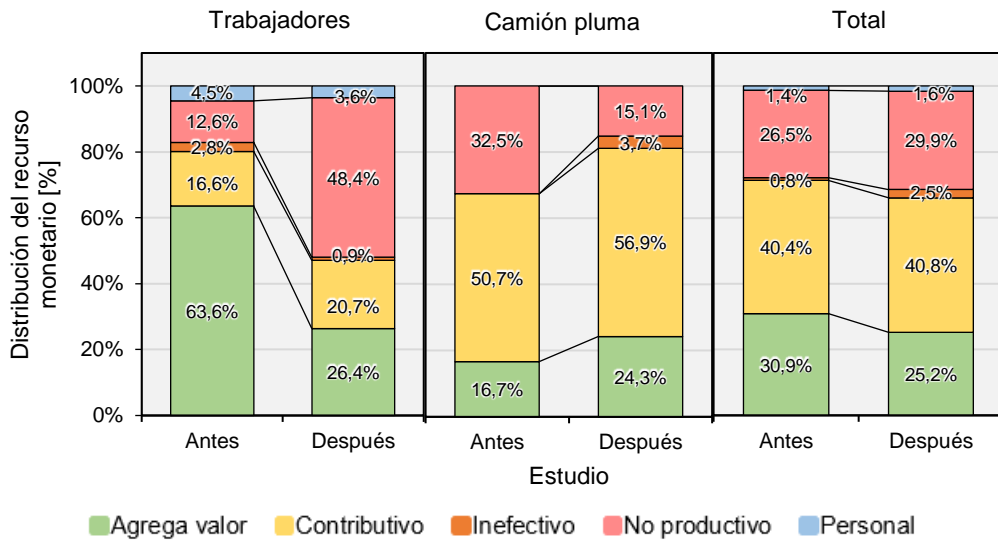


Figura 8.34. Resultado comparativo de distribución del recurso monetario por categoría de trabajo

En términos totales, se redujo el aprovechamiento del dinero en tareas productivas de un 71,3% a un 66%. Lo anterior viene de la mano de un aumento de la proporción de dinero desperdiciado en pérdidas productivas de 27,3% a un 32,4%.

8.4.3.2. Costo monetario de tareas inefectivas e ineficientes – estudio comparativo

De la Figura 8.35 se desprende que el costo asociado a acercar costaneras con ayuda del camión pluma, en la segunda fase del estudio, fue un 237% mayor al acercamiento sin maquinaria realizado durante el estudio inicial, a pesar del menor número de ciclos de ocurrencia y tiempo por ciclo durante el segundo registro (ver Figura 8.18).

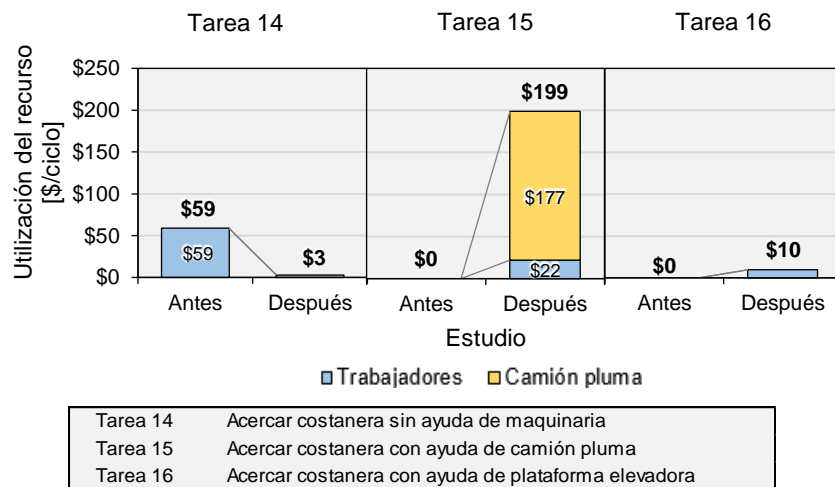


Figura 8.35. Resultado comparativo de costo monetario de tareas inefectivas por recurso utilizado

De lo anterior se desprende que utilizar el camión pluma como ayuda para el acercamiento de las costaneras no trajo beneficios de tiempo ni monetarios, sólo la reducción de utilización de horas-hombre bajo estas eventualidades.

En términos porcentuales, los resultados entregados en la Figura 8.36 indican que la tarea 15 concentró el 63,7% del costo asociado a la utilización de mano de obra para tareas inefectivas y el 100% de la utilización del camión pluma en la segunda parte del estudio. Por lo tanto, dada la baja ocurrencia y tiempo destinado por ciclo a las tareas 14 y 16 (ver Figura 8.18), es comprensible que el 94,1% del dinero desperdiciado en actividades inefectivas haya sido utilizado para la tarea 15.

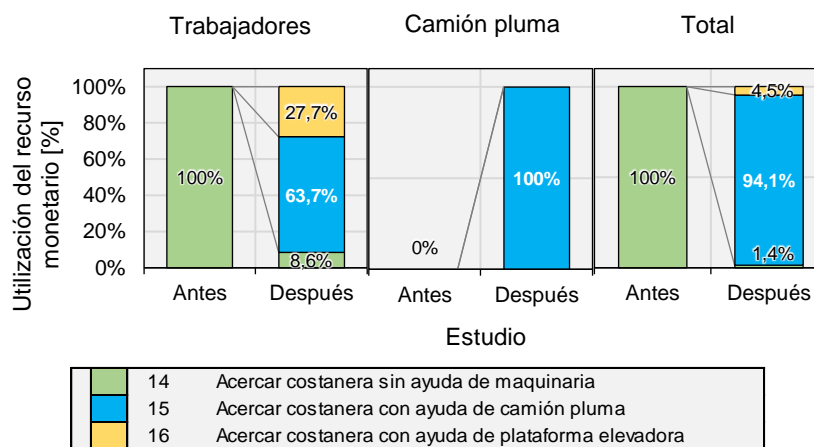


Figura 8.36. Resultado comparativo de distribución del recurso monetario por tarea inefectiva

A pesar de que el costo por ciclo de las pérdidas productivas por tiempo inefectivo aumentó aproximadamente en un 260% con respecto a la situación del registro inicial, la magnitud de este costo representa tan solo un 2,5% del costo total del proceso por ciclo, por lo que, desde el punto de vista monetario, las tareas inefectivas son irrelevantes.

8.4.3.3. Costo monetario de tareas no productivas – estudio comparativo

De los resultados entregados en la Figura 8.37 se aprecia que los tiempos destinados a que los trabajadores reciban instrucciones adicionales (tarea 18) y a esperas de estos por el camión pluma (tarea 21) representan un costo monetario despreciable frente al de las demás pérdidas productivas, justificando respectivamente tan solo el 0,75% y el 1,74% del dinero desperdiciado en tareas no productivas durante la segunda fase del registro del proceso.

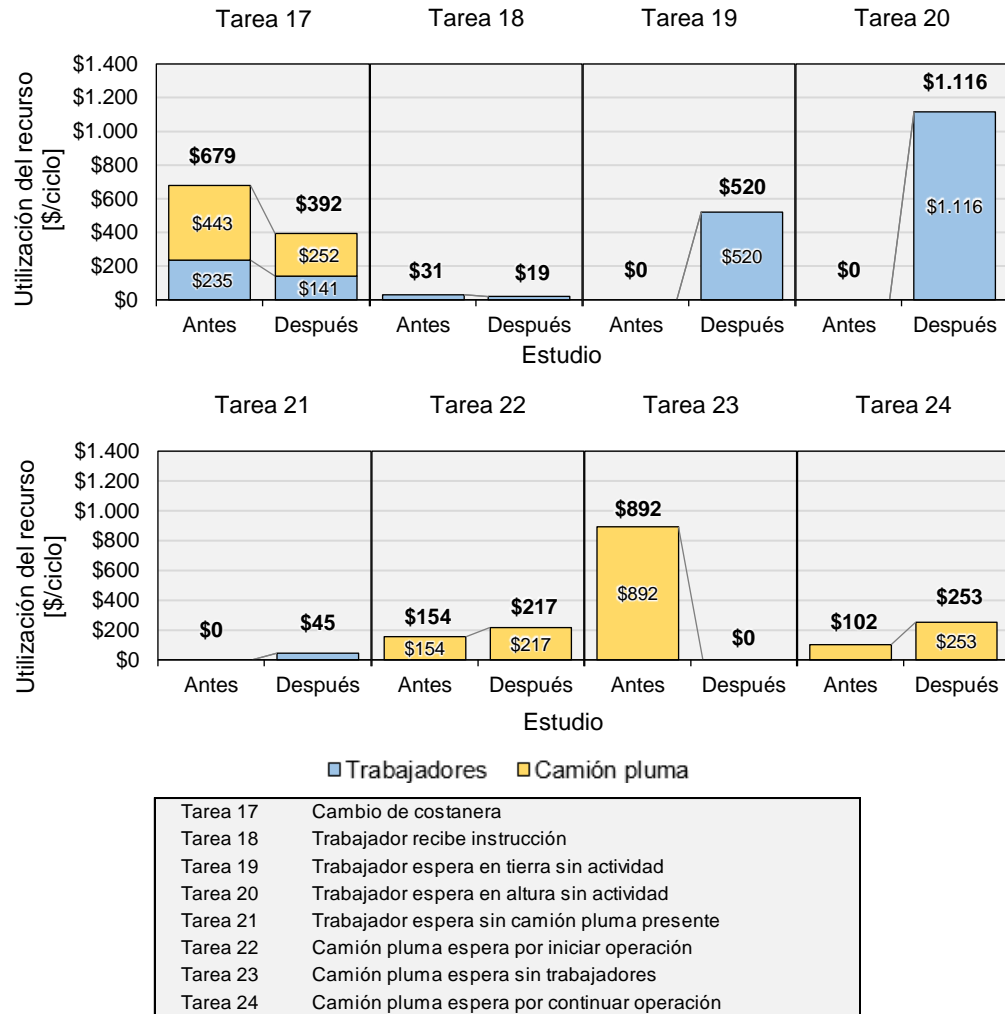


Figura 8.37. Resultado comparativo de costo monetario de tareas no productivas por recurso utilizado

Por otra parte, como se ha comentado en las secciones anteriores, las tareas 19 y 20 de esperas de trabajadores en tierra y altura sin actividad consumieron una gran cantidad de tiempo y recurso humano, lo cual explica el alto costo monetario asociado de \$520 y \$1.116 por ciclo respectivamente. La espera en altura (tarea 20) es realizada por trabajadores de montaje, considerados de mayor costo, lo cual determinó la gran diferencia de costo con la tarea 19 a pesar de que estas desperdiciaran una cantidad de tiempo por ciclo similar y además tuvieran una cantidad de ciclos de ocurrencia parecida (ver Figura 8.21).

La cantidad de dinero total desperdiciada por ciclo en actividades no productivas creció de \$1.858 a \$2.563, equivalentes a un aumento aproximado del 38%. De acuerdo al resultado entregado en la Figura 8.38 se desprende que, de los \$2.563 desperdiciados en total por ciclo, el 63,9% se explica por las tareas 19 y 20 en conjunto.

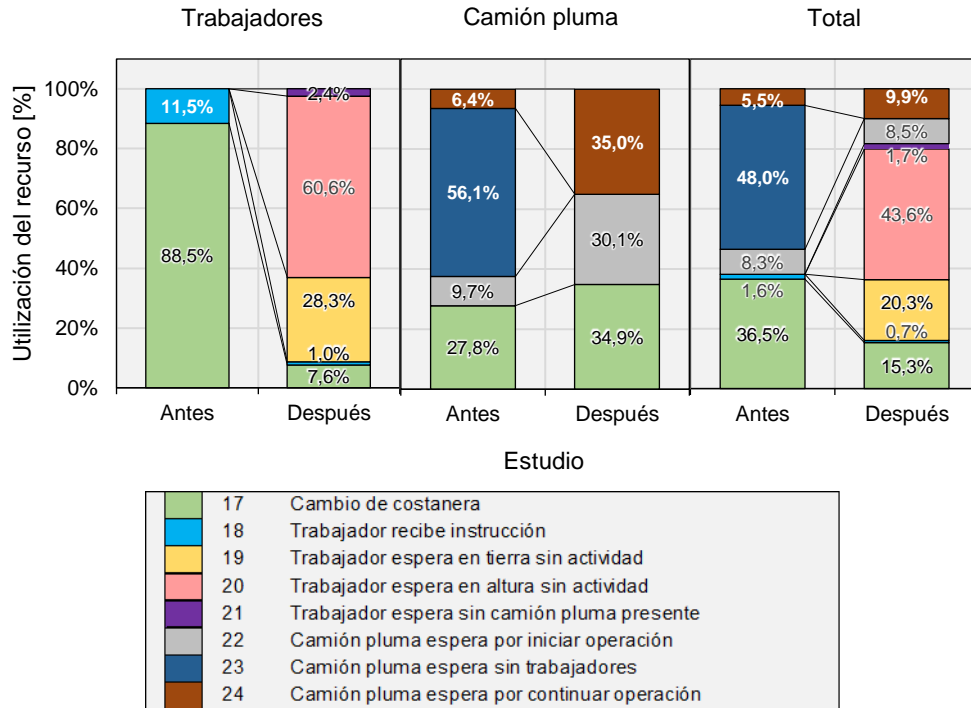


Figura 8.38. Resultado comparativo de distribución del recurso monetario por tarea no productiva

Las tareas directamente relacionadas con el cambio de gestión implementado son la espera de trabajadores sin el camión pluma presente y la espera del camión pluma sin trabajadores presentes, tareas 21 y 23 respectivamente. En la Figura 8.37 se observa que mientras el costo por ciclo asociado a la ejecución de la tarea 21 fue nulo durante el estudio inicial, resultó igual a \$45 después de la implementación del cambio. Por otro lado, el costo asumido por el desarrollo de la tarea 23, durante el estudio inicial, fue de \$892 por ciclo, el cual se anuló completamente como consecuencia de la implementación del cambio previo a la segunda fase del registro. Por lo tanto, el cambio implementado produjo una reducción neta del dinero desperdiciado por ciclo debido a interrupciones de los camiones de suministro (desarrollo de la tarea 21 y 23) de \$847 por ciclo, equivalentes a una reducción del 95% del costo asociado a estas actividades.

A pesar de que, gracias al cambio implementado, se redujo completamente la pérdida monetaria asociada a la tarea 23, principal fuente de desperdicio en el estudio inicial, la generación de las tareas 19 y 20 por la reformulación del proceso de montaje de costaneras por parte de la constructora, opaca el efecto positivo logrado. En caso de no considerar el desperdicio monetario en las tareas 19 y 20, de la Figura 8.37 se desprende que el cambio de gestión implementado permite ahorrar aproximadamente el 50% del dinero desperdiciado en tareas no productivas al realizar montaje de costaneras en tierra, lo cual se reduce a un 41% en caso de incluir las tareas inefectivas (ver Figura 8.35).

8.5. Resumen y discusión de resultados

En esta sección se sintetizan los resultados más relevantes obtenidos del análisis realizado previamente al proceso de montaje estructural de costaneras, los cuales se discuten con un enfoque centrado en las hipótesis de esta investigación.

8.5.1. Estudio inicial y cambio de gestión implementado

Para efectos de un estudio inicial, luego de registrar y medir el tiempo y la cantidad de trabajadores que fueron utilizados para desarrollar 69 ciclos del proceso de montaje de costaneras en suelo, se obtuvo el tiempo, horas-hombre, horas-máquina y el costo monetario asociado al desarrollo de cada una de sus tareas. En términos de tiempo, el resultado que se muestra en la Figura 8.1 indica que aproximadamente el 18% del tiempo acumulado por las tareas del proceso fue desperdiciado en tareas inefectivas y no productivas, siendo la espera del camión pluma sin trabajadores en terreno (tarea 23) la de mayor relevancia, representando un 46% de esta pérdida (obtenido a partir de lo entregado en Figura 8.3).

Por otra parte, en términos de uso del recurso laboral, los resultados mostrados en la Figura 8.5 indican que el 17,9% de las horas-hombre y el 32,5% de las horas-máquina destinadas al proceso son desperdiciados en actividades que clasifican como pérdidas productivas. A partir de los resultados entregados de la Figura 8.6 a la Figura 8.8 se comprobó que la instalación y desmontaje de costanera con defecto (tarea 17) y la espera del camión pluma sin trabajadores en terreno (tarea 23) representaron, respectivamente, el 69% del desperdicio de horas-hombre y el 56% del desperdicio de horas-máquina, configurándose ambas tareas como aquellas de mayor relevancia en este aspecto.

Finalmente, en base a los datos obtenidos en relación al uso del recurso laboral, se estimó el costo asociado al desarrollo del montaje de costaneras. El resultado entregado en la Figura 8.10 muestra lo relevante que es, en términos económicos, el desperdicio productivo del camión pluma por sobre el de los trabajadores, representando el primero un 70% del costo total. Por otro lado, del resultado entregado en la Figura 8.12 y Figura 8.13 se desprende que la actividad 17 y 23 concentran el 82% del costo asociado a los desperdicios productivos, siendo la actividad 23 la de mayor relevancia al concentrar el 47% del dinero desperdiciado.

Los resultados del estudio inicial, resumidos previamente, indicaron que la mayor parte de los desperdicios productivos se debían a la ocurrencia de la actividad 23. A su vez, las observaciones en terreno permitieron identificar como causa de esta actividad la interrupción provocada por el camión de suministro de perfiles de acero durante el desarrollo del montaje de costaneras, requiriendo de la mano de obra de este proceso para efectuar la

descarga del suministro y, consecuentemente, imposibilitando al camión pluma continuar con el proceso, forzándolo a esperar. Debido a esto, se implementó un cambio de gestión en la logística y la planificación del suministro de perfiles de acero, estableciendo horarios de arribo del suministro a obra a modo de no interrumpir los procesos llevados a cabo en terreno. Este cambio fue detallado en la sección 8.3. y se enfoca en reducir el desperdicio de horas-máquina en el uso del camión pluma.

8.5.2. Estudio posterior al cambio y comparación a la situación inicial

Luego de la implementación del cambio de gestión en torno al suministro, se registraron y midieron los mismos parámetros antes mencionados para unos nuevos 69 ciclos de desarrollo del proceso, a modo de completar un experimento de tipo comparativo. Sin embargo, para el estudio inicial, el montaje de costaneras se desarrolló a nivel del suelo, mientras que, durante el estudio posterior al cambio, se observó un cambio en su desarrollo, pasando a ser en altura. Cabe destacar que esta modificación al modo de desarrollar el montaje no estaba contemplada dentro del cambio de gestión implementado. A pesar de esto, el estudio se continuó y finalmente se comprobó que el único efecto en términos de desperdicios productivos de realizar el montaje en altura, en comparación a realizarse a nivel del suelo, fue la creación de dos nuevas tareas no productivas no observadas durante el estudio inicial: la espera de trabajadores en tierra, o tarea 19, y en altura, o tarea 20. Esta comprobación fue detallada en las secciones 8.4.1 y 8.4.2.

Los resultados relevantes del experimento comparativo, en pos de validar las hipótesis de este trabajo, se muestran en la Tabla 8.3, en la cual se han destacado en color rojo aquellas actividades directamente relacionadas a la modificación del desarrollo del proceso, de montaje en suelo a montaje en altura, y en color verde aquellas directamente relacionadas con el cambio de gestión implementado. Esta tabla se obtuvo de recopilar los datos entregados en las figuras mostradas previamente en la sección 8.4.

Tabla 8.3. Resultados relevantes del análisis comparativo de los desperdicios productivos

Categoría	Tarea	Tiempo [s]/ciclo		Horas-Máquina/ciclo		Horas-Hombre/ciclo		Costo actividad [\$/ciclo]	
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Inefectivo	14	37	3	0	0	0,035	0,002	\$ 59	\$ 3
	15	0	32	0	0,009	0	0,013	\$ -	\$ 199
	16	0	7	0	0	0	0,006	\$ -	\$ 10
No Productivo	17	80	45	0,022	0,013	0,111	0,066	\$ 679	\$ 392
	18	26	20	0	0	0,014	0,009	\$ 31	\$ 19
	19	0	613	0	0	0	0,308	\$ -	\$ 520
	20	0	819	0	0	0	0,402	\$ -	\$ 1.116
	21	0	25	0	0	0	0,021	\$ -	\$ 45
	22	28	39	0,008	0,011	0	0	\$ 154	\$ 217
	23	161	0	0,045	0	0	0	\$ 892	\$ -
	24	18	46	0,005	0,013	0	0	\$ 102	\$ 253

Considerando todos los efectos producidos en obra, de la Tabla 8.3 se obtiene que el tiempo destinado a desperdicios productivos, es decir tareas inefectivas y no productivas, aumentó en un 372% gracias a la gran pérdida productiva introducida por las tareas 19 y 20.

Aun cuando el cambio de gestión implementado tuvo como efecto la reducción en un 85% del tiempo desperdiciado por interrupciones al proceso debido a descargas de suministro deficientemente planificadas, la adición de esperas de trabajadores en tierra y altura por la reformulación del proceso opaca enormemente la mejora lograda con el cambio implementado y explica en gran medida el aumento del tiempo destinado a tareas no productivas. Esto trajo consigo, inevitablemente, un aumento del desperdicio de horas-hombre, el cual ascendió en un 417%. Por otro lado, dado que la modificación del proceso de montaje de costaneras por parte de la constructora no provocó un cambio en el uso del camión pluma, el cambio de gestión implementado redujo el desperdicio total de horas-máquina en camión pluma en un 44%, al anular completamente la pérdida productiva debido a la espera del camión pluma sin trabajadores.

A pesar del gran aumento de 417% del desperdicio total del recurso horas-hombre, la reducción de un 44% del desperdicio productivo de horas-máquina produjo un efecto compensador en términos monetarios, obteniéndose un aumento neto de sólo un 45% del costo asociado a los desperdicios productivos del proceso. Esto se debió a que comparativamente, para una misma cantidad de tiempo, el costo monetario por el uso de un camión pluma es mucho mayor al de mantener a un trabajador en obra. Por lo tanto, desde el punto de vista monetario, resultó más beneficioso reducir los desperdicios productivos relacionados al uso de maquinaria.

Para poder comprobar la validez de la segunda hipótesis de esta investigación se debe evaluar el efecto del cambio de gestión implementado manteniendo todas las demás condiciones del proceso tal como fueron identificadas durante el estudio inicial. Dado que se comprobó la no superposición de efectos por la modificación efectuada por la empresa constructora, es posible entonces obviar el desarrollo de las tareas 19 y 20, único efecto de esta modificación en relación a los desperdicios productivos, y así contar con datos comparables entre ambos estudios, de modo de poder evaluar el efecto aislado del cambio de gestión implementado sobre los desperdicios productivos del proceso.

Teniendo en cuenta lo anterior, al omitir la medición efectuada a las tareas 19 y 20, los resultados restantes entregados en la Tabla 8.3 indican que el cambio de gestión implementado, con respecto a la situación inicial del proceso o montaje de costaneras a nivel del suelo, logró reducir, con respecto a la situación inicial, el tiempo desperdiciado en pérdidas productivas en un 38%, a la vez que reduce el desperdicio de horas-máquina en un 44% y el desperdicio monetario en un 41%.

8.5.3. Efectos cualitativos del cambio implementado

Desde el punto de vista de la gestión global de la obra, cabe recalcar que el cambio implementado en la logística del suministro de perfiles de acero, no contempló alteración alguna a la gestión de obra llevada a cabo por la empresa constructora, sino que modificó la gestión de la empresa proveedora de perfiles de acero, en relación al despacho de suministros a terreno. A pesar de esto, el cambio tuvo como efecto inmediato un aumento de la coordinación entre ambos actores del proyecto, en cuanto la planificación de la maestranza pasó a tener una mayor consideración de la planificación de la obra, y viceversa.

El efecto antes mencionado se pudo observar en obra durante la segunda fase del estudio, periodo en el cual se constató una reducción importante del impacto que producía la descarga de camiones con suministro sobre la productividad de los procesos de montaje, pudiendo ser esto medido en particular sobre el montaje de costaneras. De igual forma, al evitarse la llegada de camiones con suministro durante la ejecución de los procesos constructivos, no fue necesario reubicar fuerza laboral para llevar a cabo su descarga, sino que se pudo contar rápidamente con trabajadores para realizarla, lo que tuvo como consecuencia directa una agilización del proceso de descarga de suministro. Lo anterior es una muestra de que la empresa proveedora también obtuvo un beneficio por el cambio en su logística de despacho, debido a la reducción del tiempo que permanecían en terreno sus camiones de despacho, por concepto de descarga.

Estos antecedentes, que muestran una mejora en la coordinación y traspaso de información de planificación entre ambos actores del proyecto, junto a los beneficios observados sobre los procesos desarrollados en obra y medidos en el montaje de costaneras, indican que el cambio implementado en la logística del suministro de perfiles de acero tuvo un efecto neto positivo sobre la gestión global de la obra.

9. CONCLUSIONES

En esta investigación se estudió el efecto de la planificación del suministro de perfiles de acero sobre los desperdicios productivos del proceso de montaje estructural de costaneras para una obra de construcción de carácter industrial, ubicada en la ciudad de Viña del Mar, mediante la realización de un experimento comparativo en terreno.

9.1. Revisiones generales en torno al experimento

La revisión de literatura efectuada demostró que existe una carencia de investigaciones y conocimientos científicos detallados en torno a los desperdicios productivos de los procesos de la construcción, así como también una falta de metodologías y sistemas estandarizados para su cuantificación. Esta investigación demostró que la cuota de desperdicios productivos del proceso estudiado, en términos de uso del tiempo, recursos laborales y costos monetarios, representa un porcentaje importante con respecto a los utilizados de forma productiva, lo que da cuenta de la existencia de un gran potencial de mejoramiento. Sin embargo, como apunta Tersine (2004), la reducción de desperdicios sólo puede tomar lugar después de que estos hayan sido identificados y cuantificados, lo que resalta la importancia de realizar mediciones en terreno.

En relación a las causas de los desperdicios productivos identificados, en terreno fueron constatados graves problemas y comunicación entre la maestranza y la administración de obra, lo que provocaba una falta de información en terreno en torno a las fechas de arribo del suministro. La consecuencia de esto ya había sido descrita por Xu (2011), quien determinó que la no disponibilidad de información en tiempo real de la cadena de suministro, inherentemente trae consigo problemas de calidad. La falta de calidad, en este caso, se observó en la mera existencia de desperdicios productivos en el proceso constructivo. Por otra parte, la estimación realizada de los costos monetarios incurridos por el desarrollo de actividades inefectivas y no productivas, comprueba empíricamente la existencia de costos directos y medibles por ausencia de calidad, que fueron teorizados por Rosenfeld (2009).

A grandes rasgos, las pérdidas productivas identificadas se produjeron por la inactividad de los recursos laborales, el rehacer tareas y tener el suministro de costaneras alejado de la zona de montaje. Esto concuerda con lo obtenido en numerosas investigaciones realizadas en terreno (Zhang *et al.* 2005), en las que destacan, como principal fuente de baja productividad en la construcción, el tiempo de trabajo desperdiciado y las esperas por los recursos requeridos.

Con respecto a las variables no controlables del experimento, además del cambio en gestión del suministro, se reformuló la ejecución del proceso de montaje de costaneras. Esta

modificación cambió el montaje de costaneras a nivel del suelo, como fue registrado en el estudio inicial, por su instalación directa en altura. Sin embargo, el análisis de los resultados demostró que no se produjo superposición de efectos en una misma tarea, sino que ambas situaciones repercutieron en aspectos distintos del proceso. Esta situación ejemplifica el dinamismo inherente del rubro (Botero y Álvarez, 2004), en cuanto las condiciones cambiantes del proyecto rigen la forma en que son realizados los procesos constructivos y dificultan su mejoramiento.

9.2. Evaluación de 1° hipótesis

(1) *Es posible implementar exitosamente un sistema de registro de actividades en obra mediante cámaras de video inalámbricas de funcionamiento autónomo.*

La capacidad brindada por el sistema de observación utilizado para registrar de forma autónoma y continua no sólo el desempeño de un trabajador en obra, sino que el de todos los trabajadores de un proceso y los recursos utilizados, permitiendo completar a cabalidad el estudio presentado en este trabajo, confirma el cumplimiento de la primera hipótesis planteada.

Esta validación se sustenta en la masiva cantidad de información que logró ser obtenida, luego de registrar visualmente 93 días efectivamente laborados, de los cuales 14 presentaron actividad de montaje de costaneras. Gracias al registro visual fue posible realizar mediciones al desempeño de los trabajadores en obra (ver Anexo C) y obtener resultados de carácter general, como por ejemplo las horas-hombre destinadas a cada categoría de trabajo (Figura 8.24), así como también información detallada sobre el uso de la fuerza laboral para una categoría en particular, por ejemplo el uso no productivo de horas-hombre mostrado en la Figura 8.30.

Además del registro del proceso de montaje de costaneras, el sistema de observación utilizado registró completamente el desarrollo de otros procesos, tales como el moldaje de fundaciones, las descargas de perfiles de acero, el montaje de columnas, el armado de vigas y el izaje de secciones de techo, lo cual ejemplifica la versatilidad del sistema como herramienta para analizar paralelamente diversos aspectos de la obra.

De la experiencia adquirida en la utilización del sistema de registro visual digital, continuo y autónomo basado en cámaras de video, destaca el no depender de un trabajador en terreno adquiriendo los datos en tiempo real, pues se posibilita el visualizar la situación de terreno y realizar mediciones en forma remota, desde cualquier lugar, gracias a las tecnologías de internet. Otros beneficios identificados son (1) la posibilidad de retrasar el análisis, pues el registro visual se mantiene respaldado en un medio digital; (2) la posibilidad de utilizar paralelamente los registros para otros propósitos o áreas de gestión, tales como fiscalizaciones de seguridad laboral y prevención de riesgos y (3) servir como medio utilitario de enseñanza al momento de realizar capacitaciones al personal, indicando situaciones indeseables ocurridas previamente.

A pesar de que, aun con el apoyo visual obtenido por las cámaras, el registro de tiempos y utilización de recursos fue realizado manualmente para este estudio, la importancia de la información que se logró adquirir, para el control de los procesos constructivos y la prevención de situaciones indeseables en obra, es una muestra del gran potencial que tendría para la industria de la construcción utilizar sistemas automatizados de adquisición y análisis de datos de terreno.

9.3. Evaluación de 2° hipótesis

(2) *La planificación del suministro de perfiles de acero orientada al proceso resulta en una reducción de sus desperdicios productivos.*

Con respecto exclusivamente a la situación inicial del proceso, del análisis del experimento comparativo desarrollado en la sección 8.5 en base a los resultados entregados en la Tabla 8.3 y en las figuras mostradas en las secciones 8.1 y 8.4, se obtuvo que el cambio implementado logró reducir, en el proceso de montaje de costaneras, el tiempo desperdiciado en pérdidas productivas en un 38%, a la vez que redujo el desperdicio de horas-máquina en un 44% y el desperdicio monetario en un 41%. Estos resultados obtenidos por el experimento comparativo demuestran la validez de la segunda hipótesis, en cuanto el cambio de gestión implementado, por si solo logró reducir en más de un tercio los desperdicios productivos del proceso de montaje de costaneras, ya sean en términos de uso de tiempo, recursos laborales o costo monetario.

La importancia de este resultado radica en la alta proporción observada de utilización de estos recursos para el desarrollo de las pérdidas productivas del proceso, en comparación a los requeridos para agregar valor, y la posibilidad de que estos desperdicios productivos puedan ser notablemente reducidos de forma fácil, rápida y económica en base a medidas de gestión.

9.4. Experiencia adquirida

Se comprobó empíricamente que la participación y las relaciones entre las partes que componen la industria de la construcción, proveedoras de información, materiales y fuerza laboral, es fundamental, en cuanto la gestión y el control del rendimiento de un proyecto pueden ser mejorados permitiendo a los participantes intercambiar información entre ellos. Esto fue un aspecto clave del cambio implementado.

La metodología propuesta para realizar el estudio en terreno, potenciada por el sistema de registro de obra y marco teórico presentados, probó ser eficaz para adquirir información tangible sobre el uso de recursos por parte de los procesos en obra, permitiendo la identificación y categorización de las diversas tareas observadas, de acuerdo a su valor para el proceso. En consecuencia, permitió determinar aquellas actividades que afectaban a su productividad, identificar sus causas y medir su uso de recursos, cuantificando de esta forma su impacto sobre

el desempeño del proceso. La disponibilidad de esta información en cualquier tipo de obra, como se comprobó con el experimento realizado en una obra particular, permitiría potencialmente obtener mejoras significativas en el rendimiento de los procesos en terreno y la calidad de su desarrollo, mediante un cambio de gestión dirigido a la eliminación de la principal causa de pérdida productiva. Esto es relevante debido a que, como ha sido constatado en numerosas investigaciones, las decisiones de los proyectos generalmente se toman en base a la mera experiencia, favoreciendo aspectos económicos frente a la calidad de sus procesos.

Por otra parte, el hecho de que se modificara la forma de realizar el proceso de montaje de costaneras durante el desarrollo del presente estudio, creando nuevos desperdicios productivos, es un ejemplo de la falta en el rubro de una filosofía de trabajo centrada en el mejoramiento continuo y la optimización de los recursos. También es una muestra de la dificultad inherente al rubro para investigar en terreno, pues la gran cantidad de variables presentes tanto en terreno como fuera de este, dificulta el análisis preciso del desempeño en obra.

A pesar de los positivos resultados obtenidos por este experimento, las condiciones particulares de la obra y proceso estudiados representan una realidad menor dentro de la enorme industria de la construcción, por lo que aún resta realizar un amplio trabajo de investigación para tener indicadores que representen la problemática de los desperdicios productivos de esta industria en un nivel global.

9.5. Recomendaciones para futuras investigaciones

El sistema utilizado para la observación y registro visual de los procesos constructivos, demostró ser útil para el estudio llevado a cabo. Sin embargo, se reconoce que no es perfecto, en cuanto no permitió obtener información en tiempo real y requirió de un operador que, utilizando el registro visual, identificara tareas y midiera su uso de recursos. En este sentido, resulta relevante, como tópico de investigación multidisciplinario, realizar un algoritmo computacional que posibilite la automatización del análisis de lo captado por la cámara. Algunas investigaciones recientes en torno a esto han sido llevadas a cabo por Rafibaksh *et al.* (2012) y Weerasinghe *et al.* (2012), quienes han probado el sistema de sensores y cámaras *Kinect* de Microsoft para el ámbito de la construcción como herramienta para la identificación de trabajadores según su labor.

Por otro lado, una forma con la que la manufactura ha logrado automatizar la adquisición de información concerniente a la cadena de suministro es mediante la utilización de la tecnología, en específico el uso de etiquetas RFID. Como se ha mencionado en la sección 2.1.5.2, esta tecnología permite que cualquier objeto pueda ser rastreado automáticamente a donde quiera que vaya. De esta forma, teóricamente sería posible, controlar la salida de camiones con suministro desde el proveedor, identificar automáticamente todo el suministro presente en el vehículo y de esta forma escoger en forma optimizada la zona de descarga en obra. Un posible

camino para una futura investigación es comprobar lo estipulado anteriormente en el ámbito de la construcción, realizando un balance entre costos de implementación y su utilidad real.

Durante la realización de este estudio, quedó en evidencia la existencia de similitudes entre el proceso de montaje y la forma de producción típica de la manufactura. De acuerdo a lo observado, el montaje de costaneras es un proceso, en esencia, serializado, constituyéndose como una “fábrica en terreno” de un producto, a partir de un suministro estandarizado, por lo que se facilita el control de aspectos tales como la variabilidad en el desarrollo de sus tareas. Esto representa un caso muy particular dentro de la gama de posibilidades que posibilitan la ingeniería y la construcción, por lo que ampliar este estudio a otros tipos de obras y procesos constructivos podría entregar un marco más realista de la situación actual de la construcción en Chile con respecto al desperdicio de los recursos. Es de esperar que el aprendizaje logrado por estos esfuerzos sirva de lección para próximos proyectos y logre infundir un ambiente de cambio y mejoramiento continuo en las empresas que componen esta atrasada industria.

10. REFERENCIAS

ABDELHAMID, Tariq S. Six Sigma in lean construction systems: opportunities and challenges. En Proceedings of the Eleventh Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGLC-11, Blacksburg, VA, USA, 2003, pp.22-24.

AGUSTIADY, Tina K. Communication for continuous improvement projects. Boca Raton, FL, USA. CRC Press, 2014, 284 p.

ARDITI, David y GUNAYDIN, H. Murat. Total quality management in the construction process. International Journal of Project Management 15(4): 235-243, agosto 1997.

BELLAH, Jeremy, ZELBST, Pamela J. y GREEN JR, Kenneth W. Unique TQM practices and logistics performance. International Journal of Productivity and Quality Management 12(1): 61-76, 2013.

BERNOLD, Leonhard E. y ABOURIZK, Simaan M. Managing performance in construction. London, Wiley-Blackwell, 2011, 528 p.

BERNOLD, Leonhard E. y LEE, Tai S. Experimental Research in Construction. Journal of Construction Engineering and Management 136(1): 26-35, 2009

BIENSTOCK, Carol C., *et al.* An expanded model of logistics service quality: Incorporating logistics information technology. International Journal of Production Economics 113(1): 205-222, mayo 2008.

BOTERO, Luis F. y ÁLVAREZ, Martha E. Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento). Revista universidad EAFIT 40(136): 50-64, enero 2004.

BOTERO, Luis F. y ÁLVAREZ, Martha E. Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción. Revista universidad EAFIT 39(130): 64-78, febrero 2003.

CAMPERO, Mario y ALARCÓN, Luis F. El Sistema de Planificación y Control de producción: El Último Planificador. En su: Administración de Proyectos Civiles. 3ª Edición. Ediciones UC, 2008, 509p.

CORPORACIÓN de Desarrollo Tecnológico (Chile). Análisis de la Productividad en Obras de Edificación en Chile, Informe Técnico. Santiago, 2013. 28 p.

CORPORACIÓN de Desarrollo Tecnológico (Chile). Manual para la optimización de la logística interna en obras de construcción. Santiago, 2006. 59 p.

DAINTY, Andrew RJ, MILLETT, Sarah J. y BRISCOE, Geoffrey H. New perspectives on construction supply chain integration. Supply chain management: An international journal 6(4): 163-173, 2001.

DING, L. Y., *et al.* Real-time safety early warning system for cross passage construction in Yangtze Riverbed Metro Tunnel based on the internet of things. *Automation in Construction* 36: 25-37, 2013.

FORSLUND, Helena. Towards a holistic approach to logistics quality deficiencies. *International Journal of Quality & Reliability Management* 24(9): 944-957, 2007.

GAO, Shang y LOW, Sui P. *Lean Construction Management: The Toyota Way*. Springer, 2014, 390p.

GONZÁLEZ Muñoz, Miguel Ángel. Análisis del impacto en la productividad de diferentes proyectos de construcción a través de la implementación del sistema Last Planner evaluado mediante un sistema basado en indicadores. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago de Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, 2012. 96 h.

GURRÍA, Angel. Lanzamiento del Informe Económico de Chile 2015 [en línea] <<http://www.oecd.org/about/secretary-general/lanzamiento-del-informe-economico-de-chile-2015.htm>> [consulta 03 de marzo, 2016]

HAN, Seung Heon, *et al.* Six sigma-based approach to improve performance in construction operations. *Journal of management in Engineering* 24(1): 21-31, enero 2008.

INSTITUTO Nacional de Estadísticas (Chile). Remuneraciones, costo mano de obra y empleo, caracterización del trabajo en empresas. Informe año 2007. Santiago, 2009. 171 p.

KOSKELA, Lauri. Application of the New Production Philosophy to Construction. Technical Report No. 72, CIFE Department of Civil Engineering Stanford University, 1992, 75 p.

KOSKELA, Lauri. Lean production in construction. En: Alarcón, Luis. *Lean construction*. 1997, pp. 1-9.

KOSKELA, Lauri. y VRIJHOEF, Ruben. Roles of supply chain management in construction. En *Proc. 7th Annual Int'l Conf. Group for Lean Construction*: 133-146, 1999.

DINESH KUMAR, U., *et al.* Six sigma project selection using data envelopment analysis. *The TQM Magazine* 19(5): 419-441, 2007.

LÓPEZ, José I. ¿Pueden las Tecnologías de la Información mejorar la productividad? *Universia Business Review* 1(1): 82-95, enero-marzo 2004.

MAK, Stephen. A model of information management for construction using information technology. *Automation in Construction* 10(2): 257-263, enero 2001.

MARSILLAC, Erika y ROH, James J. Connecting product design, process and supply chain decisions to strengthen global supply chain capabilities. *International Journal of Production Economics* 147B: 317-329, enero 2014.

MOON, Sungkon, ZEKAVAT, Payam R. y BERNOLD, Leonhard E. Dynamic Control of Construction Supply Chain to Improve Labor Performance. *Journal of Construction Engineering and Management* 141(6): 05015002, enero 2015.

OHNO, Taiichi. *The Toyota Production System Beyond Large Scale Production*. Portland, Oregon, Productivity Press: 251-257, 1988.

PHENG, Low S. y HUI, Mok S. Implementing and applying Six Sigma in construction. *Journal of construction engineering and management* 130(4): 482-489, agosto 2004.

PLOTNICK, Fredric y O'BRIEN, James. *CPM in construction management*. McGraw-Hill Education, 2009, 736 p.

POWELL, Daryl y SKJELSTAD, Lars. RFID for the extended lean enterprise. *International Journal of Lean Six Sigma* 3(3): 172-186, 2012.

RAFIBAKHSH, Nima, *et al.* Analysis of xbox kinect sensor data for use on construction sites: depth accuracy and sensor interference assessment. En *Construction research congress*: 848-857, 2012.

ROSENFELD, Yehiel. Cost of quality versus cost of non-quality in construction: the crucial balance. *Construction Management and Economics* 27(2): 107-117, 2009.

SALDÍAS Silva, Rodolfo Omar. Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago de Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, 2010. 146 h.

SERVICIO Nacional de Capacitación y Empleo (Chile). *Glosario técnico de términos relacionados con los temas de competencia del SENCE*. 2003. 22 p.

TERSINE, Richard J. The primary drivers for continuous improvement: The reduction of the triad of waste. *Journal of Management Issues* 16(1): 15–28, 2004.

UAI / CORFO (Chile). *Evolución de la Productividad Total de Factores (PTF) en Chile*. Boletín n°7, 4to Trimestre 2013. Santiago, 2013. 15 p.

VRIJHOEF, Ruben y KOSKELA, Lauri. The four roles of supply chain management in construction. *European journal of purchasing & supply management* 6(3): 169-178, diciembre 2000.

WANG, Lung-Chuang, LIN, Yu-Cheng y LIN, Pao H. Dynamic mobile RFID-based supply chain control and management system in construction. *Advanced Engineering Informatics* 21(4): 377-390, octubre 2007.

WEBB, Robert M. y HAUPT Theo C. The potential of 4D CAD as a tool for construction management. En: ISSA, Raja R. A., FLOOD, Ian, O'BRIEN William J. *4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications*. Taylor & Francis, 2003, pp. 227-243.

WEERASINGHE, IP Tharindu, *et al.* Application of Microsoft Kinect sensor for tracking construction workers. En Construction Research Congress: 858-867, 2012.

WOODRUFF, Robert B. Customer value: the next source for competitive advantage. Journal of the academy of marketing science 25(2): 139-153, marzo 1997.

XU, Li Da. Information architecture for supply chain quality management. International Journal of Production Research 49(1): 183-198, enero 2011.

YUN, Jong-Yong y CHUA, Richard CH. Samsung uses Six Sigma to change its image. En Six Sigma Forum Magazine: 13-16, 2002.

ZEKAVAT, Payam R. *et al.* Holonic construction management: Unified framework for ICT-supported process control. Journal of Management in Engineering 31(1): A4014008, 2014.

ZHANG, Jing, EASTHAM, Danelle L. y BERNOLD, Leonhard E. Waste-based management in residential construction. Journal of Construction Engineering and management 131(4): 423-430, abril 2005.



11. ANEXOS

En esta sección se detallan las características de los equipos utilizados por el sistema de observación. Por otra parte, se entregan los resultados completos del experimento comparativo y se añade un breve análisis del uso de tiempo, recursos laborales y del costo monetario de las tareas productivas del proceso, a modo de complemento de lo entregado en el capítulo 1. Debido a su considerable extensión, las planillas de registro por ciclo se incluyen en el medio digital adjunto a este trabajo.

A. Equipos utilizados

Las especificaciones técnicas de los equipos utilizados para el funcionamiento del sistema de observación dispuesto en obra son entregadas en este apartado, junto a una imagen de referencia.

Tabla A.1. Especificaciones técnicas de equipos que conformaron el sistema de observación empleado en obra

	<p>Cámara IP Inalámbrica de uso exterior <i>Wanscam JW0006</i> Lente de 6 mm. Sensor ¼" CMOS 300k. Resolución de imagen y video máxima 640x480 píxeles. Ángulo de visión de 75°. Estándar Wi-Fi 802.11b/g/n. Red local RJ-45 10/100 Mbps Soporta guardado programado de imágenes en servidor FTP. Dimensiones 130 x 74 x 80 mm. Compatible con sistemas operativos Windows, Mac OS, iOS y Android.</p>
	<p>Cámara IP Inalámbrica de uso exterior <i>Wanscam HW0028</i> Lente con zoom óptico 4-9 mm. Sensor ¼" CMOS 1MP. Resolución de imagen y video máximas 1280x720 píxeles. Ángulo de rotación horizontal 355°. Ángulo de rotación vertical 90°. Rotación comandada mediante interfaz web o software propietario. Estándar Wi-Fi 802.11b/g/n. Red local RJ-45 10/100 Mbps Soporta guardado programado de imágenes en servidor FTP. Dimensiones 220 x 128 x 230 mm. Compatible con sistemas Windows, Mac OS, iOS y Android.</p>

	<p>Router inalámbrico de alto poder <i>Airlive N.Power</i> Estándar Wi-Fi 802.11b/g/n con salida de corriente de hasta 2000mW (33dBm) con antena incluida de 3dBi. Alcance máximo de 2,6 km en espacio abierto. Salida de corriente ajustable, 12V puerto pasivo PoE, 1 puerto USB 2.0 para emular servidor FTP. Soporta formatos de archivos FAT y FAT32.</p>
	<p>Memoria Flash USB 2.0 <i>ADATA AC008-8G-RKD</i> Capacidad 8 GB. Formato FAT32.</p>
	<p>Inversor de corriente <i>Daiku</i> 12V DC a 220-240V AC Potencia 400W Potencia máxima de inicio 800W.</p>
	<p>Batería de Ciclo Profundo <i>Gonher G-24 DC</i> Tensión nominal 12 V Capacidad de arranque en frío (-18°C) 500 A Capacidad 75 AH.</p>
	<p>Cargador de baterías <i>Black & Decker BC12</i> Voltaje de salida 12 V. Voltaje de entrada 260 V. Carga automática entre 2 A, 8 A y 12 A. Permite carga de baterías totalmente descargadas. Visor LED para informar voltaje, amperaje o porcentaje de carga. Protección contra polaridad invertida o conexión incorrecta.</p>
	<p>Temporizador digital programable <i>Completel T-DIGI 01</i> Permite el encendido y/o apagado de artefactos electrónicos. Tiene batería con reserva de 150 horas. Programación mínima 1 minuto. Programación diaria o semanal en bloques. Dimensiones 104 x 54 x 51 mm.</p>

B. Complemento de resultado comparativo

En esta sección se presenta la totalidad de los resultados obtenidos mediante el experimento comparativo. Estos resultados consisten en la utilización de tiempo, recursos laborales y costos monetarios de las tareas correspondientes al proceso de montaje de costaneras, para la obra estudiada.

B.1. Tiempo

Se presenta un breve análisis de las tareas productivas del proceso, aquellas que agregan valor y contributivas, a modo de complemento de lo entregado en el capítulo 1. Por otra parte, en la Tabla B.1 se entrega el tiempo por ciclo, número de ciclos de ocurrencia y tiempo promedio de todas las tareas que conforman el proceso, obtenido para los dos periodos de registro del estudio.

B.1.1. Tareas que agregan valor

En la Figura B.1(a) se observa que las tareas que agregan valor fueron realizadas en la totalidad de los ciclos, salvo el apernado de colgadores entre costaneras durante el primer registro. Esto se debe a los casos en donde la costanera instalada correspondía a la primera en la sección de techo, por lo que no existía otra costanera a la cual conectarse mediante colgadores. Por otro lado, en la Figura B.1(b) se aprecia que los tiempos por ciclo de las tres tareas que agregan valor aumentaron con respecto a lo obtenido durante el primer registro, lo cual se explica por la reformulación del proceso instaurada por la constructora.

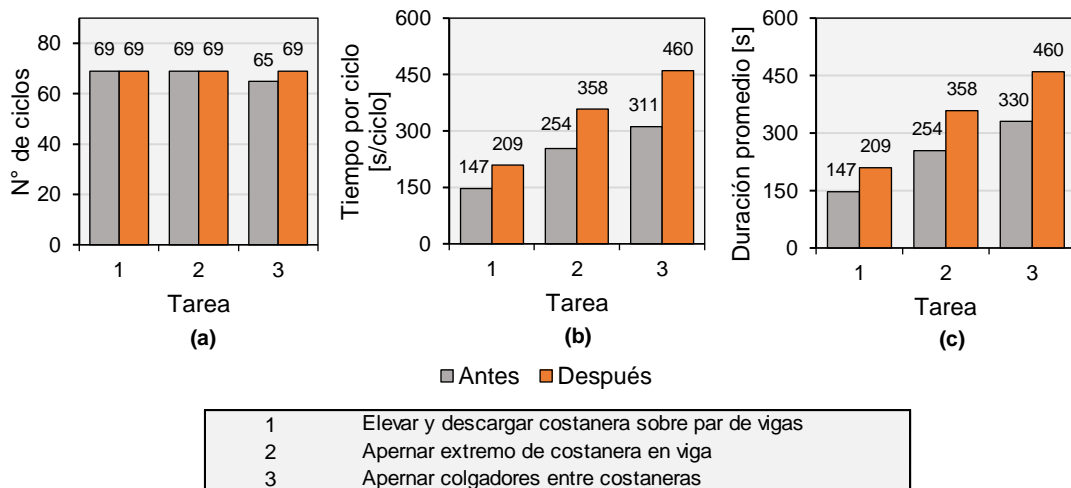


Figura B.1. Resultado comparativo de uso de tiempo por tareas que agregan valor

La cantidad de trabajadores que desempeñaban las tareas 2 y 3 se redujo debido a que el montaje pasó a llevarse a cabo en altura y la cantidad de trabajadores en altura fue

limitada, por lo que naturalmente aumentó el tiempo para que se completaran. Por otro lado, la elevación de la costanera para montarla en altura era significativamente más compleja que su contraparte en tierra, por lo que era esperable un aumento del tiempo necesario para completar esta tarea.

B.1.2. Tareas contributivas

En la Figura B.2 se observa que las tareas 12 y 13 sólo ocurrieron durante la segunda parte del experimento, durante el montaje de costaneras en altura. Su ocurrencia se debe a la necesidad de los trabajadores que desarrollaban el apernado de colgadores (tarea 3) de alcanzar la altura de montaje, por lo que no guarda relación con el cambio de gestión implementado.

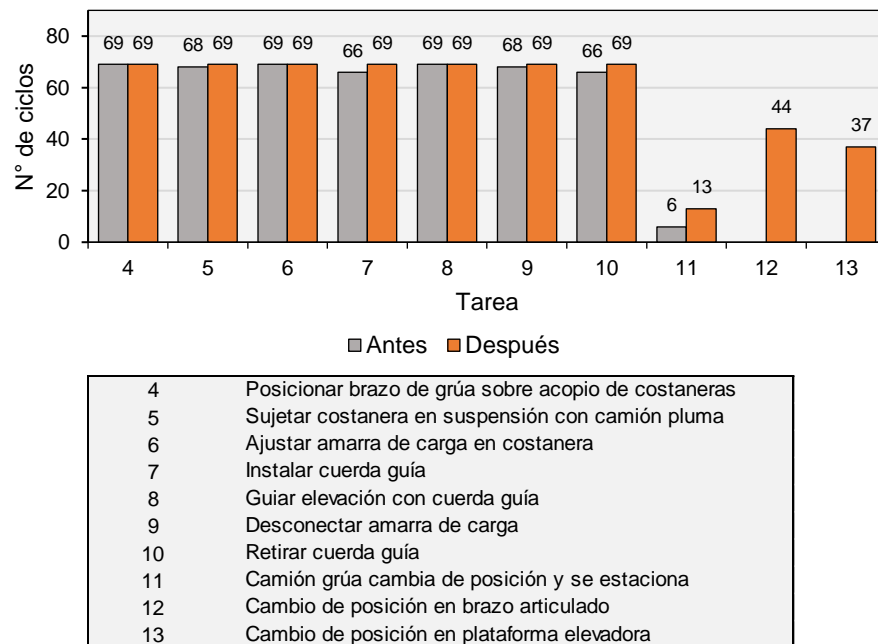


Figura B.2. Resultado comparativo de ciclos de ocurrencia de tareas contributivas

Por otra parte, los resultados entregados en la Figura B.3 indican que aquellas tareas que se vieron involucradas con operaciones en altura, es decir las tareas 5, 8 y 9, fueron las que tuvieron un mayor aumento de duración. Además, se observa que la magnitud del tiempo por ciclo destinado a las tareas 12 y 13, fue significativo en comparación con el resto de actividades contributivas.

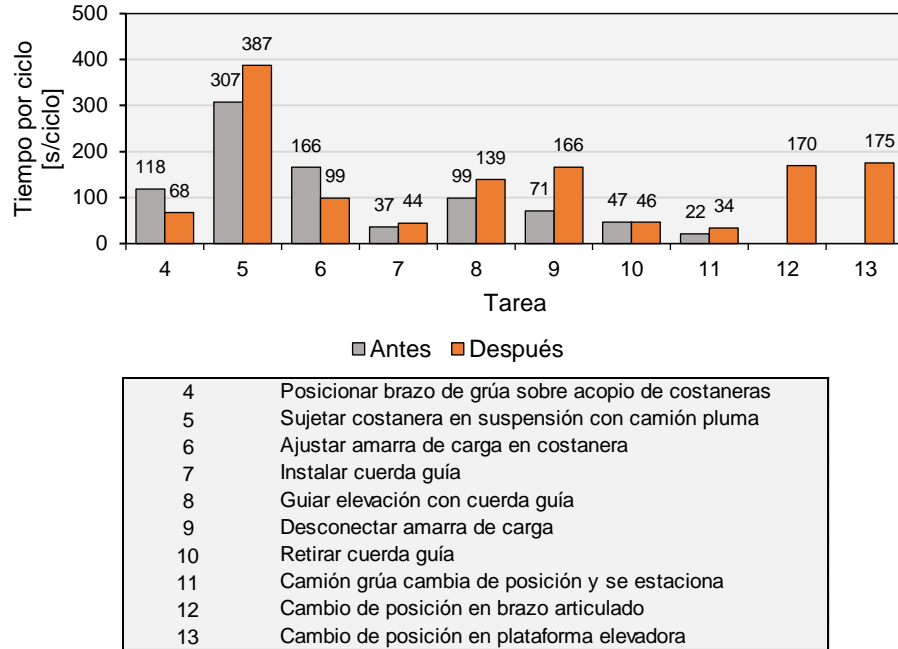


Figura B.3. Resultado comparativo de uso de tiempo por ciclo en tareas contributivas

A pesar de que las tareas 12 y 13 eran necesarias para desarrollar el montaje de costaneras en altura, razón para que fueran clasificadas como contributivas, su ocurrencia e impacto en términos de uso del tiempo es un indicador de pérdida de eficiencia del proceso, y por lo tanto de una reducción de la productividad.

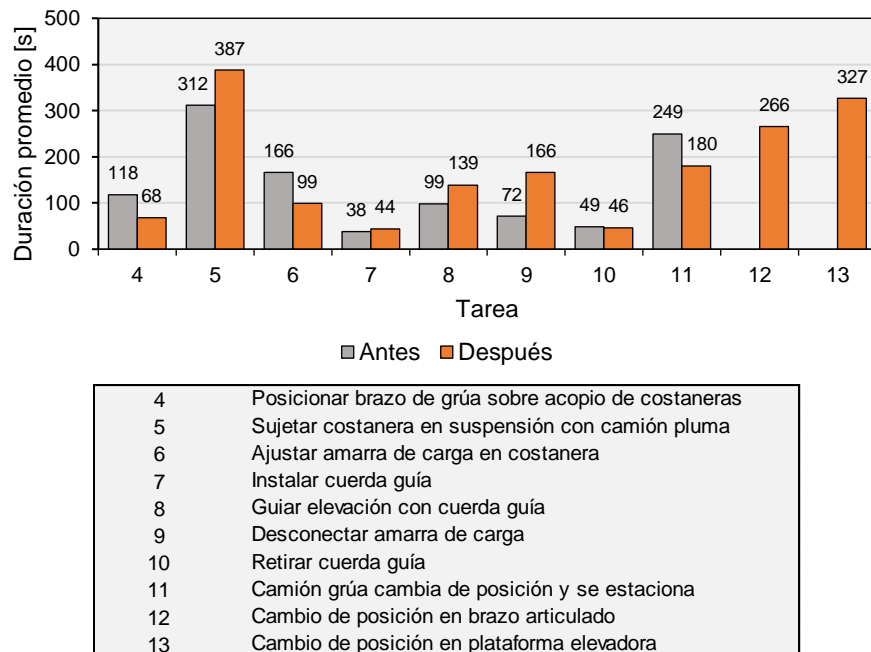


Figura B.4. Resultado comparativo de duración promedio de tareas contributivas

B.1.3. Resultados del experimento en términos de uso del tiempo

Tabla B.1. Resultados del experimento comparativo en términos de tiempo

Categoría de trabajo	Tareas	Tiempo/ciclo [s/cic.]		N° de ciclos		Tiempo prom. [s]		Tiempo max. [s]		Tiempo min. [s]	
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Agrega valor	1) Elevar y descargar costanera sobre par de vigas	147	209	69	69	147	209	843	492	66	96
	2) Apear extremo de costanera en viga	254	358	69	69	254	358	980	1512	45	65
	3) Apear colgadores entre costaneras	311	460	65	69	330	460	1119	1648	99	178
Contributivo	4) Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras	118	68	69	69	118	68	398	428	31	16
	5) Sujetar costanera en suspensión con camión pluma	307	387	68	69	312	387	815	2143	56	56
	6) Ajustar amarra de carga en costanera	166	99	69	69	166	99	1419	363	21	33
	7) Instalar cuerda guía	37	44	66	69	38	44	196	113	10	16
	8) Guiar elevación con cuerda guía	99	139	69	69	99	139	265	436	42	56
	9) Desconectar amarra de carga	71	166	68	69	72	166	282	453	21	40
	10) Retirar cuerda guía	47	46	66	69	49	46	151	121	11	8
	11) Camión grúa cambia de posición y se estaciona	22	34	6	13	249	180	417	557	153	41
	12) Cambio de posición en brazo articulado	0	170	0	44	0	266	0	599	0	40
	13) Cambio de posición en plataforma elevadora	0	175	0	37	0	327	0	1009	0	105
Inefectivo	14) Acercar costaneras sin ayuda de maquinaria	37	3	25	5	102	44	262	96	11	16
	15) Acercar costaneras con ayuda de camión pluma	0	32	0	8	0	275	0	486	0	162
	16) Acercar costaneras con ayuda de plataforma elevadora	0	7	0	1	0	469	0	469	0	469
No Productivo	17) Cambio de costanera	80	45	4	1	1376	3128	2429	3128	702	3128
	18) Trabajadores reciben instrucciones	26	20	6	7	294	198	503	347	110	56
	19) Trabajador espera en tierra sin actividad	0	613	0	65	0	651	0	3046	0	56
	20) Trabajador espera en altura sin actividad	0	819	0	66	0	857	0	3364	0	201
	21) Trabajadores esperan sin camión pluma presente	0	25	0	3	0	569	0	809	0	436
	22) Grúa espera por iniciar operación después de estacionar	28	39	7	4	273	675	570	1020	22	194
	23) Grúa espera sin trabajadores	161	0	8	0	1386	0	3917	0	81	0
	24) Grúa espera por continuar operación	18	46	7	11	182	285	340	1407	33	23
Personal	25) Descanso entre posicionar grúa sobre acopio y ajustar amarra	18	27	14	24	91	79	341	348	10	8
	26) Descanso entre descargar costanera y apemar extremo	38	115	51	68	51	116	233	493	10	8

B.2. Recursos laborales

Se presenta un breve análisis de uso de recursos por parte de las tareas productivas del proceso, aquellas que agregan valor y contributivas, a modo de complemento de lo entregado en el capítulo 1. Por otra parte, en la Tabla B.2 y Tabla B.3 se entrega la cuantificación del uso de horas-hombre y horas máquina respectivamente, por ciclo y en promedio, y el número de trabajadores involucrados en la realización de las tareas del proceso, obtenida para los dos periodos de registro del estudio.

B.2.1. Tareas que agregan valor

En la Figura B.5(c) se observa que la cantidad de trabajadores destinados al apernado de costaneras en viga y el de colgadores entre costaneras disminuyó aproximadamente en un 56% y un 43% respectivamente. Sin embargo, los resultados de tiempo entregados en la sección anterior, para estas tareas, no tuvieron un crecimiento respectivo del 227% y 175% que hubiera sido esperado si el rendimiento de los trabajadores se hubiera mantenido constante, sino que fue menor. Por lo tanto, el rendimiento de los trabajadores en las tareas 2 y 3 aumentó al realizar el montaje en altura, lo cual queda en evidencia en los resultados entregados en la Figura B.5(a) y Figura B.5(b), al apreciarse una reducción del uso de horas-hombre en estas tareas.

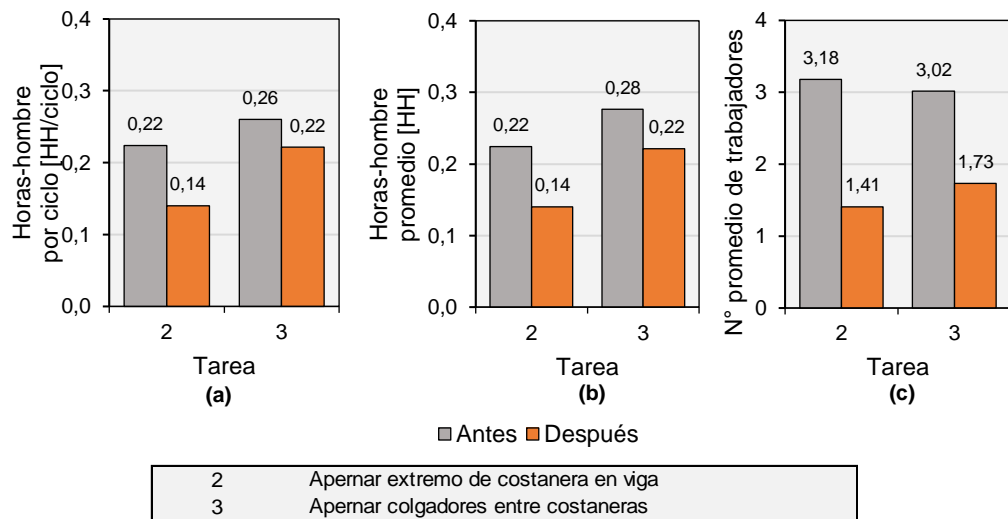


Figura B.5. Resultado comparativo de uso de horas-hombre por tareas que agregan valor

Dado que el camión pluma es un recurso único en cantidad, el aumento de las horas-máquina observado en la Figura B.6 se encuentra en la misma proporción que el aumento de tiempo detectado en la sección anterior.

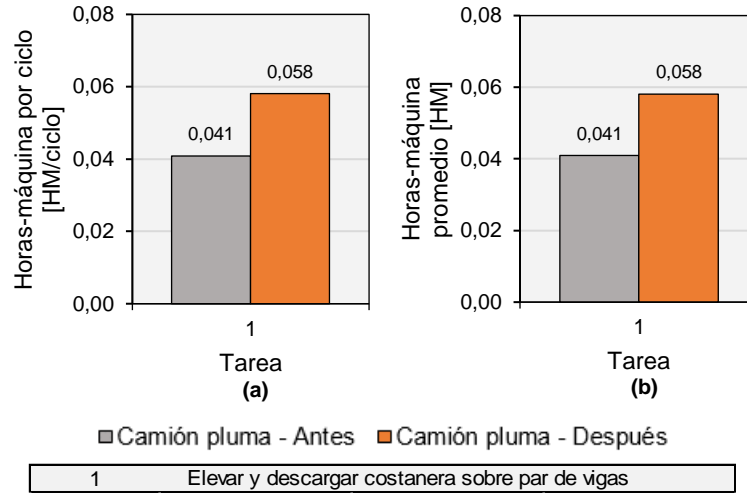


Figura B.6. Resultado comparativo de uso de horas-máquina por tareas que agregan valor

B.2.2. Tareas contributivas

En concordancia con lo obtenido en la sección anterior de análisis en términos de uso del tiempo, en la Figura B.7 se aprecia que las tareas 12 y 13 presentan un uso de horas-hombre significativo frente a las demás tareas contributivas del proceso.

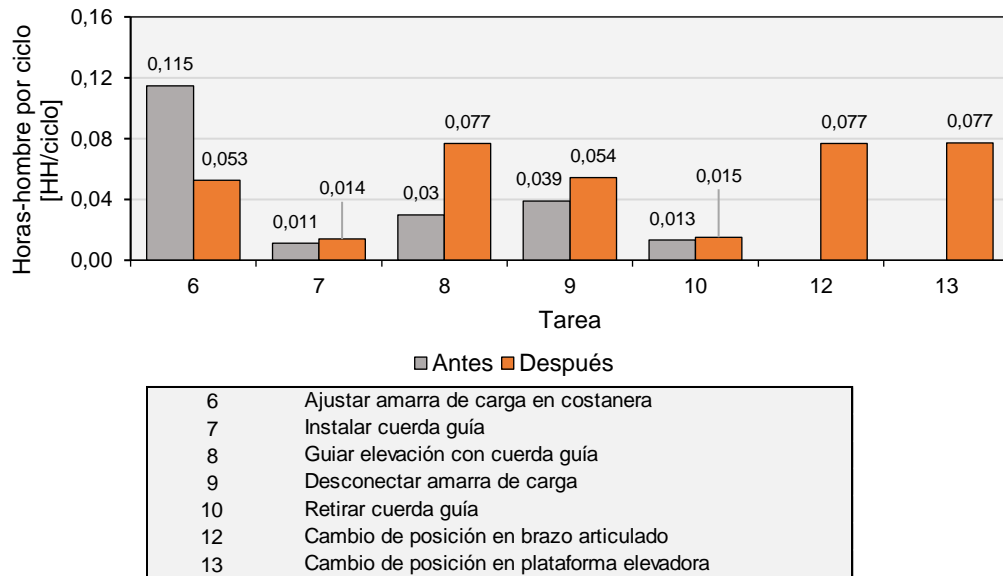


Figura B.7. Resultado comparativo de uso de horas-hombre por ciclo en tareas contributivas

Lo anterior también queda de manifiesto en términos de duración promedio, entregado en la Figura B.4. A pesar de que las tareas 12 y 13 no fueran desarrolladas en todos los ciclos de estudio, su alta duración promedio (para los ciclos de ocurrencia) trajo consigo un alto uso promedio del recurso laboral, que al ser distribuido en todos los ciclos de ocurrencia (horas-hombre por ciclo) se mantuvo significativo.

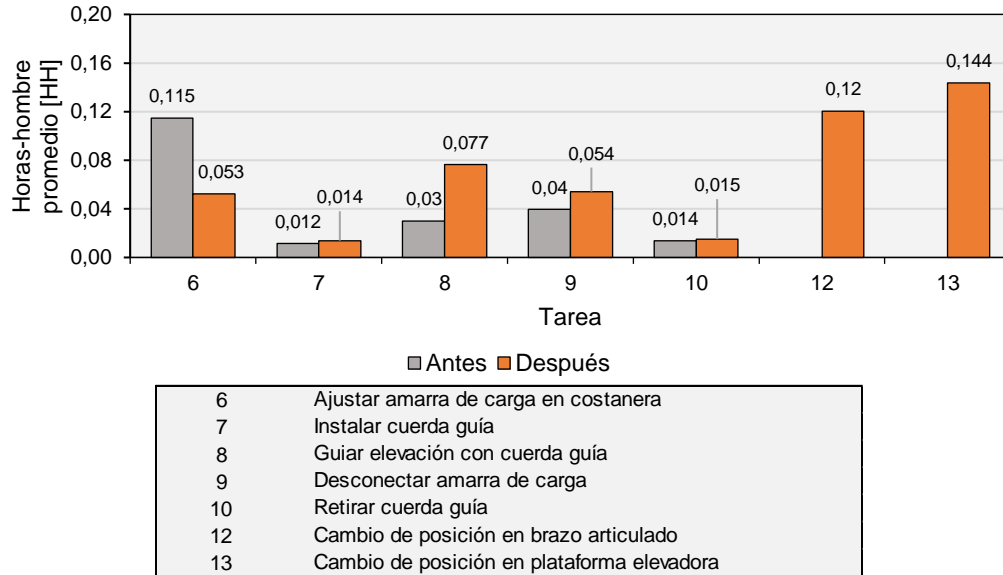


Figura B.8. Resultado comparativo de uso promedio de horas-hombre por tareas contributivas

Uno de los resultados notables con respecto a la variación del número de trabajadores destinados a las tareas contributivas, entregados en la Figura B.9, es el aumento en prácticamente un 100% del número de trabajadores que guían la elevación de la costanera con cuerdas guía. Esto es un claro ejemplo del impacto que tuvo para el proceso el pasar a realizarse en altura, en donde la dificultad para posicionar la costanera sobre el par de vigas se vio naturalmente incrementada, pasando a cobrar más relevancia el guiado de la costanera.

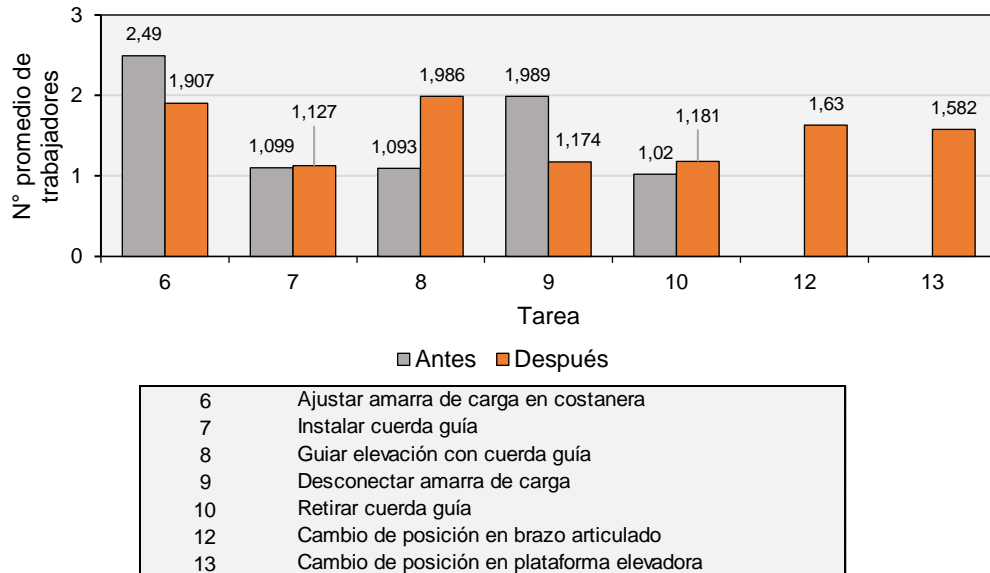


Figura B.9. Resultado comparativo de cantidad de trabajadores desarrollando tareas contributivas

Con respecto a las horas-máquina destinadas a tareas contributivas, los resultados entregados por la Figura B.10 y Figura B.11 indican que las tareas 12 y 13 introdujeron el uso

de dos nuevas máquinas, un brazo articulado y una plataforma elevadora, con importante magnitud de uso. Esto es relevante debido a que estas tareas fueron necesarias para desarrollar el proceso, por lo tanto, la utilización de esta maquinaria también se hace necesaria. En el caso de la obra en estudio, la empresa constructora correspondiente contaba con estas, pero en cualquier otro caso hubiera significado tener que arrendar o subcontratar su servicio.

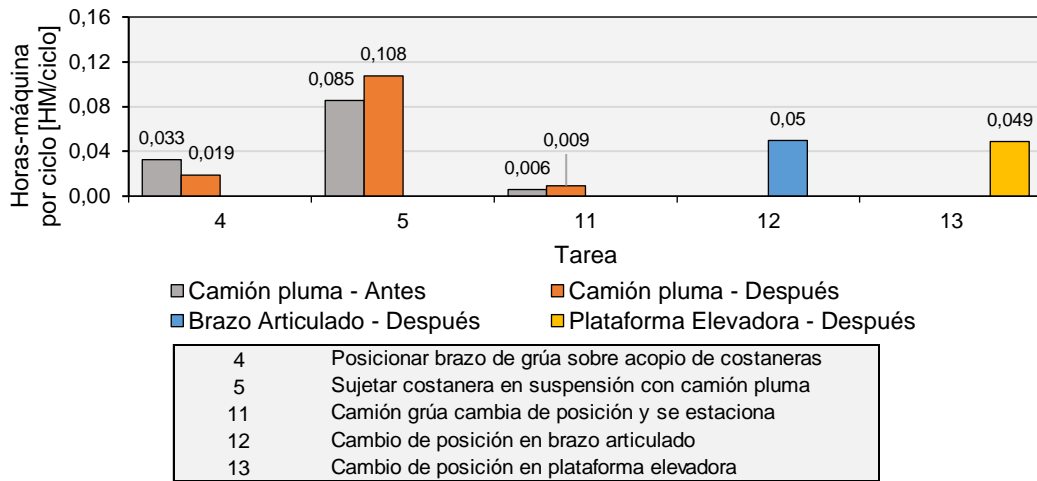


Figura B.10. Resultado comparativo de uso de horas-máquina por ciclo en tareas contributivas

De la Figura B.10 y Figura B.11 se aprecia que la tarea contributiva que más demandó al camión pluma, durante ambas fases del experimento, fue el mantener la costanera en suspensión para posibilitar el apernado (tarea 5), la cual aumentó su duración durante la segunda fase del experimento en un 24%. Esto es consecuencia directa del aumento de tiempo observado durante la segunda fase, al realizar el montaje en altura, para el desarrollo de las tareas de apernado de costanera en vigas y de colgadores entre costaneras.

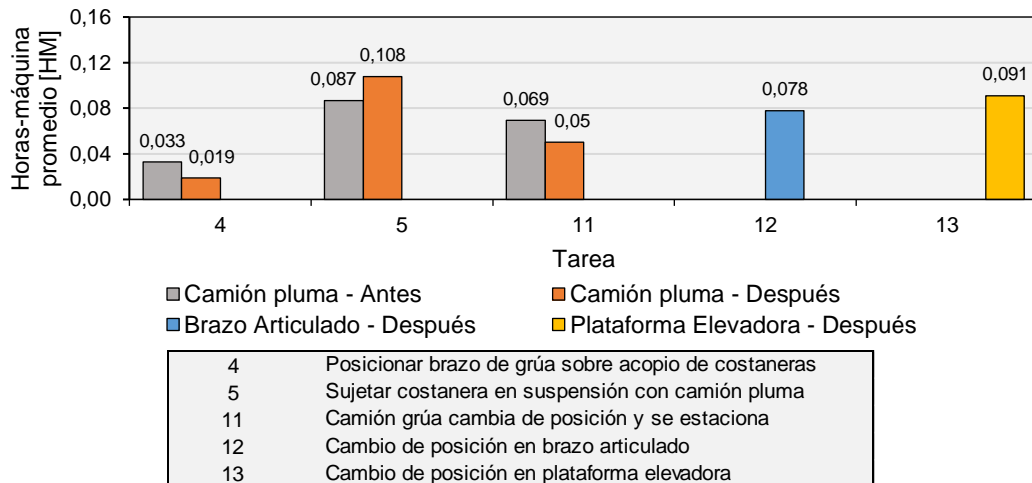


Figura B.11. Resultado comparativo de uso promedio de horas-máquina por tareas contributivas

B.2.3. Resultados del experimento en términos de uso de recursos laborales

Tabla B.2. Resultados del experimento comparativo en términos de uso de mano de obra

Categoría de trabajo	Tareas	Horas-Hombre/ciclo		Horas-Hombre prom.		N° de trabajadores	
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Agrega valor	1) Elevar y descargar costanera sobre par de vigas	0,224	0,14	0,224	0,14	3,18	1,41
	2) Apemar extremo de costanera en viga	0,26	0,222	0,276	0,222	3,02	1,73
	3) Apemar colgadores entre costaneras						
Contributivo	4) Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras	0,115	0,053	0,115	0,053	2,49	1,91
	5) Sujetar costanera en suspensión con camión pluma	0,011	0,014	0,012	0,014	1,10	1,13
	6) Ajustar amarra de carga en costanera	0,03	0,077	0,03	0,077	1,09	1,99
	7) Instalar cuerda guía	0,039	0,054	0,04	0,054	1,99	1,17
	8) Guiar elevación con cuerda guía	0,013	0,015	0,014	0,015	1,02	1,18
	9) Desconectar amarra de carga						
	10) Retirar cuerda guía						
	11) Camión grúa cambia de posición y se estaciona						
	12) Cambio de posición en brazo articulado						
	13) Cambio de posición en plataforma elevadora						
Inefectivo	14) Acercar costaneras sin ayuda de maquinaria	0,035	0,002	0,096	0,024	3,38	2,00
	15) Acercar costaneras con ayuda de camión pluma						
No Productivo	16) Acercar costaneras con ayuda de plataforma elevadora						
	17) Cambio de costanera	0,111	0,066	1,911	4,569	5,00	5,26
	18) Trabajadores reciben instrucciones	0,014	0,009	0,165	0,089	2,02	1,62
	19) Trabajador espera en tierra sin actividad		0,308		0,327		1,81
	20) Trabajador espera en altura sin actividad		0,402		0,42		1,77
	21) Trabajadores esperan sin camión pluma presente		0,021		0,482		3,05
	22) Grúa espera por iniciar operación después de estacionar						
Personal	23) Grúa espera sin trabajadores						
	24) Grúa espera por continuar operación						
	25) Personal entre posicionar grúa sobre acopio y ajustar amarra	0,011	0,015	0,053	0,043	2,08	1,96
	26) Personal entre descargar costanera y apemar extremo	0,028	0,04	0,038	0,041	2,66	1,25

Tabla B.3. Resultados del experimento comparativo en términos de uso de maquinaria

Categoría de trabajo	Tareas	Horas-CP/ciclo		Horas-BA/ciclo		Horas-PE/ciclo		Horas-PE prom.	
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Agrega valor	1) Elevar y descargar costanera sobre par de vigas	0,041	0,058	0,041	0,058				
	2) Apear extremo de costanera en viga								
	3) Apear colgadores entre costaneras								
Contributivo	4) Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras	0,033	0,019	0,033	0,019				
	5) Sujetar costanera en suspensión con camión pluma	0,085	0,108	0,087	0,108				
	6) Ajustar amarra de carga en costanera								
	7) Instalar cuerda guía								
	8) Guiar elevación con cuerda guía								
	9) Desconectar amarra de carga								
	10) Retirar cuerda guía								
	11) Camión grúa cambia de posición y se estaciona	0,006	0,009	0,069	0,05				
	12) Cambio de posición en brazo articulado				0,05				
	13) Cambio de posición en plataforma elevadora							0,049	0,091
Inefectivo	14) Acercar costaneras sin ayuda de maquinaria								
	15) Acercar costaneras con ayuda de camión pluma		0,009		0,076				
	16) Acercar costaneras con ayuda de plataforma elevadora								
No Productivo	17) Cambio de costanera	0,022	0,013	0,382	0,869				
	18) Trabajadores reciben instrucciones								
	19) Trabajador espera en tierra sin actividad								
	20) Trabajador espera en altura sin actividad								
	21) Trabajadores esperan sin camión pluma presente								
	22) Grúa espera por iniciar operación después de estacionar	0,008	0,011	0,076	0,188				
	23) Grúa espera sin trabajadores	0,045		0,385					
	24) Grúa espera por continuar operación	0,005	0,013	0,05	0,079				
Personal	25) Personal entre posicionar grúa sobre acopio y ajustar amarra								
	26) Personal entre descargar costanera y apear extremo								

B.3. Costos monetarios

Se presenta un breve análisis del costo monetario de las tareas productivas del proceso, aquellas que agregan valor y contributivas, a modo de complemento de lo entregado en el capítulo 1. Por otra parte, en la Tabla B.4, Tabla B.5 y Tabla B.6 se entregan los costos monetarios estimados por ciclo de todas las tareas del proceso, desarrolladas durante los dos periodos de registro del estudio, de acuerdo a lo dispuesto en la sección 8.1.3.

B.3.1. Tareas que agregan valor

El costo monetario de realizar las tareas que agregan valor se muestra en la Figura B.12. Se observa que, a pesar de que el costo del camión pluma por elevar y descargar costanera sobre par de vigas aumentó considerablemente en un 42%, la reducción en el costo de realizar las tareas 2 y 3 dado por la disminución de su uso de recurso labora permitió mantener el costo total de agregar valor prácticamente constante entre ambas fases del experimento.

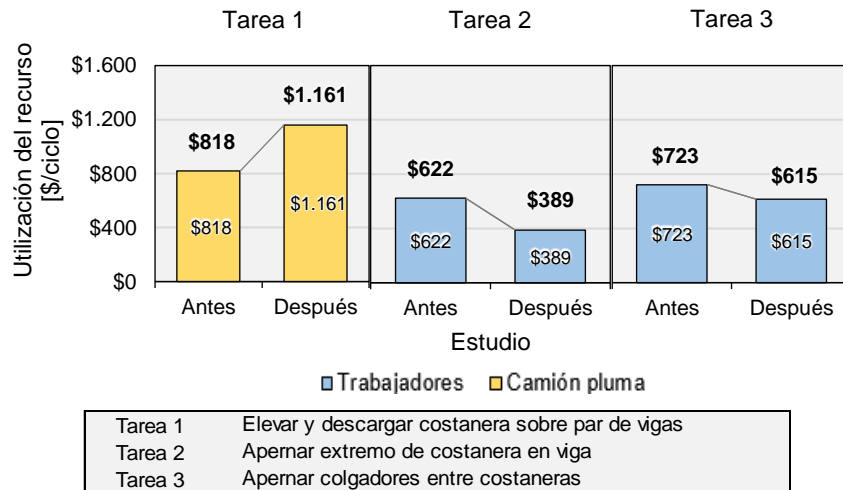


Figura B.12. Resultado comparativo de costo monetario de tareas que agregan valor por recurso utilizado

B.3.2. Tareas contributivas

El costo monetario de las tareas contributivas al desarrollo del proceso se muestra en la Figura B.13, Figura B.14 y Figura B.15. Se aprecia que, a pesar de que el camión pluma sólo desarrolla 3 de las 10 tareas contributivas, el costo monetario por su uso es significativo, concentrándose especialmente en la tarea de mantener costanera en suspensión (tarea 5), necesaria para poder efectuar el apernado de costanera en viga y el de colgadores entre costaneras. Resulta notable que el costo monetario por uso del camión pluma en las tareas contributivas 4, 5 y 11 representa cerca del 30% del costo total por ciclo del proceso, en ambas fases del experimento.

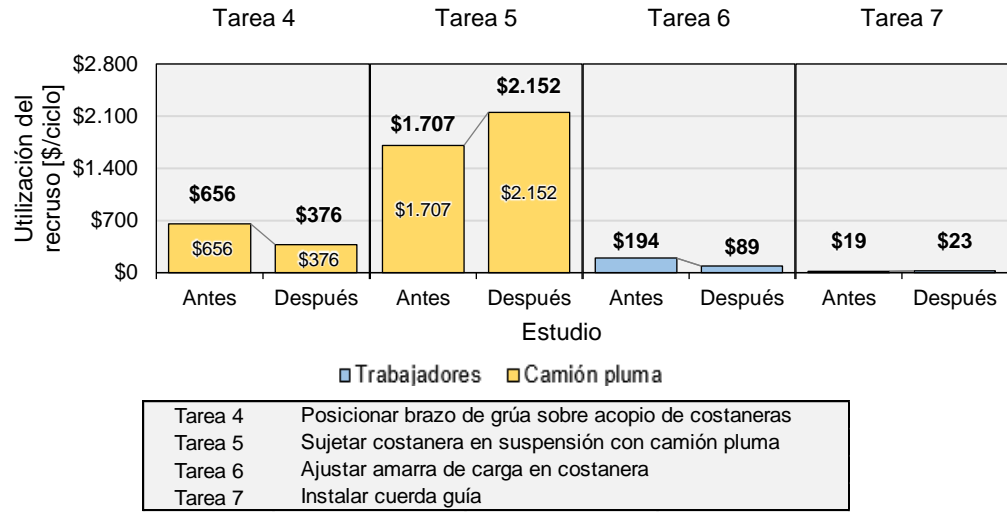


Figura B.13. Resultado comparativo de costo monetario de tareas contributivas. Tarea 4 a 7

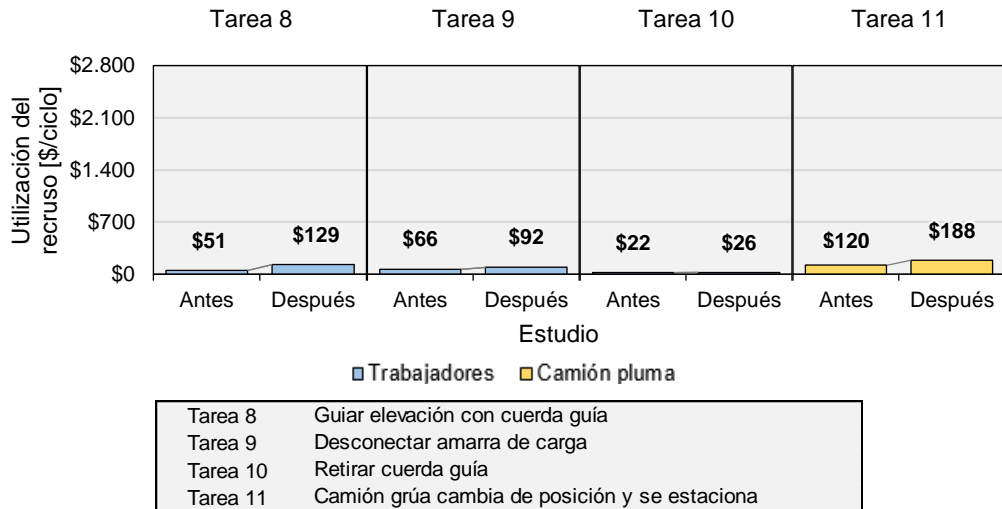


Figura B.14. Resultado comparativo de costo monetario de tareas contributivas. Tarea 8 a 11

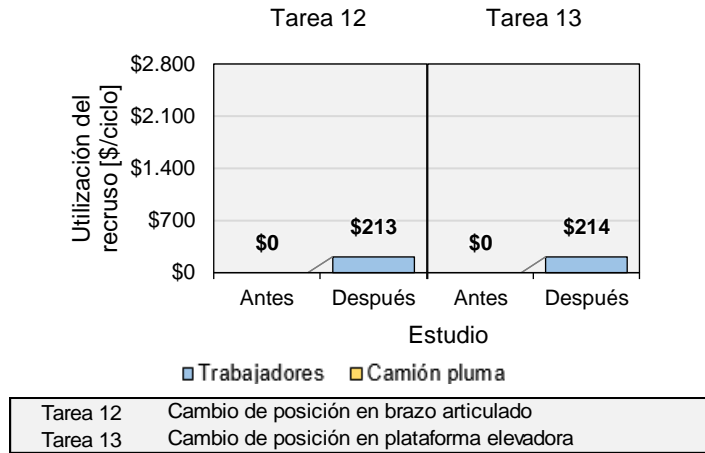


Figura B.15. Resultado comparativo de costo monetario de tareas contributivas. Tarea 12 y 13

B.3.3. Resultados del experimento en términos de costos monetarios

Tabla B.4. Resultados del experimento comparativo en términos de costo monetario de la mano de obra

Categoría de trabajo	Tareas	Costo MO por hora		Costo MO [\$/ciclo]		Costo MO [\$/ciclo]		Costo total MO [69 ciclos]		Costo total MO [69 ciclos]			
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después		
Agrega valor	1) Elevar y descargar costanera sobre par de vigas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.346	\$ 1.004	\$ -	\$ -	\$ 42.950	\$ 26.815	\$ 92.845	\$ 69.258
	2) Apear extremo de costanera en viga	\$ 2.776	\$ 622	\$ 389	\$ 1.004	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 49.894	\$ 42.443	\$ -	\$ -
	3) Apear colgadores entre costaneras	\$ 2.776	\$ 723	\$ 615	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Contributivo	4) Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	5) Sujetar costanera en suspensión con camión pluma	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	6) Ajustar amarra de carga en costanera	\$ 1.689	\$ 194	\$ 89	\$ 194	\$ 89	\$ 13.360	\$ 6.120	\$ 13.360	\$ 6.120	\$ -	\$ -	\$ -
	7) Instalar cuerda guía	\$ 1.689	\$ 19	\$ 23	\$ 19	\$ 23	\$ 1.298	\$ 1.619	\$ 1.298	\$ 1.619	\$ -	\$ -	\$ -
	8) Guiar elevación con cuerda guía	\$ 1.689	\$ 51	\$ 129	\$ 51	\$ 129	\$ 3.488	\$ 8.930	\$ 3.488	\$ 8.930	\$ -	\$ -	\$ -
	9) Desconectar amarra de carga	\$ 1.689	\$ 66	\$ 92	\$ 66	\$ 92	\$ 4.546	\$ 6.317	\$ 4.546	\$ 6.317	\$ -	\$ -	\$ -
	10) Retirar cuerda guía	\$ 1.689	\$ 22	\$ 26	\$ 22	\$ 26	\$ 1.540	\$ 1.760	\$ 1.540	\$ 1.760	\$ -	\$ -	\$ -
	11) Camión grúa cambia de posición y se estaciona	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	12) Cambio de posición en brazo articulado	\$ 2.776	\$ -	\$ 213	\$ -	\$ 213	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	13) Cambio de posición en plataforma elevadora	\$ 2.776	\$ -	\$ 214	\$ -	\$ 214	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inefectivo	14) Acercar costaneras sin ayuda de maquinaria	\$ 1.689	\$ 59	\$ 3	\$ 59	\$ 3	\$ 4.051	\$ 205	\$ 4.051	\$ 205	\$ -	\$ -	\$ -
	15) Acercar costaneras con ayuda de camión pluma	\$ 1.689	\$ -	\$ 22	\$ -	\$ 22	\$ 59	\$ 35	\$ -	\$ -	\$ 1.518	\$ 4.051	\$ 2.382
	16) Acercar costaneras con ayuda de plataforma elevadora	\$ 1.689	\$ -	\$ 10	\$ -	\$ 10	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 660	\$ -	\$ -
No Productivo	17) Cambio de costanera	\$ 2.124	\$ 235	\$ 141	\$ 235	\$ 141	\$ 16.237	\$ 9.702	\$ 16.237	\$ 9.702	\$ -	\$ -	\$ -
	18) Trabajadores reciben instrucciones	\$ 2.124	\$ 31	\$ 19	\$ 31	\$ 19	\$ 2.107	\$ 1.324	\$ 2.107	\$ 1.324	\$ -	\$ -	\$ -
	19) Trabajador espera en tierra sin actividad	\$ 1.689	\$ -	\$ 520	\$ -	\$ 520	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 35.890	\$ -	\$ -
	20) Trabajador espera en altura sin actividad	\$ 2.776	\$ -	\$ 1.116	\$ -	\$ 1.116	\$ 266	\$ 1.841	\$ -	\$ -	\$ 77.027	\$ 18.344	\$ 127.015
	21) Trabajadores esperan sin camión pluma presente	\$ 2.124	\$ -	\$ 45	\$ -	\$ 45	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 3.071	\$ -	\$ -
	22) Grúa espera por iniciar operación después de estacionar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Personal	23) Grúa espera sin trabajadores	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	24) Grúa espera por continuar operación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	25) Personal entre posicionar grúa sobre acopio y ajustar amarra	\$ 1.689	\$ 18	\$ 25	\$ 18	\$ 25	\$ 96	\$ 136	\$ 1.244	\$ 1.735	\$ 6.610	\$ 9.386	
26) Personal entre descargar costanera y apenar extremo	\$ 2.776	\$ 78	\$ 111	\$ 78	\$ 111	\$ 5.366	\$ 7.651	\$ 5.366	\$ 7.651	\$ -	\$ -	\$ -	
		Total		Total		Total		Total		Total		Total	
		\$ 2.117		\$ 3.801		\$ 146.062		\$ 262.257					

Tabla B.5. Resultados del experimento comparativo en términos de costo monetario del camión pluma

Categoría de trabajo	Tareas	Costo CP por hora	Costo CP [\$/ciclo]		Costo CP [\$/ciclo]		Costo total CP [\$/ciclo]		69 ciclos	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Agrega valor	1) Elevar y descargar costanera sobre par de vigas	\$ 20.000	\$ 818	\$ 1.161	\$ 818	\$ 1.161	\$ 56.422	\$ 80.078	\$ 56.422	\$ 80.078
	2) Apernar extremo de costanera en viga	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	3) Apernar colgadores entre costaneras	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Contributivo	4) Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras	\$ 20.000	\$ 656	\$ 376	\$ 656	\$ 376	\$ 45.272	\$ 25.922	\$ 45.272	\$ 25.922
	5) Sujetar costanera en suspensión con camión pluma	\$ 20.000	\$ 1.707	\$ 2.152	\$ 1.707	\$ 2.152	\$ 117.756	\$ 148.517	\$ 117.756	\$ 148.517
	6) Ajustar amarra de carga en costanera	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	7) Instalar cuerda guía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	8) Guiar elevación con cuerda guía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	9) Desconectar amarra de carga	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	10) Retirar cuerda guía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	11) Camión grúa cambia de posición y se estaciona	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	12) Cambio de posición en brazo articulado	\$ 20.000	\$ 120	\$ 188	\$ 120	\$ 188	\$ 8.311	\$ 13.006	\$ 8.311	\$ 13.006
	13) Cambio de posición en plataforma elevadora	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inefectivo	14) Acercar costaneras sin ayuda de maquinaria	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	15) Acercar costaneras con ayuda de camión pluma	\$ 20.000	\$ -	\$ 177	\$ -	\$ 177	\$ -	\$ 12.206	\$ -	\$ 12.206
	16) Acercar costaneras con ayuda de plataforma elevadora	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
No Productivo	17) Cambio de costanera	\$ 20.000	\$ 443	\$ 252	\$ 443	\$ 252	\$ 30.583	\$ 17.378	\$ 30.583	\$ 17.378
	18) Trabajadores reciben instrucciones	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	19) Trabajador espera en tierra sin actividad	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	20) Trabajador espera en altura sin actividad	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	21) Trabajadores esperan sin camión pluma presente	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	22) Grúa espera por iniciar operación después de estacionar	\$ 20.000	\$ 154	\$ 217	\$ 154	\$ 217	\$ 10.633	\$ 15.006	\$ 10.633	\$ 15.006
	23) Grúa espera sin trabajadores	\$ 20.000	\$ 892	\$ -	\$ 892	\$ -	\$ 61.578	\$ -	\$ 61.578	\$ -
24) Grúa espera por continuar operación	\$ 20.000	\$ 102	\$ 253	\$ 102	\$ 253	\$ 7.061	\$ 17.444	\$ 7.061	\$ 17.444	
Personal	25) Personal entre posicionar grúa sobre acopio y ajustar amarra	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	26) Personal entre descargar costanera y apernar extremo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
			Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
			\$ 4.893	\$ 4.776	\$ 4.893	\$ 4.776	\$ 337.617	\$ 329.556	\$ 337.617	\$ 329.556

Tabla B.6. Resultados del experimento comparativo en términos de costo monetario total

Categoría de trabajo	Tareas	Costo tarea [\$/ciclo]		Costo total tarea [\$/ciclo]		69 ciclos			
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después		
Agrega valor	1) Elevar y descargar costanera sobre par de vigas	\$ 818	\$ 1.161	\$ 2.163	\$ 2.164	\$ 56.422	\$ 80.078	\$ 149.267	\$ 149.336
	2) Apemar extremo de costanera en viga	\$ 622	\$ 389			\$ 42.950	\$ 26.815		
	3) Apemar colgadores entre costaneras	\$ 723	\$ 615			\$ 49.894	\$ 42.443		
Contributivo	4) Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras	\$ 656	\$ 376			\$ 45.272	\$ 25.922		
	5) Sujetar costanera en suspensión con camión pluma	\$ 1.707	\$ 2.152			\$ 117.756	\$ 148.517		
	6) Ajustar amarra de carga en costanera	\$ 194	\$ 89			\$ 13.360	\$ 6.120		
	7) Instalar cuerda guía	\$ 19	\$ 23			\$ 1.298	\$ 1.619		
	8) Guiar elevación con cuerda guía	\$ 51	\$ 129	\$ 2.834	\$ 3.502	\$ 3.488	\$ 8.930	\$ 195.571	\$ 241.660
	9) Desconectar amarra de carga	\$ 66	\$ 92			\$ 4.546	\$ 6.317		
	10) Retirar cuerda guía	\$ 22	\$ 26			\$ 1.540	\$ 1.760		
	11) Camión grúa cambia de posición y se estaciona	\$ 120	\$ 188			\$ 8.311	\$ 13.006		
	12) Cambio de posición en brazo articulado	\$ -	\$ 213			\$ -	\$ 14.710		
	13) Cambio de posición en plataforma elevadora	\$ -	\$ 214			\$ -	\$ 14.760		
Inefectivo	14) Acercar costaneras sin ayuda de maquinaria	\$ 59	\$ 3	\$ 59	\$ 211	\$ 4.051	\$ 205	\$ 4.051	\$ 14.588
	15) Acercar costaneras con ayuda de camión pluma	\$ -	\$ 199			\$ -	\$ 13.723	\$ 4.051	\$ 14.588
No Productivo	16) Acercar costaneras con ayuda de plataforma elevadora	\$ -	\$ 10			\$ -	\$ 660		
	17) Cambio de costanera	\$ 679	\$ 392			\$ 46.821	\$ 27.080		
	18) Trabajadores reciben instrucciones	\$ 31	\$ 19			\$ 2.107	\$ 1.324		
	19) Trabajador espera en tierra sin actividad	\$ -	\$ 520			\$ -	\$ 35.890		
	20) Trabajador espera en altura sin actividad	\$ -	\$ 1.116	\$ 1.858	\$ 2.563	\$ -	\$ 77.027	\$ 128.199	\$ 176.842
	21) Trabajadores esperan sin camión pluma presente	\$ -	\$ 45			\$ -	\$ 3.071		
	22) Grúa espera por iniciar operación después de estacionar	\$ 154	\$ 217			\$ 10.633	\$ 15.006		
	23) Grúa espera sin trabajadores	\$ 892	\$ -			\$ 61.578	\$ -		
	24) Grúa espera por continuar operación	\$ 102	\$ 253			\$ 7.061	\$ 17.444		
	Personal	25) Personal entre posicionar grúa sobre acopio y ajustar amarra	\$ 18	\$ 25	\$ 96	\$ 136	\$ 1.244	\$ 1.735	\$ 6.610	$ 9.386
26) Personal entre descargar costanera y apemar extremo		\$ 78	\$ 111			\$ 5.366	\$ 7.651		
		Total		Total	Total	Total	Total	Total	Total
				\$ 7.010	\$ 8.577	\$ 483.698	\$ 591.812		

C. Planillas de registro de datos de terreno

En esta sección se entregan planillas de registro del uso de tiempo y recursos laborales en las tareas del proceso de montaje de costaneras, para los dos periodos de estudio en los que se desarrolló esta investigación.

Dada la considerable extensión de estos registros, sólo se mostrarán, a modo de ejemplo, aquellos correspondientes a lo observado en dos días, uno por cada periodo. El registro completo en planillas se incluye en el medio digital adjunto a este trabajo.

La explicación correspondiente al formato de las planillas, el significado de cada columna y fila, el ingreso de datos y el cálculo de los tiempos de trabajo ha sido detallada en las secciones 4.3 y 7.3.

Tabla C.1. Estudio inicial: Planilla de registro de tareas día miércoles 1 de Julio de 2015 – Parte 1 de 5

Fecha		miércoles, 1 de Julio de 2015									
Nombre de proceso		Montaje de costaneras en suelo									
Consideraciones		Proceso comienza una vez que el camión grúa se ha estacionado									
Nº Tarea	Descripción	Ciclo 1					Ciclo 2				
		C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]		
4	Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras	1	9:08:59	9:10:45	106	1	10:28:35	10:29:50	75		
6	Ajustar amarra de carga en costanera	3	10:04:58	10:07:58	180	3	10:32:06	10:35:08	182		
7	Instalar cuerda guía en extremo 1	1	10:07:58	10:09:14	76	1	10:35:08	10:35:53	45		
7	Instalar cuerda guía en extremo 2	1	10:07:58	10:09:14	76						
1	Elevar y descargar costanera sobre par de vigas	1	10:09:14	10:10:59	105	1	10:35:08	10:37:23	135		
8	Guiar elevación con cuerda guía	2	10:09:44	10:10:44	60	1	10:36:08	10:37:08	60		
2	Apernar extremo 1 de costanera en viga	2	10:10:59	10:15:31	272	2	10:37:38	10:39:23	105		
2	Apernar extremo 2 de costanera en viga	2	10:10:59	10:15:31	272	2	10:37:38	10:39:08	90		
3	Apernar colgadores entre costaneras	3	10:12:46	10:24:04	678	3	10:37:38	10:44:11	393		
9	Desconectar amarra de carga	3	10:24:19	10:28:20	241	2	10:39:39	10:43:09	210		
5	Sujetar costanera en suspensión con camión pluma	1	10:10:59	10:24:19	800	1	10:37:23	10:39:39	136		
10	Retirar cuerda guía en extremo 1	1	10:10:59	10:12:15	76	1	10:37:23	10:38:08	45		
10	Retirar cuerda guía en extremo 2	1	10:14:31	10:15:46	75						
11	Camión grúa cambia de posición y se estaciona										
14	Acercar costanera sin ayuda de maquinaria										
22	Camión pluma espera por iniciar operación después de estacionar	1	9:03:57	9:08:59	302						
23	Camión pluma espera sin trabajadores	1	9:10:45	10:04:58	3253	1	10:29:50	10:32:06	136		
24	Camión pluma espera por continuar operación										
18	Trabajador recibe instrucciones	3	9:54:57	10:02:14	437						
17	Cambio de costanera										
25	Personal entre posicionar guía sobre acopio y ajustar amarra										
25	Personal entre descargar costanera y apernar extremo 1					2	10:37:23	10:37:38	15		
25	Personal entre descargar costanera y apernar extremo 2					2	10:37:23	10:37:38	15		

Tabla C.2. Estudio inicial: Planilla de registro de tareas día miércoles 1 de Julio de 2015 – Parte 2 de 5

Fecha		miércoles, 1 de Julio de 2015																	
Nombre de proceso		Montaje de costaneras en suelo																	
Consideraciones		Proceso comienza una vez que el camión grúa se ha estacionado																	
Nº Tarea	Ciclo 3			Ciclo 4			Ciclo 5			Ciclo 6									
	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]			
4	1	10:43:09	10:44:56	107	1	10:54:44	11:00:01	317	1	12:16:57	12:17:57	60	1	12:26:01	12:26:46	45			
6	3	10:44:26	10:45:41	75	3	10:56:45	11:01:02	257	3	12:15:41	12:18:28	167	3	12:26:46	12:30:48	242			
7	1	10:45:56	10:46:26	30	1	10:58:31	10:59:16	45	1	12:16:27	12:16:57	30	1	12:29:47	12:30:48	61			
7					1	12:17:57	12:18:28	31											
1	1	10:45:41	10:47:56	135	1	11:01:02	11:03:33	151	1	12:18:43	12:20:28	105	1	12:30:48	12:32:33	105			
8	1	10:46:26	10:47:41	75	1	11:01:47	11:03:33	106	2	12:19:13	12:20:28	75	1	12:31:18	12:32:18	60			
2	2	10:48:11	10:52:13	242	2	11:03:48	11:10:20	392	2	12:20:43	12:23:14	151	2	12:32:18	12:36:05	227			
2	2	10:48:11	10:49:20	69	2	11:03:48	11:06:03	135	2	12:20:59	12:22:14	75	2	12:32:33	12:37:20	287			
3	3	10:49:28	10:54:44	316	2	11:03:48	11:12:22	514	3	12:21:59	12:31:03	544	3	12:33:03	12:40:37	454			
9	2	10:52:58	10:54:44	106	1	11:06:35	11:09:20	165	3	12:25:15	12:26:01	46	3	12:37:35	12:38:20	45			
5	1	10:47:56	10:52:58	302	1	11:03:33	11:06:35	182	1	12:20:28	12:25:15	287	1	12:32:33	12:37:35	302			
10	1	10:48:11	10:48:57	46	1	11:04:03	11:05:33	90	1	12:20:28	12:21:14	46	1	12:33:03	12:35:20	137			
10					1	12:21:14	12:22:14	60											
11																			
14																			
22					1	12:15:56	12:16:57	61											
23																			
24																			
18																			
17																			
25																			
25	2	10:47:56	10:48:11	15	2	11:03:33	11:03:48	15	2	12:20:28	12:20:43	15							
25	2	10:47:56	10:48:11	15	2	11:03:33	11:03:48	15	2	12:20:28	12:20:59	31							

Tabla C.3. Estudio inicial: Planilla de registro de tareas día miércoles 1 de Julio de 2015 – Parte 3 de 5

Fecha		miércoles, 1 de Julio de 2015														
Nombre de proceso		Montaje de costaneras en suelo														
Consideraciones		Proceso comienza una vez que el camión grúa se ha estacionado														
Nº Tarea	Ciclo 7			Ciclo 8			Ciclo 9			Ciclo 10						
	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]
4	1	12:38:20	12:38:51	31	1	12:45:08	12:46:54	106	1	14:09:45	14:11:02	77	1	14:33:52	14:34:47	55
6	3	12:35:20	12:39:52	272	3	12:46:24	12:49:26	182	3	14:08:28	14:10:51	143	3	14:34:14	14:38:50	276
7	1	12:39:22	12:39:52	30	1	12:49:16	12:49:48	32	1	14:07:54	14:09:34	100	1	14:39:01	14:40:19	78
7																
1	1	12:40:07	12:41:52	105	1	12:49:37	12:51:28	111	1	14:11:02	14:12:42	100	1	14:38:50	14:41:58	188
8	1	12:40:37	12:41:37	60	1	12:49:59	12:51:17	78	1	14:11:36	14:12:31	55	1	14:40:41	14:41:36	55
2	2	12:41:52	12:43:38	106	2	12:51:39	12:54:14	155	2	14:26:24	14:28:01	97	2	14:41:58	14:43:59	121
2	2	12:41:52	12:44:23	151	1	12:51:50	12:53:41	111	2	14:26:34	14:30:02	208	2	14:41:58	14:44:33	155
3	3	12:43:22	12:52:01	519	3	12:52:01	12:56:36	275	3	14:28:01	14:34:47	406	3	14:41:47	14:47:04	317
9	3	12:44:38	12:45:08	30	2	12:54:14	12:55:09	55	3	14:32:24	14:33:52	88	3	14:42:54	14:44:33	99
5	1	12:41:52	12:44:38	166	1	12:51:28	12:54:14	166	1	14:26:34	14:32:24	350	1	14:41:58	14:42:54	56
10	1	12:42:07	12:42:52	45	1	12:51:28	12:52:12	44	1	14:32:03	14:32:24	21	1	14:42:54	14:43:26	32
10																
11																
14																
22																
23																
24																
18																
17					5	14:12:31	14:26:34	843	5	14:44:54	15:25:23	2429				
25																
25						12:51:28	12:51:39	11								
25						12:51:28	12:51:50	22								

Tabla C.4. Estudio inicial: Planilla de registro de tareas día miércoles 1 de Julio de 2015 – Parte 4 de 5

Fecha		miércoles, 1 de Julio de 2015														
Nombre de proceso		Montaje de costaneras en suelo														
Consideraciones		Proceso comienza una vez que el camión grúa se ha estacionado														
Nº Tarea	Ciclo 11			Ciclo 12			Ciclo 13			Ciclo 14						
	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]
4	1	15:23:21	15:28:18	297	1	15:32:41	15:34:11	90	1	15:42:02	15:43:02	60	1	15:50:18	15:56:56	398
6	3	15:24:16	15:27:01	165	3	15:33:26	15:35:06	100	3	15:42:13	15:45:11	178	3	15:53:26	15:55:38	132
7	1	15:26:51	15:27:01	10	1	15:34:44	15:35:06	22	1	15:43:54	15:44:49	55	1	15:56:22	15:56:56	34
7																
1	1	15:27:01	15:28:07	66	1	15:35:06	15:36:33	87	1	15:45:22	15:46:38	76	1	15:57:06	16:00:13	187
8	1	15:27:12	15:28:07	55	1	15:35:17	15:36:33	76	1	15:45:33	15:46:38	65	1	15:57:28	16:00:13	165
2	2	15:28:18	15:31:25	187	2	15:36:44	15:39:30	166	2	15:47:00	15:48:29	89	2	16:01:09	16:03:18	129
2	2	15:28:18	15:31:25	187	2	15:36:44	15:39:30	166	2	15:47:00	15:48:29	89	2	16:01:09	16:03:51	162
3	3	15:28:51	15:32:19	208	3	15:38:34	15:41:31	177	3	15:47:10	15:51:46	276	3	16:02:34	16:06:47	253
9	3	15:32:08	15:32:41	33	3	15:40:58	15:42:02	64	3	15:48:51	15:50:07	76	1	16:04:13	16:05:19	66
5	1	15:28:07	15:32:08	241	1	15:36:33	15:40:58	265	1	15:46:38	15:48:51	133	1	16:00:13	16:04:13	240
10	1	15:28:18	15:28:51	33	1	15:40:14	15:40:36	22	1	15:46:38	15:47:00	22	1	16:00:13	16:00:35	22
10																
11																
14																
22																
23																
24																
18																
17																
25																
25	2	15:28:07	15:28:18	11	2	15:36:33	15:36:44	11	2	15:46:38	15:47:00	22	2	16:00:13	16:01:09	56
25	2	15:28:07	15:28:18	11	2	15:36:33	15:36:44	11	2	15:46:38	15:47:00	22	2	16:00:13	16:01:09	56

Tabla C.5. Estudio inicial: Planilla de registro de tareas día miércoles 1 de Julio de 2015 – Parte 5 de 5

Fecha		miércoles, 1 de Julio de 2015						
Nombre de proceso		Montaje de costaneras en suelo						
Consideraciones		Proceso comienza una vez que el camión guía se ha estacionado						
Nº Tarea	Ciclo 15				Ciclo 16			
	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]
4	1	16:33:44	16:37:58	254	1	17:23:11	17:24:17	66
6	3	16:32:49	16:38:20	331	3	17:18:59	17:25:01	362
7	1	16:38:09	16:38:42	33	1	17:24:39	17:25:12	33
7	1	16:37:47	16:38:09	22	1	17:23:22	17:24:17	55
1	1	16:38:42	16:41:50	188	1	17:25:23	17:28:41	198
8	1	16:39:04	16:41:39	155	1	17:26:07	17:28:41	154
2	2	16:41:50	16:44:22	152	2	17:29:25	17:32:42	197
2	2	16:41:50	16:44:22	152	2	17:29:25	17:32:42	197
3	3	16:42:54	16:53:53	659	3	17:35:50	17:42:46	416
9	1	16:46:14	16:48:02	108	1	17:37:29	17:39:39	130
5	1	16:41:50	16:46:14	264	1	17:28:41	17:37:29	528
10	1	16:47:29	16:47:51	22	1	17:36:34	17:36:56	22
10	1	16:42:11	16:42:54	43	1	17:28:41	17:29:25	44
11								
14								
22								
23					1	16:48:13	17:23:11	2098
24								
18								
17								
25								
25	2	16:41:50	16:41:50		2	17:28:41	17:29:25	44
25	2	16:41:50	16:41:50		2	17:28:41	17:29:25	44

Tabla C.6. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 1 de 7

Fecha		jueves, 22 de Octubre de 2015											
Nombre de proceso		Montaje de costaneras en altura											
Consideraciones		Proceso comienza una vez que el camión grúa se ha estacionado											
N° Tarea	Descripción	Ciclo 1					Ciclo 2						
		C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]
4	Posicionar brazo de grúa sobre acopio de costaneras	1	8:36:34	8:38:44	130	1	9:26:51	9:27:56	65				
6	Ajustar amarra de carga en costanera	1	8:38:03	8:39:40	97	2	9:27:40	9:29:00	80				
7	Instalar cuerda guía en extremo 1	1	8:36:02	8:36:51	49	1	9:28:44	9:29:08	24				
7	Instalar cuerda guía en extremo 2	1	8:34:58	8:35:46	48	1	9:28:44	9:29:00	16				
1	Elevant y descargar costanera sobre par de vigas	1	8:56:40	9:02:43	363	1	9:29:00	9:31:59	179				
8	Guiar elevación con cuerda guía	2	8:56:56	9:02:35	339	2	9:29:25	9:31:02	97				
2	Apemnar extremo 1 de costanera en viga	1	9:03:16	9:06:05	169	1	9:32:15	9:33:12	57				
3	Apemnar extremo 2 de costanera en viga	1	9:09:04	9:11:05	121	1	9:32:31	9:33:36	65				
2	Apemnar coligadores entre costaneras	2	9:11:05	9:27:56	1011	2	9:32:15	9:38:18	363				
9	Desconectar amarra de carga	1	9:24:02	9:26:43	161	1	9:34:40	9:37:14	154				
5	Sujetar costanera en suspensión con camión pluma	1	9:02:43	9:24:02	1279	1	9:31:59	9:34:40	161				
10	Retirar cuerda guía en extremo 1	1	9:02:35	9:03:08	33	1	9:31:27	9:31:35	8				
10	Retirar cuerda guía en extremo 2	1	9:10:49	9:11:05	16	1	9:30:46	9:31:02	16				
12	Cambio de posición en brazo articulado	1	9:05:49	9:07:35	106	2	9:27:56	9:28:52	56				
12	Cambio de posición en brazo articulado	2	9:10:25	9:11:05	40	2	9:31:19	9:32:15	56				
12	Cambio de posición en brazo articulado	2	9:15:48	9:16:12	24	2	9:34:00	9:34:32	32				
12	Cambio de posición en brazo articulado	2	9:18:30	9:19:03	33	2	9:36:09	9:36:50	41				
12	Cambio de posición en brazo articulado	2	9:23:27	9:24:02	35								
13	Cambio de posición en plataforma elevadora												
13	Cambio de posición en plataforma elevadora												
13	Cambio de posición en plataforma elevadora												
13	Cambio de posición en plataforma elevadora												
14	Acercar costanera sin ayuda de maquinaria												
15	Acercar costanera con ayuda de camión pluma												
16	Acercar costanera con ayuda de plataforma elevadora												
22	Camión pluma espera por iniciar operación después de estacionar	1	8:39:40	8:56:40	1020								
23	Camión pluma espera sin trabajadores												
24	Camión pluma espera por continuar operación												
18	Trabajador reciben instrucciones	3	8:38:19	8:42:14	235								
20	Trabajador espera en altura sin actividad en extremo 1												
20	Trabajador espera en altura sin actividad en extremo 2												
17	Cambio de costanera												
11	Camión grúa cambia de posición y se estaciona												
25	Personal entre posicionar grúa sobre acopio y ajustar amarra												
25	Personal entre descargar costanera y apemnar extremo 1	1	9:02:43	9:03:16	33	1	9:31:59	9:32:15	16				
25	Personal entre descargar costanera y apemnar extremo 2	1	9:02:43	9:09:04	381	1	9:31:59	9:32:31	32				
19	Trabajador espera en tierra después de guiar elevación con cuerda guía	1	9:02:35	9:03:48	73	1	9:31:02	9:31:11	9				
19	Trabajador espera en tierra después de guiar elevación con cuerda guía												
19	Trabajador espera en tierra sin actividad	2	9:12:26	9:26:59	873	2	9:32:23	9:34:40	137				
19	Trabajador espera en tierra sin actividad												
19	Trabajador espera en tierra sin actividad												
21	Trabajador espera sin camión pluma presente												

Tabla C.7. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 2 de 7

Fecha		Jueves, 22 de Octubre de 2015														
Nombre de proceso		Montaje de costaneras en altura														
Consideraciones		Proceso comienza una vez que el camión grúa se ha estacionado														
Nº Tarea	Ciclo 3			Ciclo 4			Ciclo 5			Ciclo 6						
	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]
4	1	9:37:27	9:38:10	43	1	9:45:51	9:46:32	41	1	9:59:03	10:00:08	65	1	10:14:00	10:15:14	74
6	2	9:38:10	9:38:51	41	2	9:46:32	9:47:44	72	2	10:00:16	10:01:20	64	2	10:15:30	10:16:51	81
7	1	9:31:51	9:32:15	24	1	9:41:25	9:41:49	24	1	9:57:10	9:57:26	16	1	10:07:25	10:07:57	32
7	1	9:38:59	9:39:07	8	1	9:47:44	9:48:17	33	1	10:01:28	10:01:37	9	1	10:16:19	10:17:07	48
1	1	9:38:51	9:41:01	130	1	9:48:17	9:50:34	137	1	10:01:20	10:05:48	268	1	10:17:47	10:20:21	154
8	2	9:39:15	9:40:52	97	2	9:48:41	9:50:18	97	2	10:01:45	10:04:19	154	2	10:18:12	10:19:48	96
2	1	9:41:25	9:43:26	121	1	9:51:14	9:53:24	130	1	10:06:28	10:07:25	57	1	10:21:01	10:22:30	89
2	1	9:41:41	9:43:42	121	1	9:50:34	9:52:27	113	1	10:06:20	10:07:25	65	1	10:20:45	10:23:02	137
3	2	9:41:41	9:47:12	331	2	9:53:16	10:00:24	428	2	10:07:25	10:12:56	331	2	10:21:01	10:26:24	323
9	1	9:43:50	9:45:43	113	1	9:56:14	9:58:55	161	2	10:09:26	10:11:43	137	2	10:23:26	10:25:28	122
5	1	9:41:01	9:43:50	169	1	9:50:34	9:56:14	340	1	10:05:48	10:09:26	218	1	10:20:21	10:23:26	185
10	1	9:40:44	9:41:09	25	1	9:51:22	9:52:19	57	1	10:05:32	10:05:48	16	1	10:19:48	10:20:05	17
10	1	9:40:27	9:40:52	25	1	9:49:54	9:50:34	40	1	10:05:07	10:05:40	33	1	10:19:40	10:19:57	17
12	2	9:38:43	9:39:31	48	2	9:47:12	9:48:01	49	2	10:00:24	10:01:37	73	2	10:12:56	10:13:44	48
12	2	9:40:44	9:41:49	65	2	9:52:03	9:53:16	73	2	10:06:04	10:07:25	81	2	10:19:57	10:21:01	64
12	2	9:43:18	9:43:42	24	2	9:55:01	9:55:57	56	2	10:08:45	10:09:10	25	2	10:22:46	10:23:10	24
12	2	9:44:55	9:45:27	32	2	9:57:58	9:58:31	33	2	10:10:46	10:11:27	41	2	10:24:15	10:24:55	40
12																
13																
13																
13																
13																
14																
15																
16																
22																
23																
24																
18																
20																
20																
17																
11																
25																
25	1	9:41:01	9:41:25	24	1	9:50:34	9:51:14	40	1	10:05:48	10:06:28	40	1	10:20:21	10:21:01	40
25	1	9:41:01	9:41:41	40	1	9:50:18	9:51:39	81	1	10:04:19	10:06:28	129	1	10:20:21	10:20:45	24
19																
19																
19	2	9:39:31	9:40:44	73	2	9:40:44	9:41:09	146	2	10:08:37	10:11:03	146	2	10:11:03	10:12:07	64
19	1	9:42:05	9:44:55	170	1	9:42:05	9:44:55	170	1	10:11:03	10:12:07	64	1	10:21:09	10:26:40	331
19																
21																

Tabla C.8. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 3 de 7

Fecha		Jueves, 22 de Octubre de 2015														
Nombre de proceso		Montaje de costaneras en altura														
Consideraciones		Proceso comienza una vez que el camión grúa se ha estacionado														
Nº Tarea	Ciclo 7			Ciclo 8			Ciclo 9			Ciclo 10						
	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]			
4	1	10:26:00	10:26:48	1	10:38:56	10:39:29	33	1	10:57:32	10:58:04	32	1	11:08:42	11:09:24	42	
6	1	10:27:04	10:29:06	2	10:39:57	10:41:30	93	2	10:58:04	10:59:25	81	1	11:10:20	11:13:50	210	
7	1	10:20:29	10:21:01	32	1	10:41:46	10:42:10	24	1	10:59:41	11:00:06	25	1	11:14:14	11:15:27	73
7	1	10:21:34	10:22:06	32	1	10:41:30	10:41:54	24	1	10:59:41	11:00:06	25	1	11:14:30	11:15:27	57
1	1	10:29:39	10:32:52	193	1	10:41:30	10:44:11	161	1	11:00:06	11:02:47	161	1	11:15:27	11:18:25	178
8	2	10:30:19	10:32:20	121	2	10:42:10	10:44:11	121	2	11:00:22	11:02:31	129	2	11:15:43	11:18:25	162
2	1	10:32:52	10:35:17	145	1	10:45:25	10:46:54	89	1	11:03:19	11:04:40	81	1	11:18:33	11:19:46	73
2	1	10:33:08	10:34:29	81	1	10:49:59	10:52:00	121	1	11:02:47	11:04:00	73	1	11:18:25	11:20:50	145
3	2	10:32:52	10:38:48	356	2	10:52:49	10:58:45	356	2	11:03:35	11:09:32	357	2	11:32:26	11:37:25	299
9	2	10:35:43	10:37:52	129	1	10:55:46	10:57:32	106	1	11:05:37	11:08:34	177	1	11:33:47	11:36:44	177
5	1	10:32:52	10:35:43	171	1	10:44:11	10:55:46	695	1	11:02:47	11:05:37	170	1	11:18:25	11:33:47	922
10	1	10:34:21	10:35:01	40	1	10:45:00	10:45:17	17	1	11:02:47	11:03:03	16	1	11:18:25	11:18:41	16
10	1	10:32:12	10:32:52	40	1	10:48:31	10:49:11	40	1	11:02:23	11:02:47	24	1	11:18:25	11:19:46	81
12	2	10:26:32	10:27:46	74	2	10:38:48	10:39:37	49	2	10:58:45	10:59:41	56	2	11:09:32	11:11:25	113
12	2	10:31:56	10:32:52	56	2	10:51:36	10:52:57	81	2	11:02:23	11:03:27	64	3	11:11:25	11:12:37	72
12	2	10:34:45	10:35:26	41	2	10:54:34	10:55:06	32	2	11:04:48	11:05:37	49	1	11:15:19	11:16:15	56
12	2	10:36:55	10:37:36	41	2	10:56:11	10:57:00	49	2	11:07:30	11:08:10	40	2	11:17:37	11:18:17	40
12													2	11:20:02	11:21:39	97
13													2	11:24:37	11:26:22	105
13													3	11:28:07	11:29:03	56
13													2	11:30:08	11:32:26	138
13																
14																
15																
16																
22																
23																
24																
18																
20																
20																
20																
17																
11																
25	1	10:26:48	10:27:04	16	2	10:39:29	10:39:57	28								
25	1	10:32:52	10:33:08	16	1	10:44:11	10:45:25	74	1	11:02:47	11:03:19	32	1	11:18:25	11:18:33	8
19																
19																
19	2	10:29:06	10:29:47	41	2	10:39:37	10:43:47	250	1	11:02:31	11:05:28	177	1	11:18:25	11:27:26	541
19	2	10:28:02	10:31:40	218	1	10:43:47	10:51:12	445	2	10:59:41	11:02:23	162	2	11:27:10	11:28:07	57
19																
21																

Tabla C.9. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 4 de 7

Fecha		Jueves, 22 de Octubre de 2015														
Nombre de proceso		Montaje de costaneras en altura														
Consideraciones		Proceso comienza una vez que el camión grúa se ha estacionado														
Nº Tarea	Ciclo 11			Ciclo 12			Ciclo 13			Ciclo 14						
	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]
4	1	11:36:52	11:38:13	81	1	11:57:14	11:57:38	24	1	12:09:37	12:10:26	49	1	12:22:26	12:23:14	48
6	2	11:38:05	11:40:31	146	2	11:58:51	12:00:52	121	2	12:10:18	12:11:39	81	2	12:23:06	12:24:11	65
7	1	11:34:59	11:35:24	25	1	12:00:03	12:00:28	25	1	12:11:47	12:12:11	24	1	12:24:19	12:24:43	24
7	1	11:37:01	11:37:33	32	1	12:00:28	12:00:52	24	1	12:11:14	12:12:19	65	1	12:24:27	12:24:51	24
1	1	11:40:31	11:44:10	219	1	12:00:52	12:03:25	153	1	12:12:11	12:15:00	169	1	12:24:43	12:29:34	291
8	2	11:40:55	11:43:28	153	2	12:01:08	12:03:19	131	2	12:12:51	12:14:44	113	2	12:24:59	12:27:49	170
2	1	11:44:10	11:45:38	88	1	12:03:49	12:05:42	113	1	12:17:02	12:18:30	88	1	12:29:58	12:31:59	121
2	1	11:44:18	11:45:46	88	1	12:03:33	12:07:44	251	1	12:15:33	12:18:38	185	1	12:29:34	12:30:14	40
3	2	11:45:14	11:50:45	331	2	12:05:02	12:09:46	284	2	12:17:50	12:22:50	300	2	12:31:10	12:33:12	122
9	1	11:46:27	11:49:57	210	1	12:06:31	12:09:05	154	1	12:19:27	12:22:00	153	1	12:35:54	12:39:48	234
5	1	11:44:10	11:46:27	137	1	12:03:25	12:06:31	186	1	12:15:00	12:19:27	267	1	12:29:34	12:35:54	380
10	1	11:43:28	11:44:01	33	1	12:03:25	12:03:33	8	1	12:17:26	12:17:42	16	1	12:28:29	12:29:09	40
10	1	11:43:28	11:44:18	50	1	12:03:01	12:03:17	16	1	12:14:52	12:15:08	16	1	12:27:57	12:29:25	88
12																
12																
12																
12																
13	2	11:37:25	11:38:13	48	2	12:03:25	12:05:02	97	2	12:09:37	12:10:50	73	2	12:22:50	12:24:35	105
13	2	11:43:45	11:45:14	89	2	12:08:09	12:08:49	40	2	12:14:36	12:17:42	186				
13	2	11:48:52	11:49:33	41					2	12:20:48	12:21:28	40				
13	2	11:50:45	11:51:34	49												
14																
15					2	11:52:06	11:57:14	308					2	12:40:01	12:46:08	367
16																
22																
23																
24																
18																
20																
20																
20																
17																
11	1	11:49:57	11:52:06	129												
25					2	11:57:38	11:58:51	73								
25					1	12:03:25	12:03:49	24	1	12:15:00	12:17:02	122	1	12:29:34	12:29:58	24
25	1	11:44:10	11:44:18	8	1	12:03:25	12:03:33	8	1	12:15:00	12:15:33	33				
19	1	11:43:28	11:46:03	155	1	12:03:19	12:09:05	346	1	12:14:44	12:15:49	65	1	12:27:49	12:30:54	185
19	1	11:43:28	11:45:14	106	1	12:03:19	12:04:22	63	1	12:14:44	12:15:49	65	1	12:27:49	12:40:04	735
19	2	11:46:59	11:51:58	299	2	11:52:14	11:57:22	308	2	12:10:50	12:14:36	226				
19					1	11:57:22	12:03:25	363								
19																
21																

Tabla C.10. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 5 de 7

Fecha		jueves, 22 de Octubre de 2015																	
Nombre de proceso		Montaje de costaneras en altura																	
Consideraciones		Proceso comienza una vez que el camión grúa se ha estacionado																	
Nº Tarea	C.T.	Ciclo 15			Ciclo 16			Ciclo 17			Ciclo 18								
		Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]			
4	1	15:09:47	15:10:19	32	1	15:18:32	15:19:29	57	1	15:33:46	15:34:10	24	1	15:46:33	15:46:49	16			
6	2	15:10:27	15:11:24	57	2	15:19:21	15:20:18	57	1	15:33:54	15:34:50	56	2	15:47:47	15:48:16	89			
7	1	15:10:52	15:11:32	40	1	15:18:16	15:18:49	33	1	15:32:17	15:32:41	24	1	15:45:45	15:46:33	48			
7	1	15:10:52	15:11:32	40	1	15:18:49	15:19:05	16	1	15:30:56	15:31:20	24	1	15:37:32	15:37:41	9			
1	1	15:11:24	15:14:13	169	1	15:20:42	15:23:56	194	1	15:35:31	15:37:07	96	1	15:50:37	15:53:02	145			
8	2	15:11:56	15:13:33	97	2	15:20:58	15:23:07	129	2	15:35:47	15:36:59	72	2	15:50:53	15:52:54	121			
2	1	15:14:13	15:16:07	114	1	15:23:56	15:25:00	64	1	15:37:41	15:38:37	56	1	15:53:26	15:55:11	105			
2	1	15:14:22	15:15:34	72	1	15:23:56	15:25:08	72	1	15:38:37	15:41:27	170	1	15:53:10	15:54:55	105			
3	2	15:14:46	15:19:53	307	2	15:24:44	15:29:51	307	1	15:39:50	15:48:11	501	2	15:56:40	16:01:48	308			
9	1	15:15:58	15:18:16	138	1	15:26:13	15:28:46	163	1	15:42:23	15:46:01	218	1	15:58:18	16:00:43	145			
5	1	15:14:13	15:15:58	105	1	15:23:56	15:26:13	137	1	15:37:07	15:42:23	316	1	15:53:02	15:58:18	316			
10	1	15:14:46	15:15:02	16	1	15:22:51	15:22:59	8	1	15:37:15	15:37:32	17	1	15:52:54	15:53:02	8			
10	1	15:13:33	15:13:41	8	1	15:23:07	15:23:23	16	1	15:36:59	15:37:15	16	1	15:54:55	15:55:27	32			
12	1																		
12	1																		
12	1																		
12	1																		
13	2	15:10:52	15:11:48	56	2	15:19:53	15:20:58	65	2	15:29:51	15:30:48	57	1	15:48:11	15:49:24	73			
13	2	15:13:33	15:14:46	73	2	15:23:15	15:24:36	81	1	15:36:51	15:39:50	179	1	15:52:46	15:55:35	169			
13	2	15:17:27	15:18:07	40	2	15:27:33	15:28:22	49	1	15:45:13	15:45:53	40	2	15:55:43	15:56:40	57			
13	1												2	15:59:46	16:00:19	33			
14																			
15																			
16																			
22																			
23																			
24																			
18																			
20		15:10:27	15:14:13	226	1	15:16:07	15:23:56	469	1	15:25:00	15:37:07	727	1	15:38:37	15:53:02	865			
20		15:10:27	15:14:13	226	1	15:15:34	15:23:56	502	1	15:25:08	15:37:07	719	1	15:41:27	15:53:02	695			
17																			
11																			
25	2	15:10:19	15:10:27	8						15:29:59	15:30:40	41							
25																			
25	1	15:14:13	15:14:22	9						15:37:07	15:37:41	34	2	15:46:49	15:47:47	58			
19	1	15:13:33	15:17:35	242									1	15:53:02	15:53:26	24			
19	1	15:13:33	15:17:35	242									1	15:53:02	15:53:10	8			
19	2	15:11:48	15:13:33	105									1	15:52:54	15:54:06	72			
19													1	15:52:54	15:54:06	72			
19													1	15:49:24	15:52:46	202			
19													2	15:57:04	16:01:15	251			
19																			
21																			

Tabla C.11. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 6 de 7

Fecha		Jueves, 22 de Octubre de 2015																	
Nombre de proceso		Montaje de costaneras en altura																	
Consideraciones		Proceso comienza una vez que el camión grúa se ha estacionado																	
Nº Tarea	C.T.	Ciclo 19			Ciclo 20			Ciclo 21			Ciclo 22								
		Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	Tiempo [s]			
4	1	16:00:51	16:01:53	62	1	16:10:58	16:12:43	105	1	16:29:09	16:30:38	89	1	16:47:21	16:48:50	89			
6	2	16:01:48	16:02:36	48	2	16:12:27	16:13:40	73	2	16:32:07	16:33:45	98	2	16:48:34	16:49:46	72			
7	1	15:56:15	15:56:48	33	1	16:14:04	16:14:20	16	1	16:34:01	16:34:25	24	1	16:50:03	16:50:11	8			
7	1	16:01:23	16:01:31	8	1	16:06:06	16:06:22	16	1	16:33:45	16:33:53	8	1	16:49:55	16:50:11	16			
1	1	16:02:44	16:05:09	145	1	16:14:36	16:17:34	178	1	16:34:42	16:37:23	161	1	16:50:27	16:53:33	186			
8	2	16:03:00	16:05:09	129	2	16:14:52	16:17:26	154	2	16:35:14	16:37:23	129	2	16:50:51	16:53:08	137			
2	1	16:07:19	16:10:42	203	1	16:18:22	16:20:49	147	1	16:39:16	16:41:10	114	1	16:53:41	16:55:10	89			
2	1	16:05:50	16:09:12	202	1	16:17:34	16:19:35	121	1	16:37:31	16:40:04	153	1	16:53:41	16:55:27	106			
3	2	16:06:38	16:11:39	301	2	16:20:00	16:25:07	307	2	16:39:56	16:47:53	477	2	16:54:22	16:59:13	291			
9	1	16:07:27	16:10:50	203	1	16:21:53	16:24:11	138	1	16:40:54	16:45:04	250	2	16:55:51	16:58:24	153			
5	1	16:05:09	16:07:27	138	1	16:17:34	16:21:53	259	1	16:37:23	16:40:54	211	1	16:53:33	16:55:51	138			
10	1	16:06:22	16:07:19	57	1	16:17:26	16:17:34	8	1	16:38:52	16:39:08	16	1	16:53:08	16:53:24	16			
10	1	16:05:34	16:05:50	16	1	16:17:26	16:17:34	8	1	16:37:23	16:37:31	8	1	16:55:10	16:55:27	17			
12	1																		
12	1																		
12	1																		
12	1																		
13	2	16:01:48	16:03:00	72	2	16:11:47	16:12:43	56	3	16:34:09	16:35:06	57	2	16:47:53	16:50:35	162			
13	2	16:03:24	16:04:21	57	2	16:17:10	16:20:00	170	2	16:37:47	16:39:56	129	2	16:53:24	16:54:22	58			
13	2	16:04:45	16:06:38	113	2	16:23:14	16:23:54	40	2	16:42:14	16:44:56	162	2	16:57:36	16:58:08	32			
13	2	16:09:45	16:10:34	49	2	16:25:07	16:26:44	97											
14									2	16:30:38	16:31:11	33							
15																			
16																			
22																			
23																			
24																			
18																			
20																			
20																			
20																			
17																			
11																			
25																			
25	1	16:05:09	16:07:19	130	1	16:17:34	16:18:22	48	1	16:37:23	16:39:16	113	1	16:53:33	16:53:41	8			
25	1	16:05:09	16:05:50	41	1	16:17:34	16:17:34		1	16:37:23	16:37:31	8	1	16:53:33	16:53:41	8			
19	1	16:05:09	16:12:11	422	1	16:17:26	16:17:58	32	1	16:37:23	16:47:45	622	1	16:53:08	16:58:57	349			
19	1	16:05:09	16:12:11	422	1	16:17:26	16:20:57	211	1	16:37:23	16:37:55	32	1	16:53:08	16:58:57	349			
19	2	16:03:00	16:03:24	24	2	16:12:43	16:17:10	267	2	16:32:47	16:34:01	74	1	16:50:03	16:50:43	40			
19									1	16:39:08	16:47:45	517	2	16:50:43	16:53:08	145			
19																			
21																			

Tabla C.12. Estudio posterior: Planilla de registro de tareas día jueves 22 de Octubre de 2015 – Parte 7 de 7

Nº Tarea	Ciclo 23			Ciclo 24		
	C.T.	Hora Inicio	Hora Término	C.T.	Hora Inicio	Hora Término
4	1	17:01:14	17:02:18	1	17:14:26	17:15:39
			64			73
6	2	17:03:07	17:04:44	2	17:15:23	17:16:35
			97			72
7	1	17:05:00	17:05:24	1	17:17:16	17:17:40
			24			24
7	1	17:05:00	17:05:16	1	17:17:48	17:18:42
			16			54
1	1	17:05:32	17:08:31	1	17:18:28	17:21:59
			179			211
8	2	17:05:48	17:08:23	2	17:18:53	17:21:11
			155			138
2	1	17:08:55	17:10:00	1	17:22:07	17:23:44
			65			97
2	1	17:09:11	17:10:48	1	17:22:07	17:23:20
			97			73
3	2	17:09:27	17:14:18	3	17:22:31	17:27:06
			291			275
9	1	17:10:24	17:13:05	1	17:23:36	17:26:01
			161			145
5	1	17:08:31	17:10:24	1	17:21:59	17:23:36
			113			97
10	1	17:08:55	17:09:27	1	17:21:35	17:21:59
			32			24
10	1	17:08:55	17:09:11	1	17:21:19	17:21:35
			16			16
12						
12						
12						
12						
12						
13	2	16:59:13	17:00:09	2	17:14:18	17:16:11
			56			113
13	1	17:00:09	17:01:30	2	17:21:35	17:22:31
			81			56
13	2	17:08:23	17:09:07	2	17:25:13	17:25:45
			44			32
13	2	17:12:09	17:12:49	3	17:27:06	17:28:02
			40			56
14						
15	1	16:58:32	17:01:14			
			162			
16						
22						
23						
24						
24						
18						
20						
20						
17						
11						
25	2	17:02:18	17:03:07			
			49			
25	1	17:08:31	17:08:55	1	17:21:59	17:22:07
			24			8
25	1	17:08:31	17:09:11	1	17:21:59	17:22:07
			40			8
19						
19						
19	1	17:00:17	17:01:54	1	17:21:11	17:22:07
			97			56
19	2	17:01:54	17:07:58	2	17:19:25	17:21:27
			364			122
19	1	17:13:54	17:14:18	1	17:23:52	17:26:50
			24			178
21						

