



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

APLICACIÓN DE MAPEO DE CADENAS DE VALOR PARA LA DETECCIÓN DE
PÉRDIDAS PRODUCTIVAS Y MEDIOAMBIENTALES EN LA CONSTRUCCIÓN:
ESTUDIO DE CASO EN OBRA “CLÍNICA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES”

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

SERGIO ANDRÉS ROSENBAUM VIDELA

PROFESOR GUÍA:
SR. MAURICIO TOLEDO VILLEGAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SR. ROLF SIELFELD CORVALÁN
SRTA. BÁRBARA RODRÍGUEZ DROGUETT

SANTIAGO DE CHILE
ABRIL 2012

RESUMEN

En el ámbito de la construcción, los estudios de sustentabilidad se orientan primariamente a la etapa de operación de los proyectos, dejando de lado las etapas de diseño y construcción. Se han alcanzado así, grandes mejoras en uso de recursos y emisiones, sin embargo, el periodo de construcción continúa siendo una fuente importante de pérdidas en términos productivos y medioambientales.

Con el fin de atacar el problema de pérdidas productivas y medioambientales en el proceso constructivo se utilizó la herramienta de Mapeo de Cadenas de Valor (MCV). Esta es una herramienta que consiste en la confección de mapas que representan la secuencia de actividades y flujos de información necesarios para producir un producto y asiste en el desarrollo de un diagnóstico del estado actual del proceso. Mientras que las herramientas tradicionales muestran sólo síntomas, el MCV evidencia los problemas productivos desde su raíz. Se generan luego, propuestas de mejoras para dichos procesos apuntando a eliminar las pérdidas y aumentar la sustentabilidad del proyecto en general.

Se realizaron observaciones en terreno durante un periodo de 2 meses en la obra “Clínica Universidad de los Andes”. Los datos recopilados permitieron elaborar mapas de cadena de valor para distintos elementos constructivos de obra gruesa, estos son: losas, muros, columnas, radieres y fundaciones. Diversas actividades fueron mapeadas, entre ellas colocación de enfierradura, recubrimientos y encofrados y vertido del hormigón. El posterior análisis de estos reveló los diferentes problemas productivos y pérdidas principales de los procesos; se evidenció a través de la interpretación de indicadores un sub-aprovechamiento de los recursos materiales y humanos, pobre preocupación medioambiental, gran variabilidad en los procesos, sobreproducción y problemas en la planificación y gestión, entre otros. Finalmente, se propusieron y elaboraron mapas de estados futuros de producción incluyendo diversas mejoras en la productividad de la cadena de valor como: sincronización con las demandas del cliente, reducción de variabilidad y tiempos que no agregan valor al producto, haciendo factibles recortes de hasta un 40% en los tiempos del ciclo de producción de los elementos constructivos. Además se propusieron mejoras para el desempeño medioambiental de los procesos, entre ellas la optimización del uso de recursos y manejo de residuos, permitiendo desviar de vertedero hasta un 70% del total generado. Conjuntamente, se elaboraron recomendaciones para implementar dichas mejoras y materializar los estados futuros de las cadenas de valor.

La aplicación del MCV en terreno fue práctica y se comprueba que eligiendo indicadores adecuados a medir, la herramienta permite elaborar un diagnóstico certero y acabado del estado de producción actual. Las mejoras propuestas y sus recomendaciones de implementación se basaron principalmente en las filosofías “Lean Construction” y “Green Building”, estas constituyen estados de producción factibles y de gran optimización para la productividad y el desempeño medioambiental.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo incondicional.

A los profesores de la comisión Mauricio Toledo, Rolf Sielfeld y Bárbara Rodríguez y al profesor Vicente González por sus valiosos aportes a la investigación.

A la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción por su apoyo financiero parcial a la investigación.

A la Constructora LyD S.A y en especial al Sr. Alejandro Escandar por abrir sus puertas a la investigación.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1- Introducción al Capítulo.....	1
1.2- Guía de Lectura.....	1
1.3- Problema Identificado y Motivación de la Investigación.....	1
1.4- Alcance de la Investigación.....	2
1.5- Hipótesis de la Investigación.....	3
1.6- Resultados esperados.....	3
1.7- Objetivos de la Investigación.....	3
1.7.1- Objetivo General.....	3
1.7.2- Objetivos Específicos.....	3
1.8- Metodología de la Investigación.....	3
1.9- Antecedentes Generales del Proyecto.....	5
1.10- Personal del Proyecto involucrado en la Investigación.....	6
1.11- Resumen del Capítulo.....	6
2. CAPÍTULO II: PUNTOS DE PARTIDA.....	7
2.1- Introducción al Capítulo.....	7
2.2- Green Building.....	7
2.2.1- Sustentabilidad en la Construcción.....	7
2.2.2- Marco Conceptual Green.....	8
2.2.3- Certificaciones.....	9
2.3- Análisis de Ciclo de Vida.....	9
2.4- Lean Construction.....	9
2.4.1- Sobre la Filosofía Lean.....	9
2.4.2- Producción Como Cadena de Valor.....	10
2.4.3- Conceptos y Aplicación.....	11
2.5- Mapeo de Cadenas de Valor.....	12
2.5.1- Sobre la Cadena de Valor.....	12
2.5.2- Mapeando la cadena.....	12
2.5.3- Fuentes de pérdidas y Estado Futuro.....	13
2.5.4- Incorporando dimensiones medioambientales.....	14
2.6- Experiencias previas.....	15
2.6.1- MCV en construcción.....	15
2.6.2- MCV con dimensiones medioambiental.....	16
2.7- Resumen del Capítulo	16

3. CAPÍTULO III: PLANEAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL MCV.....	17
3.1- Introducción al Capítulo.....	17
3.2- Adaptaciones al MCV.....	17
3.3- Formato y simbología de los mapas.....	19
3.4- Definición de Indicadores y datos necesarios.....	22
3.5- Obtención de Datos en Terreno.....	28
3.6- Procesamiento de datos.....	29
3.6.1- Metodología para el Cálculo de Indicadores de Productividad.....	29
3.6.2- Metodología para el Cálculo de Indicadores Medioambientales.....	32
3.6.3- Metodología para el cálculo de Tiempo y Cantidades de Inventario.....	35
3.7- El Estado Actual de la Cadena de Valor.....	38
3.7.1- Generalidades.....	38
3.7.2- Mapas.....	38
3.7.3- Diagnóstico General.....	44
3.7.4- Columnas y Muros.....	49
3.7.5- Losas.....	50
3.7.6- Radieres.....	51
3.7.7- Fundaciones.....	52
3.8- El Estado Futuro de la Cadena de Valor	53
3.8.1- Generalidades.....	53
3.8.2- Mapas.....	53
3.8.3- Mejoramiento General.....	59
3.8.4- Columnas y Muros.....	63
3.8.5- Losas.....	65
3.8.6- Radieres.....	66
3.8.7- Fundaciones.....	67
3.9- Resumen del Capítulo	67
4. CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES FINALES.....	68
4.1- Introducción al Capítulo.....	68
4.2- Resultados Obtenidos.....	68
4.3- Comentarios sobre la Hipótesis.....	69
4.4- Contribuciones al Conocimiento.....	69
4.5- Relevancia Práctica.....	70
4.6- Futuras investigaciones.....	70
4.7- Resumen del Capítulo	70
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
6. ANEXOS.....	75
6.1- Anexo A: Profesionales Involucrados en la Investigación.....	75
6.2- Anexo B: Datos Obtenidos.....	76
6.3- Anexo C: Datos Procesados.....	108

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1- Introducción al Capítulo.

En el presente capítulo se incluye primeramente, una guía de lectura para el informe completo. Además, se precisará el problema identificado, motivación, alcance, hipótesis, objetivos, resultados esperados y metodología de la investigación, también se hará mención de los antecedentes del proyecto estudiado y el personal de este colaborando con la investigación.

1.2- Guía de Lectura.

Este informe se divide en 4 capítulos: en el capítulo I se definen los aspectos más relevantes de la investigación (problema identificado, metodología y alcance entre otros) y del proyecto a estudiar, en el capítulo II se revisa el estado del arte del tópico de investigación, en el capítulo III se encuentra el desarrollo completo de la investigación y en el último las conclusiones y discusiones finales.

1.3- Problema Identificado y Motivación de la Investigación.

La actividad de la construcción tradicionalmente se sitúa como una de las industrias con peores desempeños en términos de aprovechamiento de recursos, confiabilidad, contaminación, calidad y seguridad (Lefcovich, 2003). Esto se explica por diversas razones, entre ellas está el trabajo en sitio, la unicidad de los proyectos y del lugar de emplazamiento, la poca especialización de la mano de obra y la gran cantidad de actores y disciplinas involucradas. Estos factores toman la gestión de la construcción en un verdadero arte, aspectos relevantes de esta son la planificación, el seguimiento y control de los proyectos. El desarrollo de nuevas herramientas de apoyo a la gestión y eficiencia de los procesos constituye por tanto, una actividad fundamental para la investigación en construcción.

Las herramientas de gestión convencionales atacan principalmente a las pérdidas productivas de la construcción y se enfocan en problemas como la calidad del trabajo, confiabilidad en los plazos y aprovechamiento de recursos, pero presentan una perspectiva anticuada de producción, que falla en ver esta como un flujo de procesos, al cual se le inyectan materias primas y arroja productos que deben satisfacer las necesidades de sus clientes, esto se conoce como cadena de valor (Rother y Shook, 1999). Dichos clientes han sumado a sus requerimientos típicos, la sustentabilidad de sus proyectos.

La sustentabilidad se ha desarrollado desde hace varios años en los proyectos de construcción pero enfocándose principalmente, en aspectos medioambientales y en la etapa de operación de estos. El mejoramiento alcanzado en dichos aspectos es indiscutible, no obstante el concepto de sustentabilidad es más amplio que esto, se desenvuelve en 3 dimensiones distintas: económica, social y medioambiental, además se involucra durante todo el ciclo de vida del proyecto (Comisión Mundial sobre el Medioambiente y el Desarrollo, 1987). Esta estrecha perspectiva ha retrasado los avances del sector en comparación con otras industrias.

Las limitaciones del desarrollo de la construcción paulatinamente se han hecho relevantes para sus gestores, surgiendo las filosofías de “Green Building” y “Lean Construction” como los nuevos paradigmas a seguir. Sin embargo, la puesta en práctica de estas no es para nada sencilla y por tanto cobra especial importancia la generación de herramientas de apoyo para lograr estos objetivos y avanzar hacia un desarrollo sustentable de la industria. La herramienta a investigar específicamente en esta investigación es el Mapeo de Cadenas de Valor, esta se aplicará con el fin de detectar y corregir las pérdidas productivas y medioambientales de la producción. En esta investigación se entenderán las pérdidas productivas como aquellas relacionadas directamente con el desempeño de la producción, dentro de estas pueden mencionarse el sub-aprovechamiento de recursos de mano de obra, equipos y maquinaria. Por otra parte se entenderán las pérdidas medioambientales como aquellas que causen directamente un impacto medioambiental, tales como el sub-aprovechamiento de recursos hídricos, materiales y energéticos y la emisión de contaminantes de cualquier tipo al suelo, agua o atmósfera.

1.4- Alcance de la Investigación.

Se analizará el proceso constructivo como una cadena de valor en la que entran materias primas y salen productos para un cliente, los límites de dicha cadena se corresponden con el sitio mismo de la obra. No formarán parte de la investigación aquellos procesos que se desarrollen fuera de dicho límite. Por otra parte el proyecto completo de la Clínica Universidad de los Andes comprende una edificación principal y otras pequeñas aledañas, el objeto de estudio se enfocará en la primera debido a su mayor relevancia en términos de recursos inyectados y pérdidas generadas, se precisa sobre esto en la sección 1.9.

El periodo de observación en terreno se extiende desde el día 13 de julio hasta el 16 de septiembre del 2011, por tanto el diagnóstico realizado refleja la realidad de dicho periodo y no necesariamente del periodo de producción completo. Las mejoras propuestas a pesar de no estar enfocadas a dicho periodo, cobran mayor sentido en él. Por ejemplo, aquellas referidas a la producción de fundaciones ya no podrán aplicarse en este proyecto en particular debido a que la producción de este elemento ya ha finalizado.

Las cadenas de valor analizadas corresponderán a las de los siguientes elementos constructivos: Columnas, muros, losas, radieres y fundaciones. Se eligieron estos debido a que eran los más relevantes para la producción durante el periodo de observación en terreno. No forman parte del estudio las cadenas de valor de otros elementos constructivos. Las pérdidas productivas que se cuantificaron y analizaron son las típicas para un análisis de cadena de valor (ver sección 2.4.3). Por otra parte, las pérdidas medioambientales que se incluyeron en el análisis son: sub-aprovechamiento de recursos materiales (madera, hormigón, fierro y combustible) y manejo de los residuos generados. Estas fueron elegidas de acuerdo a su relevancia y la factibilidad de medición considerando los recursos disponibles para la investigación.

1.5- Hipótesis de Investigación.

El Mapeo de Cadenas de Valor es una herramienta de gestión eficiente para la detección de pérdidas productivas y medioambientales durante el proceso de construcción de un proyecto.

1.6- Resultados Esperados.

- 1- Desarrollo de la metodología de investigación planteada.
- 2- Se espera que el mapeo haga evidente las distintas pérdidas, tanto productivas como medioambientales, que existen en los procesos y que la metodología permita desarrollar un paquete de mejoras capaz de minimizarlas.

1.7- Objetivos de la investigación.

1.7.1- Objetivo General.

- Adaptar la herramienta de Mapeo de Cadena de Valor para detección de pérdidas productivas y medioambientales en las faenas de construcción.

1.7.2- Objetivos Específicos.

- Aplicar la herramienta de Mapeo de Cadena de Valor a las partidas principales en la generación de pérdidas para la etapa de obra gruesa del proyecto de construcción “Clínica Universidad de los Andes”.

1.8- Metodología de la investigación.

1. Puntos de partida
 - a- Revisión literaria de las filosofías Lean Construction y Green Building: estas actuarán como fundamentos de conocimiento para la investigación.
 - b- Revisión de experiencias previas de MCV: Investigar las aplicaciones del MCV en la construcción y la incorporación de la dimensión medioambiental en la herramienta.
2. Adaptaciones del MCV: realizar modificaciones de forma y fondo al MCV para adecuarse al sector de la construcción.
3. Elección de indicadores y datos necesarios: definir el conjunto de indicadores a presentar en los mapas y determinar los datos necesarios para calcularlos.
4. Recopilación de datos: por observación en terreno y entrevistas a actores involucrados.
5. Procesamiento de datos: cálculo de indicadores usando los datos recopilados.
6. Mapeo del estado actual: confección de los mapas y diagnóstico del estado actual.

7. Mapeo del estado futuro: confección de mapas y propuestas de mejoras.
8. Implementación del estado futuro: recomendaciones para implementar mejoras y alcanzar el estado futuro.
9. Discusión de los resultados.

En la figura 1.1 se esquematiza la metodología de investigación.

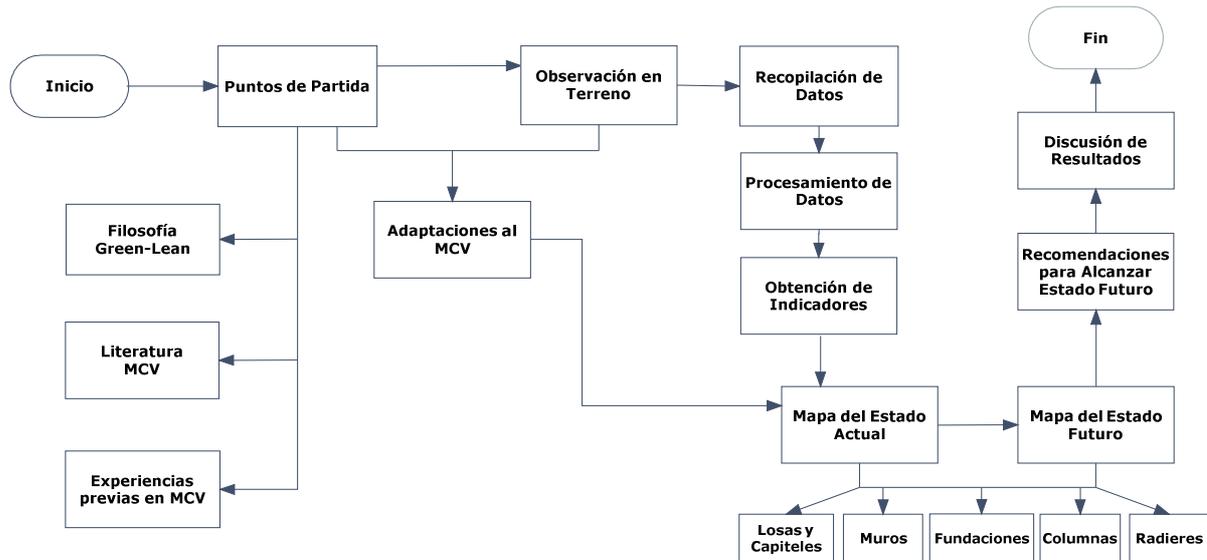


Fig. 1.1. Diagrama metodológica

1.9- Antecedentes generales del proyecto.

La Clínica Universidad de los Andes es un proyecto que consta de 5 edificaciones, el edificio de residencias, el edificio mecánico, el edificio de basura, el garaje de ambulancias y el edificio principal, el conjunto suma una superficie de 35.000 m² construidos. El proyecto está ubicado en el sector oriente del campus de la Universidad de los Andes en la comuna de Las Condes en Santiago de Chile y la inversión del proyecto alcanza los 100 millones de dólares.

El contratista general corresponde al Consorcio Cerro Provincia, que inició las obras de construcción el 2 de mayo del 2011 y pronostica su término para febrero del 2013. El proyecto de arquitectura fue desarrollado por Alemparte, Barreda y asociados y el de estructuras por Alfonso Larraín Vial y asociados.

En la figura 1.2 se muestra la ubicación del emplazamiento del proyecto, el lugar exacto se marca en el círculo rojo, el campus de la Universidad de los Andes se marca en el círculo negro.



Fig. 1.2. Ubicación del emplazamiento.

Como ya se mencionó anteriormente el alcance de la investigación estará acotado al sitio de la obra del edificio principal, se muestra la demarcación de este límite en la figura 1.3 por la línea roja.

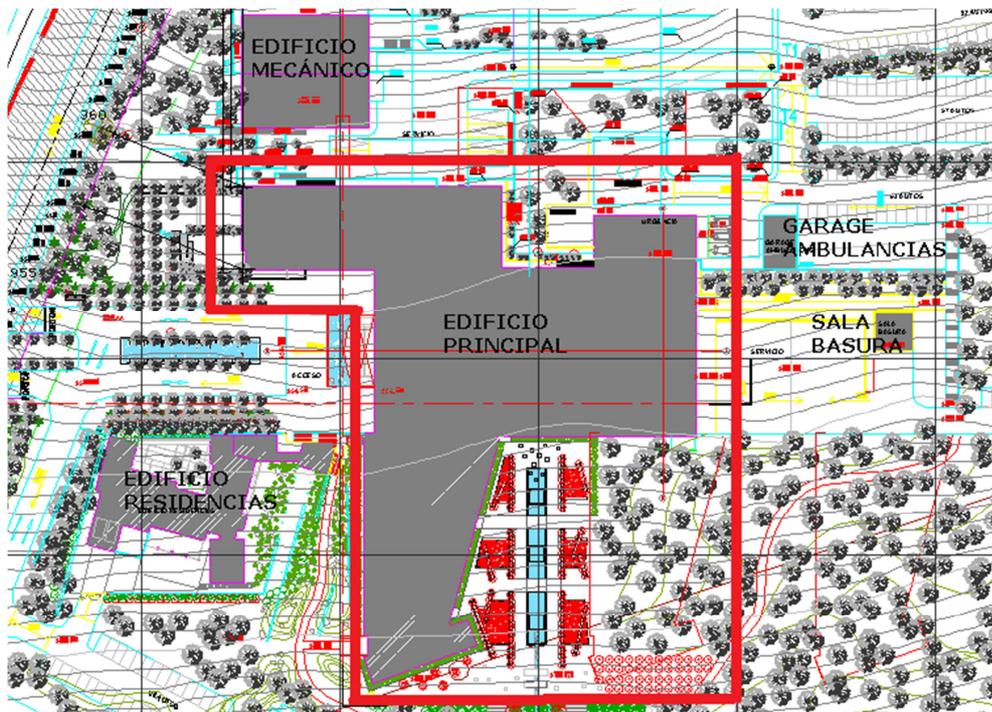


Fig. 1.3. Límite físico de la investigación.

1.10- Personal del Proyecto Involucrado en la Investigación.

Las observaciones en terreno fueron complementadas y validadas a través de los expertos trabajando en el sitio de obra. Entre ellos se tiene un Ingeniero Civil ocupando el cargo de Jefe de Instalaciones y Coordinador BIM, Constructores Civiles encargados de Oficina Técnica, Jefes de Obra, Jefes de Terreno y Capataces.

1.11- Resumen del Capítulo.

En el presente capítulo fueron detallados los principales aspectos que definen a la investigación. El desarrollo de la metodología propuesta comienza en el siguiente capítulo con la revisión de puntos de partida.

CAPÍTULO II: PUNTOS DE PARTIDA.

2.1- Introducción al Capítulo.

En el presente capítulo se incluyen los puntos de partida de la investigación, constituye una síntesis de la revisión bibliográfica efectuada. Se investigó la filosofía Green Building reparando en su marco conceptual y aspectos más relevantes como: la sustentabilidad, las certificaciones verdes y el análisis de ciclo de vida. Conjuntamente, fue revisada la filosofía Lean Construction, su marco conceptual y aplicación en el sector de la construcción además de las herramientas disponibles para esto, específicamente el MCV. De este último se investigaron sus características y método, además de los distintos reportes de investigaciones científicas disponibles en la materia.

2.2- Green Building.

2.2.1- Sustentabilidad en la Construcción.

En las últimas décadas el concepto de sustentabilidad ha tomado presencia poco a poco en las decisiones de los proyectos en general, debido a la preocupación de la humanidad por el daño que continuamente se ha venido produciendo en el planeta, entre estos se pueden nombrar el agotamiento de los recursos, la contaminación y el cambio climático. Se define la sustentabilidad de la siguiente manera:

“Sustentabilidad es satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”. (Comisión Mundial sobre el Medioambiente y el Desarrollo, 1987).

Además se precisa en el mismo documento que la sustentabilidad debe ser entendida integralmente en 3 dimensiones distintas: La social, económica y medioambiental, una filosofía de sustentabilidad se funda en la combinación de estas. Por otra parte forma parte de todo el ciclo de vida de un proyecto. Las etapas del ciclo de vida, según la Scientific Applications International Corporation o SAIC (2006), son: diseño y planificación, fabricación de materiales, construcción, operación y deconstrucción, esto se muestra en la figura 2.1. La presente investigación considerará los aspectos económicos y medioambientales de la filosofía Green Building, además se enfocará puramente en la etapa de construcción del proyecto.

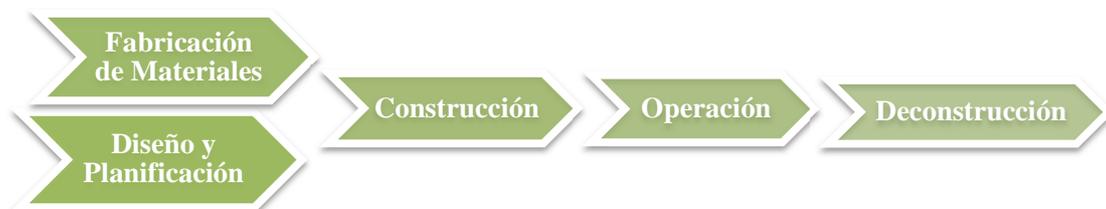


Fig. 2.1- Etapas de un proyecto de Construcción

El volumen de investigación e innovaciones para la construcción actual es grande, pero aún queda mucho por hacer. El objetivo, disminuir el impacto de los proyectos de construcción y hacerlos más sustentables. Para esto se debe trabajar por el desarrollo de cada una de las etapas de estos.

2.2.2- Marco Conceptual Green.

La Filosofía Green Building busca la minimización del impacto ambiental provocado por las edificaciones tanto en su construcción como operación y deconstrucción, creando ambientes más saludables y confortables para sus usuarios en el interior y exterior de la edificación, a través del desarrollo tecnológico y la educación de los usuarios (U.S. Green Building Council, 2009). El foco de interés para la presente investigación se encuentra en la etapa de construcción de las edificaciones, se presenta un marco conceptual para la filosofía Green Building en las etapas de diseño, planificación y construcción elaborado por Martínez et al. (2009).

- Reducir impacto en la extracción de recursos energéticos y materias primas.
 - Considerar la reutilización de materiales.
 - Pensar en el reciclaje como alternativa de construcción.
 - Uso de recursos renovables.
 - Conducir a la mínima extracción de recursos.
 - Uso eficiente de los recursos.
- Considerar buenas condiciones de construcción que aseguren el confort del usuario.
 - Ocupar materiales de baja emisión, ventilación eficiente (en términos de energía), eficiencia energética en general, satisfaciendo las necesidades de los ocupantes.
 - Reducción del ruido, contaminación y olores.
 - Hacer un uso restringido del suelo, reduciendo la fragmentación.
- Considerar una vida útil de la edificación más prolongada.
 - Uso de materiales y sistemas de energía que perduren en el tiempo.
- Aptitud que permita la deconstrucción.
 - Uso de modularización, prefabricación, preensamblaje, etc.
- Desarrollo de una buena logística de construcción.
 - Transporte y abastecimiento de materiales.
- Establecer mejoras en las condiciones de trabajo.
 - Provisión de equipamiento, materiales, transporte interno, recreación, seguridad y remuneración.
- Reducir la contaminación del lugar de la construcción y alrededores.
 - Evitar emisiones tóxicas, desechos sólidos y líquidos.

2.2.3- Certificaciones.

La puesta en práctica de esta visión se lleva a cabo hoy en día apoyándose en diversos procesos y herramientas, como son los sistemas de clasificación basados en consenso, rigurosas certificaciones y revisiones de terceros y recursos educativos. (Pyke, 2010); Estos se basan principalmente en criterios de evaluación del Terreno, Energía, Calidad del Ambiente Interior, Materiales y Recursos, y Eficiencia del Agua (Osses, 2004). Actualmente se han popularizado por sobre todo las certificaciones y el líder indiscutido es la certificación Leadership in Energy & Environmental Design (LEED), que provee de un marco de trabajo compuesto por distintas estrategias para implementar la filosofía Green Building y un sistema de evaluación del desempeño medioambiental y de salud en las edificaciones (U.S Green Building Council, 2009).

Dentro del paquete de estrategias LEED se destaca por su relevancia en la presente investigación el Manejo de Residuos Constructivos. La U.S. Green Building Council (2009) o USGBC declara que la intención de dicha estrategia es: desviar los desechos de la construcción y demolición de los vertederos o incineradores. Redirigir los recursos reciclables recuperados al proceso de manufactura y los materiales reusables a sitios apropiados. Dependiendo de la cantidad en peso o volumen de material reciclado o recuperado (que no fue a parar a vertederos o incineradoras), sea más del 50% ó del 75% se otorgan 1 ó 2 créditos LEED respectivamente (de un total de 100+10).

2.3- Análisis de Ciclo de Vida.

Según la SAIC (2006), El análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta para la evaluación ambiental de los sistemas productivos y presenta un enfoque de Nacimiento a Muerte de los productos, es decir parte con la extracción de la materia prima, pasando por el proceso productivo y concluyendo en el punto en que los materiales son devueltos a la tierra. Dicha herramienta provee de una comprensión más acabada de los impactos ambientales de los productos y de un criterio para toma de decisiones con mayor fundamento que un análisis tradicional.

En la presente investigación no se efectuará un ACV en ningún caso, sin embargo, se hará uso de ciertos procedimientos y metodología presente en dicha herramienta, además de la perspectiva con que se analizan los procesos para definir aspectos de la investigación como el volumen de control, materias primas, productos y subproductos de la construcción y abordar de mejor manera el problema de la detección y reducción de la pérdida medioambiental.

2.4 – Lean Construction.

2.4.1- Sobre la filosofía Lean.

La visión convencional de la producción consiste en que esta es una serie de distintos procesos de conversión que termina con la obtención de un producto. Según Shingo (1988) dicho enfoque no considera los flujos entre conversiones y promueve a que los esfuerzos por mejorar la producción se hagan enfocados en estos subprocesos aislados sin reflexionar sobre el impacto global de dicha mejora o el hecho de que probablemente se están invirtiendo parte de los esfuerzos en actividades que no agregan valor. Al trabajar con subprocesos aislados, estos

pierden la noción del cliente (no solo del cliente final, sino entendiendo cada subproceso consecuente como un cliente) y de sus requerimientos. Por esto frecuentemente se vuelven muy eficientes pero no eficaces, en el sentido de que pueden terminar produciendo mucho de algo que no alcanza los estándares de calidad requeridos o que no se necesitaba en tal cantidad. Las consecuencias de los problemas presentados anteriormente se traducen en materiales y productos desperdiciados, grandes inventarios, demoras en la planificación y trabajo re-hecho, entre otros. Más grave aún, este enfoque deja oculta las pérdidas y fomenta al esfuerzo por mejoras que no solucionan los problemas y muchas veces los potencian globalmente.

En las últimas décadas se produce un cambio de paradigma que ve a la producción como flujos, tanto de materiales como de información, la filosofía Lean toma las ventajas de esta visión y va incluso más allá, al entender la producción como una cadena de valor orientada a la satisfacción de sus clientes. Dicha filosofía se originó en la industria manufacturera por lo que su aplicación en construcción no es directa, de ahí se han efectuado una serie de esfuerzos por conseguir adaptaciones pertinentes que permitan su aplicación, el resultado es Lean Construction. Entre estos se pueden destacar los trabajos de Koskela (1992) y Ballard (2000).

Según Shinohara (1988) una producción Lean tiene como base lo siguiente:

- La búsqueda de una producción que permita obtener productos de calidad utilizando la menor cantidad de equipo y trabajo posible, en el menor plazo y dejando la menor cantidad de productos sin terminar posible.
- Considerar como desperdicio cualquier elemento que no contribuye a la calidad, precio o plazo de entrega requerido por el cliente y luchar por eliminarlos.

Otros conceptos relevantes dentro de la filosofía Lean son la producción Just in Time (JIT) y el Total Quality Management (TQM). JIT es un sistema que pretende producir sólo lo que se necesita, en las cantidades y momento justo en que se necesita. Por otra parte el TQM es una estrategia que fomenta el control de calidad en todos los procesos involucrados en la producción. Para más detalles ver Koskela. (1992).

2.4.2- La Producción Como Cadena de Valor.

El concepto de cadena de valor fue popularizado por Michael Porter (1985), corresponde a un modelo de los procesos involucrados en la producción de una empresa para agregarle valor al producto y satisfacer de esta manera las necesidades del cliente. El concepto es utilizado por las empresas para el desarrollo de planificación estratégica y el aumento de la competitividad.

La cadena de valor de un producto involucra tanto procesos de conversión como procesos de flujo, los procesos de flujo son fundamentalmente los movimientos, inspecciones y esperas, esta consideración trae grandes implicancias para la producción y su gestión. Un hecho es que a pesar de que todas las actividades generan costos y requieren tiempo, solo algunas generan valor. Se establece como principio que solamente las actividades de conversión son las que generan valor para el cliente, mientras que las de flujo a pesar de que puedan ser necesarias no lo hacen, en caso de que no sean necesarias se deben considerar como pérdidas en el sistema. El objetivo

de la administración debe apuntar a hacer más eficientes a las actividades de conversión y minimizar o eliminar las de flujo (Koskela 1992).

2.4.3- Conceptos y Aplicación.

La propuesta Lean es cambiar la visión de los proyectos de construcción a flujos de procesos, dentro de estos procesos se incluyen tanto los de diseño como los de construcción misma y estos se representan por flujos de actividades, materiales, información y equipos o personas. La administración orientada a flujos es capaz de prevenir en vez de corregir y a agregar valor al proyecto a través de considerar las necesidades de su cliente.

La implementación de la filosofía Lean en la construcción no es sencilla, el sistema convencional se encuentra enraizado y genera mucha conformidad debido a que oculta sus pérdidas y rechaza las mejoras y cambios. Tradicionalmente se dice que existen ciertas peculiaridades en la construcción que la diferencian de otras industrias, estas son: unicidad de los proyectos, producción en terreno, administración temporal e intervención regulatoria de las autoridades.

Dichas peculiaridades no impiden la aplicación de la filosofía lean en ningún caso pero deben realizarse esfuerzos por mitigar los problemas que estas acarrear. Koskela (1992) propone soluciones alineadas con la estandarización y sistematización del trabajo, utilización de piezas y partes pre-fabricadas, tecnología de información y fortalecer el grupo de trabajo, entre otros. Por otro lado, Ballard (2000) desarrolla la herramienta de Last Planner System como propuesta para la implementación de la filosofía.

Por último se establece el marco conceptual de Lean Construction con el cual se trabajará, elaborado por Koskela (2000).

- Mejorar
 - Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor.
 - Enfocar el control de los procesos al proceso completo.
 - Introducir el mejoramiento continuo de los procesos.
 - Referenciar permanentemente los procesos.

- Reducir Pérdidas
 - Reducir la participación de actividades que no agregan valor.
 - Reducir la variabilidad.
 - Incrementar la flexibilidad de las salidas.
 - Reducir el tiempo de ciclo.
 - Minimizar los pasos de manera de simplificar el proceso.
 - Incrementar la transparencia de los procesos.

- Valor-Cliente
 - Aumentar el valor del producto considerando los requerimientos del cliente.

2.5 – Mapeo de Cadenas de Valor.

2.5.1 Sobre la Cadena de Valor.

Según Rother y Shook (1999), la cadena de valor corresponde al flujo de actividades que son ejecutadas para entregar un producto a un cliente, desde el momento en que este hace un requerimiento hasta que lo recibe, dichas actividades pueden agregar valor a la cadena como no hacerlo. Se distinguen tres tipos de cadenas de valor:

- De Transformación: Representan procesos de fabricación, ensamblaje, construcción, servicios, etc.
- De Diseño/Desarrollo: Representan procesos de diseño o desarrollo de los productos, tecnologías e ideas.
- De soporte: Representan procesos que no agregan valor por si mismos pero que permiten agregar valor a los procesos que asisten, como por ejemplo selección de personal, control de calidad, abastecimiento de recursos, etc.

En la construcción, las actividades que agregan valor son las que generan un avance directo de obra o que soportan o preparan dichas actividades. Por otra parte, las que no agregan valor son esperas, errores, procesos y traslados innecesarios.

2.5.2 Mapeando la cadena.

El mapeo de Cadenas de Valor o MCV es una metodología Lean utilizada para detectar y eliminar las pérdidas en un sistema de producción, su metodología se construyó con el objeto de aplicarla a la industria manufacturera. El esquema de implementación de la herramienta se resume en la figura 2.2.

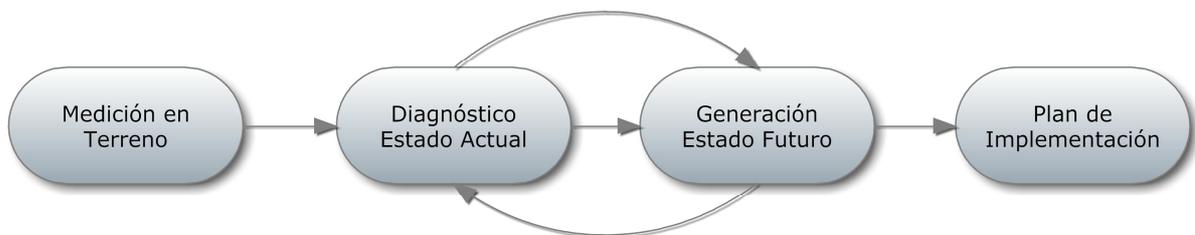


Fig. 2.2. Metodología del MCV (Rother y Shook, 1999).

La metodología comienza con elegir una familia de productos dentro de todas las que se producen en el lugar de trabajo y enfocar el análisis sólo en esta. Luego, se pasa a mapear la situación de producción actual, esto se realiza recorriendo físicamente la cadena de valor y registrando datos en terreno que permitan obtener indicadores del estado del proceso. Dentro de los típicos indicadores utilizados se encuentra el tiempo de ciclo, tamaño del lote, tiempo de valor agregado, tiempo de espera, porcentaje completo y preciso, etc. El mapa debe representar fielmente tanto el recorrido de cada unidad de producto a través de la cadena de valor como el de la información que circula entre el control de producción (interno) y los proveedores, clientes o entes reguladores. El recorrido de las unidades de producto se dibuja en la mitad inferior del mapa y fluye de izquierda a derecha, comenzando con el transporte de material desde el

proveedor hasta la entrega al cliente. El flujo de información se dibuja en la mitad superior, de derecha a izquierda, surgiendo desde el cliente hasta llegar al proveedor, los diagramas se deben realizar con una simbología estándar (Rother y Shook, 1999). Algunos conceptos relevantes del MCV se detallan en la tabla 2.1.

Luego de confeccionado el mapa, este pasa a ser analizado para detectar las fuentes de pérdidas en la cadena y proponer mejoras. Con esto se mapeará un estado futuro idealizado de la cadena de valor fundado en el marco conceptual de una producción Lean. El último paso consiste en desarrollar un plan de implementación con metas y objetivos claros para materializar el estado futuro a través de continuas mejoras en la cadena de valor.

Tabla 2.1. Conceptos del MCV.

Concepto	Significado
Flujo Empujado	Flujo de producción en el cual se intenta que cada proceso produzca la máxima cantidad de unidades posible y empuje dicha producción aguas abajo de la cadena de valor.
Inventario	Son las unidades de producción acumuladas entre procesos.
Pasillo PEPS	Flujo de producción en el cual la primera unidad en entrar es la primera en salir.
Evento Kaizen	Una operación de carácter ágil para implementar determinadas mejoras.
Tarjeta Kanban	Una señal que indica la necesidad de producción o retiro de unidades.
Flujo halado	Un flujo de producción en el que se intenta que cada actividad produzca sólo lo que su actividad cliente necesita. El flujo es halado hacia aguas abajo.
Supermercado	Una bodega controlada y expuesta a la vista para guardar pequeñas cantidades de inventario con el fin de absorber la variabilidad del sistema.

2.5.3- Fuentes de Pérdidas y Estado Futuro.

La confección de los mapas no sirve de nada sin el análisis posterior y la obtención de conclusiones útiles. Uno de los aspectos más importantes al analizar el estado actual de la cadena es la identificación de pérdidas. Típicamente se identifican 7 pérdidas productivas distintas para la industria manufacturera:

- 1- Sobre-producción
- 2- Inventarios
- 3- Errores y defectos
- 4- Esperas
- 5- Movimientos y Transporte
- 6- Sobre-procesamiento
- 7- Personal Ocioso

Se pretende que el estado futuro no tenga dichas pérdidas y que las mejoras introducidas al proceso apunten a ir reduciéndolas con metas aterrizadas y muy claras, detectables por los indicadores de los mapas. Se debe intentar crear un flujo continuo, reduciendo la cantidad de pasos o fusionando unos con otros, eliminando interrupciones, reduciendo los lotes y siguiendo un ritmo estable y definido por los requerimientos del cliente (Rother y Shook, 1999).

2.5.4 – Incorporando la Dimensión Medioambiental.

Uno de los más actuales desarrollos en las técnicas de MCV es la inclusión del factor medioambiental en los criterios de decisión, esto es algo que se ha dejado continuamente de lado en la aplicación de MCV pero que es posible de incorporar sin entrar en conflictos conceptuales.

Las pérdidas medioambientales consisten en el sub-aprovechamiento de los recursos inyectados al sistema y en los desechos y emisiones generados por el proceso (subproductos) y el producto mismo. De acuerdo con la United States Environmental Protection Agency (EPA, 2007b), su eliminación puede llevar a un aumento en la eficiencia de la producción, reducciones de las restricciones regulatorias medioambientales y a su vez otorgar ventaja competitiva al proveer a los clientes de productos con menor impacto ambiental y mejorando las condiciones de trabajo para los empleados. El objetivo es fusionar las dimensiones productivas y medioambientales generando paquetes de mejoras integrales y motivando al personal a trabajar en ambas líneas.

La EPA (2007b) establece a su vez relaciones entre las primeras 6 pérdidas Lean y el impacto ambiental que generan:

- 1- Sobre-producción**
 - Mayor consumo de recursos para producir productos innecesarios.
 - Productos extra pueden deteriorarse o quedar obsoletos requiriendo su descarte.
 - Material peligroso extra aumenta las emisiones y la exposición de los trabajadores.

- 2- Inventarios**
 - Mayor cantidad de empaquetamiento para almacenar el trabajo incompleto.
 - Desperdicios por deterioro o daño del trabajo incompleto.
 - Mayor necesidad de recursos para reemplazar el trabajo incompleto que está dañado.
 - Mayor cantidad de energía para climatizar e iluminar espacios de almacenamiento.

- 3- Errores y defectos**
 - Mayor consumo de recursos para producir productos defectuosos.
 - Componentes defectuosos requieren de ser reciclados o descartados.
 - Espacios para rehacer y reparar consumen energía de climatización e iluminación.

- 4- Esperas**
 - Potencial deterioro de materiales o componentes causando desperdicios.
 - Gasto de energía en climatización e iluminación durante tiempos de espera.

5- Movimientos y Transporte

- Gasto de energía para el transporte de insumos, personas y otros.
- Emisiones del transporte.
- Mayor espacio requerido para mover el trabajo incompleto, aumenta el gasto energético de climatización e iluminación.
- Empaquetamiento requerido para proteger los componentes durante movimientos.
- Daños y derrames durante el transporte.
- Transporte de material peligroso requiere de empaquetamiento y protección especial.

6- Sobre-procesamiento

- Más partes y recursos consumidos por unidad de producción.
- Procesos extra consumen más energía y generan emisiones y desperdicios.

2.6- Experiencias Previas.

2.6.1- MCV en Construcción.

Las experiencias de MCV en la construcción hasta la fecha, no son muchas, y se ha constatado que las que existen son principalmente investigaciones académicas, algunos ejemplos de experiencias con cadenas de diseño o de soporte son: cadena de suministro para la construcción de tuberías, Arbulu (2002) y gestión de requerimiento de materiales para la construcción de plataformas petroleras, Bevilacqua (2008).

Estas experiencias no se encuentran con mayores complicaciones a la hora de implementar el MCV y logran mejorar sus cadenas de manera satisfactoria al disminuir el tamaño de sus lotes de trabajo, flexibilizar los flujos de información, entrar en ritmo con el requerimiento de sus clientes, etc. Otras experiencias se orientan a cadenas de transformación e intentan buscar procesos de carácter repetitivo, como por ejemplo: instalación de ventanales en un edificio, Fontanini (2004) y construcción de viviendas idénticas, Yu (2009).

Todas las experiencias mencionadas logran realizar adaptaciones del MCV para su situación en particular al definir unidades de producción, inventarios e indicadores adecuados. Así, implementan exitosamente la herramienta, consiguiendo optimizar sus cadenas de valor a través de crear flujos más continuos, disminuir los lotes, minimizar las actividades que no agregan valor y mejorar las que sí, entrar en un ritmo productivo marcado por el requerimiento de las actividades sucesoras, mejorar sus flujos de información y gestión de requerimiento de materiales.

Es importante rescatar de estas experiencias las adaptaciones metodológicas que se hicieron, por ejemplo, con respecto al tratamiento de la unidad de producción en el caso de la construcción de viviendas es sencillo tomar la unidad como una vivienda, así mismo para los ventanales, pero en otro estudio de caso enfocado a muros de albañilería, Pasqualini (2005), se debió usar m^2 . Estas mismas unidades son utilizadas para el análisis de los inventarios. El inventario corresponde a las unidades de producción en espera de la ejecución del proceso siguiente. Todos estos cambios serán considerados para la realización de la presente experiencia, además de los indicadores y la metodología para captura y procesamiento de datos, mientras sean adecuados para el caso en particular.

2.6.2- MCV con Dimensión Medioambiental.

Existen diversas compañías dentro de la industria manufacturera que llevan aplicando MCV regularmente en sus procesos y han intentado recientemente incorporar la dimensión medioambiental en sus análisis (EPA, 2007b). Sus experiencias han sido satisfactorias al constatar que la herramienta sí es capaz de revelar muchas de sus pérdidas medioambientales, permitiéndoles así mejorar sus cadenas en este sentido. Conjuntamente pudieron constatar que las mejoras provenientes de sus antiguos análisis, que incluían sólo dimensiones productivas, muchas veces también afectaban positivamente la dimensión medioambiental a pesar de que la herramienta no detectaba las pérdidas de esta índole (EPA, 2007b). Análogamente resultó de sus últimas experiencias que al añadir la dimensión medioambiental, las mejoras propuestas frecuentemente incidían positivamente en la dimensión productiva de sus cadenas de valor. De este modo verificaron que para la industria manufacturera, la inclusión de la dimensión medioambiental al MCV es provechosa, puede aplicarse y proveer de mejoras sustanciales sin entrar en mayores complicaciones. En la construcción existe poca investigación en este sentido y no hay mayor experiencia aplicada.

2.7- Resumen del Capítulo.

Se revisó la bibliografía pertinente con el fin de apoyar la investigación en el marco conceptual de las filosofías Green Building y Lean Construction, investigar el MCV y absorber las experiencias previas de su aplicación en la construcción. El siguiente capítulo constituye el desarrollo del estudio de caso.

CAPÍTULO III: PLANEAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL MCV.

3.1- Introducción al Capítulo.

En el presente capítulo se desarrollan las adaptaciones pertinentes al MCV, definición de los indicadores a calcular y los datos necesarios de recopilar en terreno para lograrlo. Además se detallan el procedimiento para obtener y registrar estos datos y la metodología de cálculo establecida para cada indicador. Se presentan conjuntamente, los mapas del estado actual junto a un detallado análisis de estos, además de los mapas del estado futuro y las recomendaciones para alcanzarlo. En la figura 3.1 se muestra un esquema de los pasos a desarrollar en el capítulo.



Fig. 3.1. Esquema de trabajo.

3.2- Adaptaciones al MCV.

Como se ha mencionado anteriormente, para lograr una adecuada implementación del MCV en la construcción es necesario realizar ciertas adaptaciones y decisiones previas. Estas son fundamentalmente las siguientes:

- 1- Elegir la familia de productos a estudiar.
- 2- Elegir los procesos involucrados en la cadena de valor.
- 3- Definir unidades fluyendo por la cadena de valor.
- 4- Definir formato y simbología de los mapas.
- 5- Definir indicadores a considerar.
- 6- Establecer metodología de recopilación de datos en terreno.
- 7- Medición de Inventarios.

Primeramente, se debe definir qué familias de productos se mapearán debido a que mapear todo lo que sucede en el sitio de construcción es poco factible. Se han definido por tanto 5 familias de productos que corresponden a los elementos constructivos siguientes: losas, columnas, muros, radiers y fundaciones. Esta elección se basó en que durante el periodo de observación, estos eran los principales elementos de obra gruesa que se estaban construyendo.

Conjuntamente, se deben identificar los procesos involucrados en la cadena de valor de estas familias de productos, estas corresponden a actividades constructivas. Se listan en la tabla

3.1 las actividades constructivas a considerar por elemento. Se definieron las actividades principales como aquellas vinculadas a enfierradura, hormigón y encofrado o cimbra y el resto como secundarias. Se realiza esta distinción debido a que en las actividades principales es donde se invierte la mayor de cantidad de tiempo y recursos, por esto se analizaron con mayor especificidad.

Tabla 3.1. Actividades por elemento.

Elementos	Actividades Principales	Actividades Secundarias
Losas	Colocación de cimbra	Colocación de cables de postensado.
	Colocación de enfierradura	Colocación de recubrimientos e instalaciones especiales
	Vertido de hormigón	Terminación de losas
Muros y columnas	Colocación de enfierradura	Colocación de recubrimientos
	Colocación de encofrado	Retiro de encofrado
	Vertido de hormigón	-
Fundaciones	Colocación de enfierradura	Excavación de zapata
	Vertido de hormigón	Construcción del emplantillado
Radieres	Colocación de enfierradura	Construcción suelo base
	Vertido de hormigón	Terminación de radier

Otro punto importante es identificar cuáles son las unidades que fluyen por el proceso productivo. Estas se denominan unidades de flujo y dependen del elemento constructivo a mapear. Se definió en este caso que, si se trata de columnas entonces fluirán metros lineales (mL), en el caso de muros serán metros cuadrados de contorno (m^2), en el caso de fundaciones metros cúbicos de volumen (m^3) y en el caso de losas, metros cuadrados de superficie (m^2).

Se modificó levemente el formato de presentación de los mapas y la simbología descrita en la literatura de MCV (Rother y Shook, 1999), con el fin de adecuarlo de mejor manera a la investigación. Esto se presenta en la sección 3.3.

Se tomaron algunos indicadores del MCV en manufactura en la medida que resultaran factibles de ser medidos y aportaran información coherente y útil para los procesos constructivos mapeados. Otros fueron ideados especialmente para el caso, procurando que sean replicables en cualquier proyecto de construcción. Los indicadores se detallan en la sección 3.4.

La metodología de medición se debió modificar con respecto al MCV en manufactura. Se realizó a través de rondas de 5 minutos entre distintas actividades sucediendo simultáneamente. Se detalla sobre esto en la sección 3.5.

El cálculo del inventario entre actividades no es tan sencillo en construcción como contar las unidades almacenadas en una bodega, de hecho se constató que el problema es complejo por lo que fue necesario idear una metodología de medición y cálculo a través del avance semanal de obra, esto se detallará a cabalidad en la sección 3.6.

3.3- Formato y simbología de los mapas

Para una mejor comprensión de los mapas se presenta uno a modo de ejemplo para la cadena de valor de muros en la figura 3.2. Se ha demarcado con rectángulos de colores (que no forman parte del mapa original) los distintos sectores presentes en el mapa, estos se detallan a continuación:

- 1- Sector de materias primas: En la figura 3.2 se marca en celeste. Incluye las distintas materias primas ingresando al sistema transportadas desde las plantas proveedoras hasta el sitio de la obra.
- 2- Sector de flujos de información: En la figura 3.2 se marca en verde. Incluye los distintos flujos de información entre los actores involucrados a través de flechas que van de derecha a izquierda.
- 3- Sector de salida de productos: En la figura 3.2 se marca en azul. Incluye los productos ya procesados por la cadena de valor entregándose a sus clientes respectivos.
- 4- Sector de flujos de material: En la figura 3.2 se marca en rojo. Incluye las unidades de productos fluyendo de izquierda a derecha a través de las distintas actividades de la cadena de valor. Cada casilla de actividades tiene asociada una casilla de indicadores en donde se muestran todos los indicadores calculados para dicha actividad. Las actividades se enlazan a través de un símbolo que indica el tipo de flujo de producción (ya sea flujo empujado, halado, continuo o PEPS), además del inventario acumulado.
- 5- Sector de línea de tiempo: En la figura 3.2 se marca en violeta. Incluye la línea de tiempo de la cadena de valor y la casilla con los indicadores de tiempo finales, el tiempo de ciclo total (TCT), tiempo de valor agregado (TVA) y porcentaje de valor agregado (PVA).
- 6- Sector de ayudas de lectura: En la figura 3.2 se marca en naranja. Incluye el cuadro de leyendas para el indicador de cumplimiento del programa y el cuadro de nombres cortos para los indicadores

La simbología de los mapas se presenta en la figura 3.2, Esta corresponde a la definida por Rother y Shook (1999), con excepción de la presentación del indicador de cumplimiento del programa que fue desarrollado por el autor de la investigación. Se trata de un gráfico que expresa el porcentaje en que una actividad dada es terminada de manera adelantada, justo a tiempo o atrasada con respecto al programa maestro.

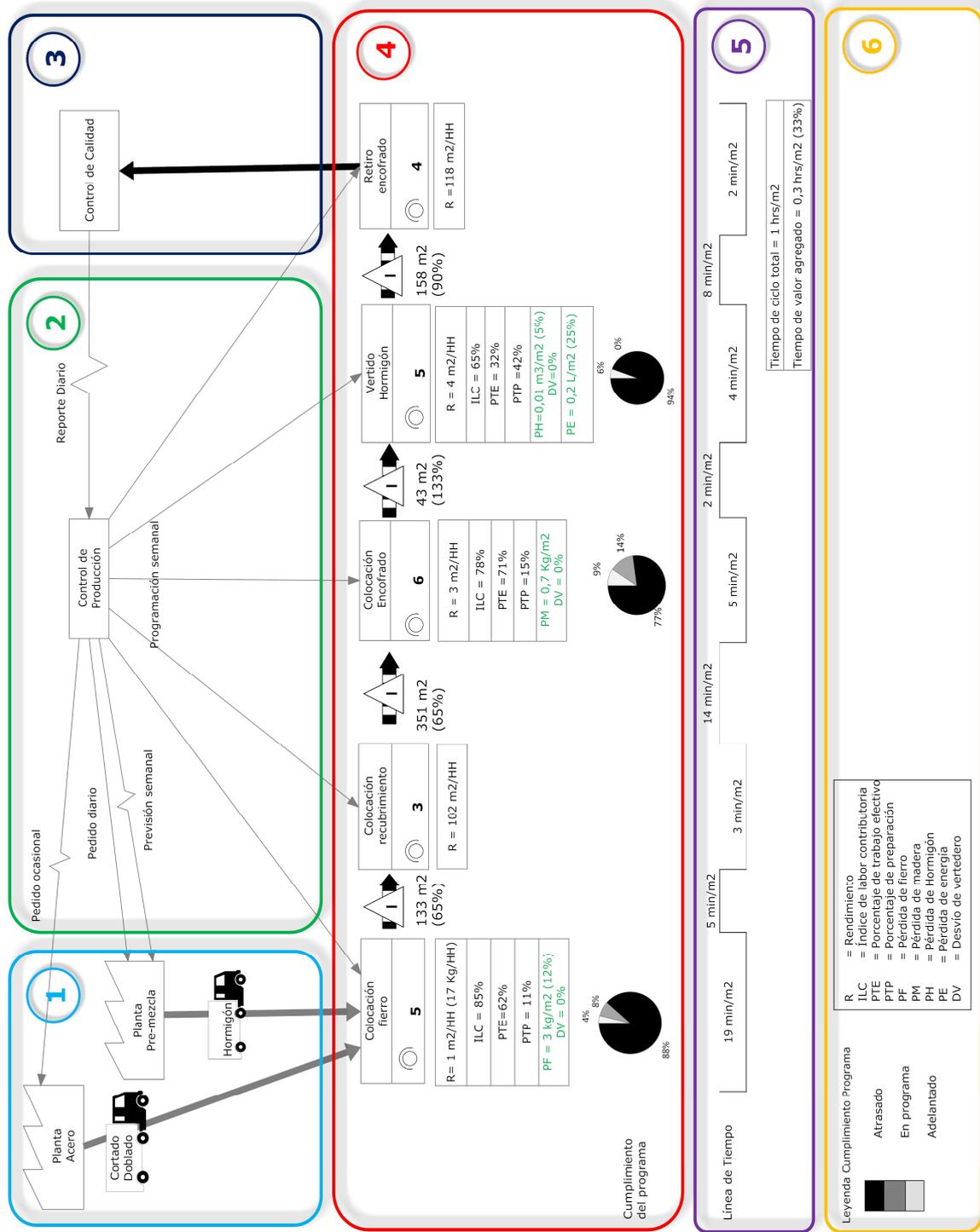
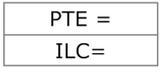
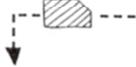
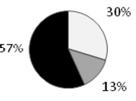


Fig. 3.2. Formato de mapas.

Tabla. 3.2 Simbología de los mapas.

Símbolo	Nombre	Significado
	Agente Externo	Representa un proveedor o cliente.
	Actividad	Representa una actividad procesando unidades.
	Flujo Empujado	Representa unidades siendo empujadas por la producción de una actividad.
	Supermercado	Representa un supermercado Kanban.
	Inventario	Representa el inventario acumulado.
	Control de Producción	Representa la entidad en control de la producción.
	Información manual	Representa un flujo de información por medios manuales.
	Información electrónica	Representa un flujo de información electrónica.
	Puesto Kanban	Representa un depósito de tarjetas Kanban.
	Línea de tiempo	Muestra en sus valles el tiempo de actividades que agregan valor y en los montes el de las que no.
	Casilla de datos	Contiene los indicadores correspondientes a la actividad.
	Transporte	Representa el transporte de material de un lugar externo, al sitio de obra.
	Kanban de retiro	Representa el flujo de tarjetas Kanban de retiro.
	Evento Kaizen	Representa un evento Kaizen y las mejoras a implementar.
	Operario	Representa un operario ejecutando una actividad.
	Cumplimiento del programa	Muestra en blanco el porcentaje de actividades terminando adelantadas respecto al programa, en gris las justo a tiempo y en negro las retrasadas.

3.4- Definición de Indicadores y Datos Necesarios.

Se definieron los indicadores a incluirse en los mapas y el método de cálculo, estos determinaron el conjunto de datos necesarios de ser recopilados en terreno. Los datos a medir directamente en terreno se presentan en la tabla 3.3

Tabla 3.3. Datos a medir en terreno.

Nombre	Abrev.	Un.	Significado
Identificación	ID	-	Identificación del elemento de acuerdo a su ubicación.
Fecha de Inicio	FI	dd-mm	Fecha de inicio de la actividad constructiva.
Fecha de Término	FT	dd-mm	Fecha de término de la actividad constructiva.
Tiempo de Inicio	TI	h:mm	Tiempo de inicio de la actividad constructiva.
Tiempo de Término	TT	h:mm	Tiempo de término de la actividad constructiva.
Tiempo de Monitoreo	TM	min.	Tiempo de monitoreo en terreno de la actividad.
Tiempo de Esperas	TE	min.	Tiempo de esperas durante el monitoreo de la actividad.
Tiempo de Preparativos	TP	min.	Tiempo de actividades preparativas.
Número de Operarios	#O	Un.	Número de operarios involucrados directamente en la actividad.
No Hábiles	NH	días	Días no hábiles durante el periodo de desarrollo de la actividad.
Días de suspensión	DS	días	Días que la actividad se encuentra suspendida durante el periodo de desarrollo de la actividad.
Duración Total	DT	horas	Duración de la actividad.
Perímetro	P	mL	Perímetro del elemento constructivo
Superficie Transversal	ST	m ²	Área normal a la horizontal del elemento constructivo.
Superficie de Contorno	SC	m ²	Área normal a la vertical del elemento constructivo.
Altura	H	mL	Altura del elemento constructivo.
Volumen	V	m ³	Volumen del elemento constructivo.
Fecha Actividad Siguiente	FAS	dd-mm	Fecha de inicio de la actividad siguiente.
Espera en Inventario	EI	horas	Tiempo de espera del elemento en inventario.
Volumen Camiones	VC	m ³	Volumen transportado por los camiones destinados hormigonar los elementos.
Tiempo Encendido de la Bomba	TB	h:mm	Tiempo en que la bomba de hormigonado es encendida.
Tiempo de Hormigonado	TH	h:mm	Tiempo de inicio del vertido de hormigonado.

Los datos obtenidos en terreno se utilizaron para calcular una serie de indicadores a incluir en los mapas de estado actual del proceso constructivo, algunos de estos se han estructurado para evaluar el desempeño productivo del proceso y otros el medioambiental. Se muestran de manera separada en las tablas 3.4 y 3.5.

Tabla 3.4. Indicadores de productividad.

Nombre	Abrev.	Un.	Significado
Duración	D	min	El tiempo que tarda en realizarse una actividad por unidad de flujo. Cuantifica la inversión de tiempo por actividad.
Porcentaje de tiempo de preparativos	PTP	%	Corresponde a la porción de tiempo sobre la duración de una actividad, en la cual se está realizando trabajos preparativos.
Porcentaje de trabajo efectivo	PTE	%	Corresponde a la porción de tiempo sobre la duración de una actividad, en la cual se está realizando algún trabajo contributivo. Cuantifica el aprovechamiento del tiempo.
Índice de labor contributiva	ILC	%	Entrega el porcentaje de la cuadrilla de operarios que están realizando algún tipo de trabajo a través de una muestra de tiempo arbitraria en el transcurso de una actividad. Cuantifica el aprovechamiento de la mano de obra.
Rendimiento	R	$\frac{dim.}{HH}$	Avance directo obtenido por cantidad de horas-hombres invertidas. Cuantifica la eficiencia de la mano de obra.
Espera en inventario	EI	horas	El tiempo que debe esperar un elemento desde que termina de ser procesado por una actividad hasta que lo toma la siguiente. Cuantifica los tiempos que no agregan valor en la cadena.
Tiempo de ciclo total	TCT	Días	Tiempo que demora una unidad de flujo en recorrer la cadena de valor completa. Cuantifica la duración total de la cadena.
Tiempo de valor agregado	TVA	Días	Suma de tiempos de la cadena de valor en los que se agrega valor al producto. Cuantifica el tiempo que agrega valor a la cadena.
Porcentaje de valor agregado	PVA	%	Entrega el porcentaje de tiempo que representa el TVA sobre el TCT. Cuantifica el aprovechamiento total del tiempo en la cadena de valor.
Cumplimiento del Programa	CP	%	Indica si la actividad termina justo a tiempo, atrasada o adelantada. Cuantifica la calidad de los compromisos.

Tabla 3.5. Indicadores medioambientales.

Nombre	Abrev.	Un.	Significado
Pérdida de fierro	PF	$\frac{Kg}{Dim.}$	Cantidad de fierro desperdiciado con respecto al necesario de instalar. Cuantifica el aprovechamiento de material.
Pérdida de fierro Porcentual	PF%	%	Muestra la pérdida de manera porcentual.
Pérdida de hormigón	PH	$\frac{m3}{Dim.}$	Cantidad de hormigón desperdiciado con respecto al necesario para llenar el elemento. Cuantifica el aprovechamiento de material.
Pérdida de hormigón Porcentual	PH%	%	Muestra la pérdida de manera porcentual.
Pérdida de madera	PM	$\frac{Kg}{Dim.}$	Cantidad de madera desperdiciada con respecto al necesario para encofrar o cimbrar el elemento. Cuantifica el aprovechamiento de material.
Pérdida de energía	PE	$\frac{Litros}{Dim.}$	Cantidad de combustible desperdiciado en el bombeo de hormigón para llenar un elemento. Cuantifica el aprovechamiento del combustible.
Pérdida de energía Porcentual	PE%	%	Muestra la pérdida de manera porcentual.
Desvío de vertedero	DV	%	Porcentaje de material desperdiciado en volumen que a través de reciclaje o re-uso, se desvía de vertedero.

La unidad dim. Hace referencia a las dimensiones espaciales del elemento, ya sean mL, m² o m³.

3.5- Obtención de Datos en Terreno

Los datos utilizados para la confección del estudio de caso fueron obtenidos en terreno en la obra “Clínica Universidad de los Andes” a través de visitas diarias en un periodo cercano a dos meses, comprendidos entre el 13 de julio y el 16 de septiembre. Dichas mediciones fueron realizadas por el mismo autor del trabajo.

Los elementos constructivos observados en las mediciones fueron: Losas y capiteles, columnas, muros, radieres y fundaciones. La clasificación entre actividades primarias y secundarias incide en el nivel de detalle con el cual se observaron estas. Para cada elemento constructivo se realizaron varios eventos de medición, con el fin de obtener valores promedio de los parámetros necesarios para el cálculo de los indicadores a incluir en los mapas de cadenas de valor.

Equipos: Para la realización de las mediciones en terreno se utilizó cronómetro con el propósito de medir los tiempos de ejecución de las actividades. Conjuntamente, se utilizó como respaldo al registro de residuos de la construcción una cámara fotográfica.

Método de registro: Para registrar las mediciones de los distintos eventos de construcción de los elementos considerados se llenan casillas de datos que incluyen todos los parámetros necesarios para el cálculo posterior de indicadores. Se presentan estas casillas con datos a modo de ejemplo.

Casilla de datos principales: Incluyen los parámetros principales a medir en cada evento de construcción, ver tabla 3.6.

Tabla 3.6. Casilla de datos principales

Indicador	Registro	Unidad
ID	FU D11	-
FI	12-jul	dd-mm
FT	12-jul	dd-mm
TI	8:00	h:mm
TT	15:00	h:mm
TM	30	min
TE	0	min
TP	10	min
#O	5	Un.
NH	0	Días
DS	0	Días

Casilla de datos dimensionales: describe las dimensiones del elemento

Tabla 3.7. Casilla de datos dimensionales

Indicador	Valor	Unidad
P	12	mL
ST	8,99	m2
H	1	ml
SC	12	m2
V	8,99	m3

Casilla de datos de inventario: Describe el tiempo que el elemento pasa inventariado esperando a la siguiente actividad en su cadena de valor, se mide directamente en terreno.

Tabla 3.8. Casilla de datos de inventario

Indicador	Valor	Unidad
FAS	13-jul	dd-mm
EI	0,9	Días

Casilla de labor contributiva: Registra en intervalos de 5 minutos cuando los operarios no realizan trabajo contributivo de ningún tipo.

Tabla 3.9. Casilla de ocupación de operarios

O	Tiempo (min)													
	5	10	15	20	25	-	35	40	45	50	55	60	65	-
1			x										x	
2											x			

O: Operarios

X: Intervalo de tiempo no contributorio.

Casilla de pérdida de hormigón: Registra la pérdida de hormigón en las actividades de vertido de este.

Tabla 3.10. Casilla de pérdida de hormigón

ID	V (m3)	VC (m3)
FU C11	8,9	5,0
FU C12	8,9	5,0
FU D12	9,5	5,5
-	-	7,0
-	-	7,0
Total	27,4	29,5
Pérdida (m3)	2,1	-

Casilla de pérdida energética: Registra la pérdida energética producida por la marcha innecesaria del motor de la bomba de hormigón en las actividades de vertido de hormigón.

Tabla 3.11. Casilla de pérdida energética

Indicador	Valor	Unidad
TB	8:30	h:mm
TH	9:00	h:mm

La diferencia entre estos tiempos, sumado al tiempo muerto durante el desarrollo de la actividad entrega un tiempo de gasto energético TG.

Registro de avances: Se llevó un registro de avance porcentual en intervalos semanales de cada actividad y elemento constructivo con el fin de elaborar las líneas de balance pertinentes, estas se utilizaron para el cálculo de inventarios explicado más adelante. Para facilitar el registro, basándose en el concepto de Work Breakdown Structure (Hagan 2002), se realizó una división por sectores de la obra. Se presenta en la figura 3.3 un esquema indicando la división utilizada.

Se puede notar de la figura que la planta se ha dividido en 2 sectores, denominados sector 1 y sector 2. A su vez estos han sido subdivididos en pequeños subsectores, el sector 1 se dividió en 6 subsectores y el sector 2 en sólo 4. Se llevó el avance global de la obra por elemento y actividad realizando una suma ponderada entre el avance en cada subsector según un peso definido por la cantidad de obra en estos.

Dependiendo del elemento constructivo se define cuanto es el total de cantidad de obra. Para columnas y muros corresponde a todas las elevaciones comprendidas entre el nivel -4 y -3. Para losas corresponde a la planta de losas del nivel -4. Para radieres y fundaciones la planta de nivel de terreno.

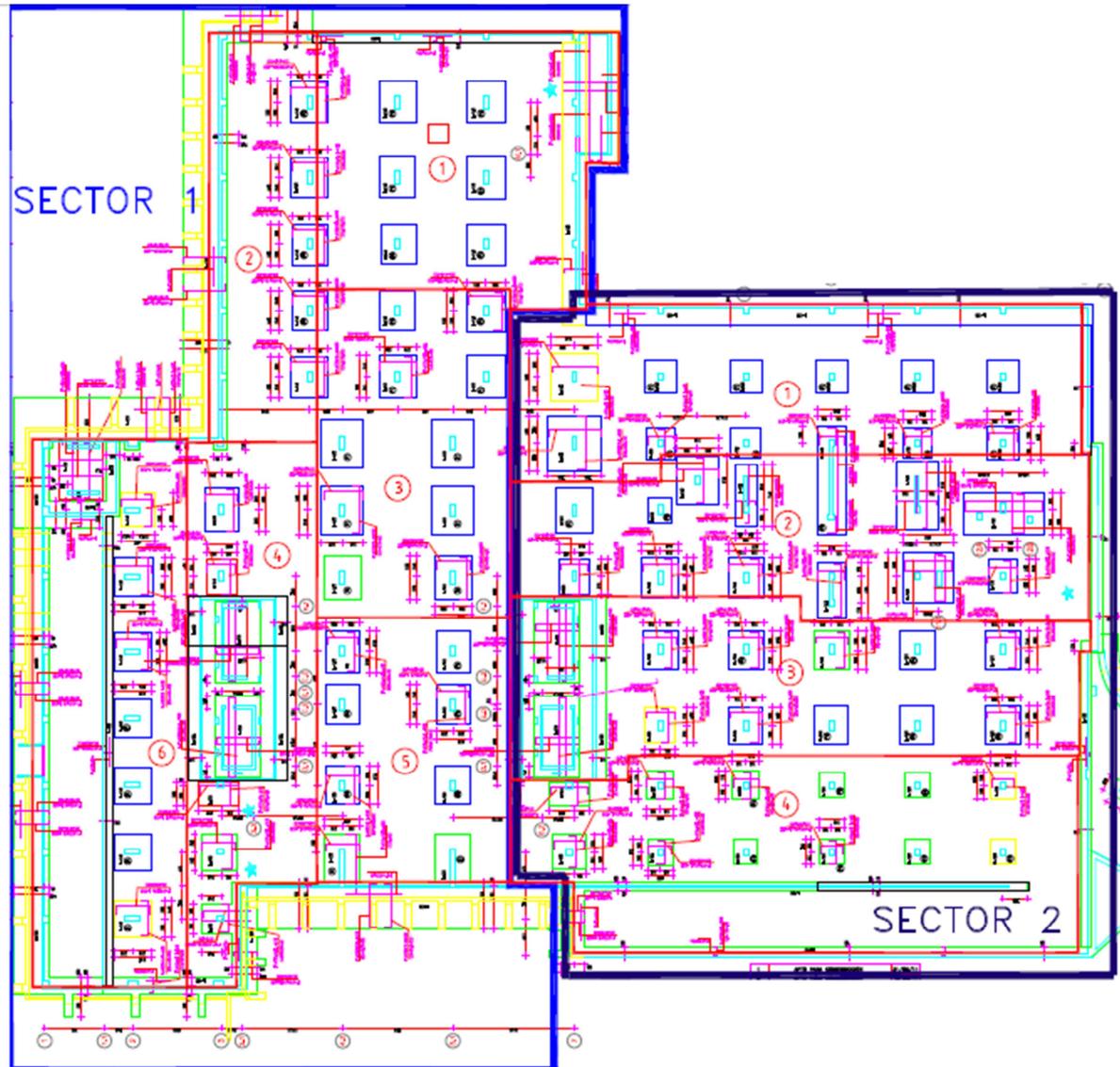


Figura 3.3. División por sectores en cuarto subterráneo

Registro de residuos: Se llevó un registro diario del volumen de residuos por material generado en obra. La estimación se hizo por inspección visual y se respalda con fotografías. También se registraron los retiros de contenedores de residuos con el fin de estimar la generación total de estos durante el periodo de toma de datos. Se presenta en el fragmento de la tabla 3.12 un registro de ejemplo para el contenedor 1.

Tabla 3.12. Registro de residuos para el contenedor 1

Material	13-jul	14-jul	15-jul	16-jul	17-jul	18-jul
	m3					
Madera	40	0	0	0	0	0
Tierra/piedras	30	25	25	25	25	50
Hormigón	30	25	30	30	30	50
Plástico	0	0	0	0	0	5
fierros	0	0	0	0	0	2
Papel/Cartón	0	0	0	0	0	0
Orgánicos	0	0	0	0	0	0
Ladrillos	0	0	0	0	0	0
Vidrios	0	0	0	0	0	0
Total	100	50	55	55	55	107
Retiro	1	-	-	-	-	-

Observar que el evento de retiro del contenedor se marca con el número 1.

Este registro continúa a lo largo de todo el periodo de toma de datos y se realizó para cada uno de los 3 contenedores disponibles en obra. Los datos recopilados en terreno se incluyen en el Anexo B de este informe.

Se presenta a modo de ejemplo en la figura 3.4, una fotografía de registro de residuos para el contenedor 2 el día 22 de agosto.



Fig. 3.4. Registro de residuos

3.6- Procesamiento de datos

3.6.1- Metodología para el Cálculo de Indicadores de Productividad

Se calcularon los distintos indicadores para cada elemento monitoreado en terreno. Los indicadores finales se definieron como el promedio obtenido a partir de todas las mediciones realizadas. Se entrega el detalle para el cálculo de los indicadores de productividad descritos en la tabla 3.4.

Duración (D): Se calcula dividiendo la duración total DT sobre las unidades de flujo procesadas en dicha actividad. DT se estima como la diferencia de horas de trabajo que existen entre el inicio y el término de una actividad. Las horas de trabajo corresponden a aquellas comprendidas entre las 8:00 y 13:00 hrs. y 14:00 y 18:00 hrs. de los días hábiles.

Ejemplo: Si transcurren 9 horas de trabajo para instalar el fierro en una columna de 3 metros entonces,

$$D = 9 \text{ hrs}/3 \text{ mL} = 3 \text{ hrs/mL}$$

Porcentaje de Tiempo de Preparativos (PTP): Se calcula como el porcentaje de tiempo que representa el tiempo de preparativos TP sobre la duración total DT.

(Ec. 1)
$$PTP = \frac{TP}{DT} \times 100$$

Porcentaje de Trabajo Efectivo (PTE): Para el cálculo del PTE se debe descontar de la duración DT, el tiempo de preparativos ST, los días de suspensión de la actividad DS y el tiempo de esperas TE. Como en la práctica no se realiza un monitoreo constante a lo largo de toda la actividad, sino que sólo durante un tiempo de monitoreo TM, entonces se asume que la proporción de TE respecto a ese TM es un promedio representativo, con lo cual el PTE se calcula de la siguiente manera:

(Ec. 2)
$$PTE = \left(1 - \frac{TE}{TM} - \frac{ST}{DT} - \frac{DS}{DT}\right) \times 100$$

Ejemplo: La colocación de fierro de la columna 3S N5 transcurrió desde las 8:00 horas del día 10 de agosto hasta las 18:00 horas del día 23 del mismo mes. Restando los días no hábiles nos queda entonces una duración de:

$$DT = 10 \text{ días (5400 min.)}$$

Además se registró que durante 6 días la actividad estuvo suspendida, los preparativos de la actividad duraron 120 minutos y durante un tiempo de monitoreo de 55 minutos hubo un tiempo de espera de 10 minutos, por lo tanto:

$$\begin{aligned} DS &= 6 \text{ días} \\ ST &= 120 \text{ min.} \\ TM &= 55 \text{ min.} \\ TE &= 10 \text{ min.} \end{aligned}$$

Luego PTE se calcula como:

$$PTE = \left(1 - \frac{10}{55} - \frac{120}{5400} - \frac{6}{10}\right) \times 100 = 20\%$$

Índice de labor Contributoria (ILC): Es un muestreo simplificado del trabajo para el MCV. Se identifican primeramente los operarios que integran la cuadrilla a cargo de la realización de la actividad. Luego, en intervalos de 5 minutos se va registrando cuando alguno de los operarios no realice ningún tipo de trabajo. La medición continúa hasta que el medidor la considere suficientemente representativa. Si durante un intervalo de tiempo, la actividad está en espera (no hay operario contribuyendo a esta), se debe descontar este intervalo del cálculo del ILC. A su vez, deben ser marcados como ausentes aquellos operarios que son transferidos a otra actividad durante el periodo de medición y descontar del cálculo dichas casillas de ausencia.

El ILC se calcula con la siguiente fórmula:

$$(Ec. 3) \quad ILC = \frac{(\#O \times \#I - \#A - \#X)}{\#O \times \#I - \#A} * 100$$

Dónde:

#O: número de operarios

#I: número de intervalos de tiempo

#X: número de x registradas

#A: Número de ausencias

(Ver tabla 3.13)

Ejemplo: para la colocación de fierro en el muro 3S K-J 3 se registró la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Registro de ILC para muro 3S K-J 3

O	Tiempo (min)													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	-	-	-
1														
2		X												
3		X	X		x			x						
4	A	A						x						

- Se marca con una x los intervalos en que cada operario no realiza ningún tipo de trabajo.
- Se marca con un – aquellos intervalos en que la actividad estuvo en tiempo de esperas.
- Se marca con A cuando el operario estuvo ausente por estar involucrado en otra actividad.

Luego:

#O = 4

#I = 11

#X = 6

#A = 2

Finalmente se calcula el indicador mediante la ecuación 3, en este caso:

$$ILC = \frac{(4 \times 11 - 2 - 6)}{4 \times 11 - 2} \times 100 = 86\%$$

Rendimiento (R): El rendimiento se calcula dividiendo la cantidad de unidades de flujo procesadas por la actividad sobre las horas-hombre invertidas.

Ejemplo: Si se utilizan 2 operarios y 9 horas de trabajo para instalar el fierro en una columna de 3 metros entonces,

$$R = \frac{3}{2 \times 9} = 0,17 \text{ mL/HH}$$

Para la actividad de colocación de fierro se calcula conjuntamente el rendimiento respecto a los kilogramos de fierro. La cantidad de kilogramos de fierro se estiman a partir de una cuantía promedio de fierro para cada uno de los elementos constructivos, esta fue estimada por el autor de la investigación a través del registro de los kilogramos instalados de acero en los elementos. Se muestran estas cuantías en la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Cuantías por elemento

Elemento	Cuantía (kg/m3)
Columnas	381
Muros	123
Losas	67
Capiteles	67
Radieres	25
Fundaciones	59

Observaciones:

- Las losas y capiteles son elementos postensados, se ha considerado en la estimación el peso de los cables de postensado.
- Se considera como parte de la fundación aquella porción de las columnas que está embebida en ellas y por tanto se incluye su peso en la cuantía de fierro.

Espera en Inventario (EI): Se mide el tiempo transcurrido desde que un elemento es procesado por una actividad hasta que la actividad sucesora lo comienza a procesar, luego se divide por la unidad de flujo correspondiente al elemento con el fin de obtener un tiempo de inventario unitario.

Tiempo de Ciclo Total (TCT): Para obtener el tiempo de ciclo total se deben sumar las duraciones de todas las actividades e inventarios para un mismo elemento.

Tiempo de Valor Agregado (TVA): Para obtener el tiempo de valor agregado se deben sumar todos los tiempos de trabajo efectivo de cada actividad.

Porcentaje de Valor Agregado (PVA): Se obtiene mediante la siguiente fórmula:

(Ec. 4)
$$PVA = \frac{TVA}{TCT} \times 100$$

Cumplimiento del Programa (CP): Se registra -1 cuando la actividad termina de manera adelantada con respecto al programa, 0 si es que se ajusta a este y 1 si es que está atrasada. Se presentan los resultados en gráficos que muestran los porcentajes obtenidos a partir de todas las muestras observadas. Se incluye un gráfico en la figura 3.5 a modo de ejemplo.

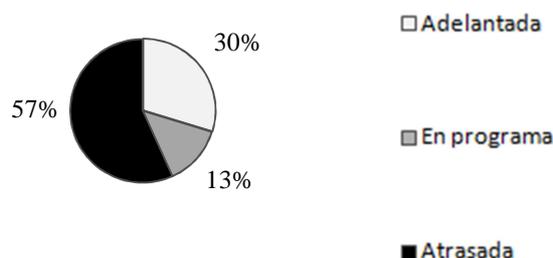


Fig. 3.5. CP para colocación de fierros en columnas

3.6.2- Metodología para el Cálculo de Indicadores Medioambientales

Se calcularon los distintos indicadores para cada elemento monitoreado en terreno. Se definieron los indicadores finales como el promedio obtenido a partir de todas las mediciones realizadas. A continuación, se incluye el detalle para el cálculo de los indicadores medioambientales descritos en la tabla 3.5.

Pérdida de Fierro (PF): La pérdida de fierro se estimó a partir del monitoreo diario de los residuos generados por los procesos constructivos. Se determinó, a través de inspección visual, el volumen de residuos correspondiente a fierro depositado en los contenedores dentro del sitio de obra acumulado durante el periodo de medición en terreno. El PF se presenta como un porcentaje, este corresponde a los kilogramos de pérdida de fierro dividido en los kilogramos totales de fierro colocados durante el periodo de medición. Conjuntamente, se presenta un PF para cada elemento constructivo que corresponde a los kilogramos de pérdida de fierro divididos en las unidades de flujo avanzadas durante el periodo de medición en terreno de cada elemento. Se asumió una distribución uniforme de la pérdida de fierro a través del volumen de los distintos elementos.

Pérdida de Hormigón (PH): Se debe cubicar el elemento a hormigonar y contrastar dicha cubicación con el registro de cubos de hormigón destinados al elemento. Luego se calcula el indicador de PH porcentualmente respecto al total de metros cúbicos del elemento. Se muestra en la tabla 3.15 un registro para el hormigonado de la losa D8-F11.

Tabla 3.15. Pérdida de hormigón en losa D8-F11

ID	Volumen Cubicado (m3)	Camión (m3)	Camión (m3)
D8-F11	84,4	7,5	7,5
-	-	7,5	7,5
-	-	7,5	7,5
-	-	7,5	6,0
-	-	7,5	-
-	-	7,5	-
-	-	7,5	-
-	-	7,5	-
Suma	84,4	88,5	
Pérdida (m3)	4,1		

Luego:

$$PH = \frac{4,1}{84,4} \times 100 = 4,8 \%$$

Pérdida de Madera (PM): La pérdida de madera producto de las actividades de encofrado y cimbra se estimó de manera similar a PF, al haber sido obtenida a partir de un total de metros cúbicos desechados como residuo en los contenedores en el sitio de obra. Sin embargo, la distribución de la pérdida no se realizó de manera uniforme entre los elementos constructivos. A las columnas no se le atribuyó pérdida debido a que los encofrados no utilizaban madera, a capiteles tampoco debido a que no fueron descimbrados durante el periodo de medición en terreno, a los muros se le atribuyó una pérdida correspondiente al encofrado transversal (aquel cubriendo el espesor de muro), a losas y radieres una correspondiente a su superficie de contorno. En el caso de fundaciones se atribuyó una pérdida producto del andamiaje armado en terreno para verter el hormigón.

Estas consideraciones permitieron generar cuantías de madera CM utilizada por elemento, que multiplicada por las unidades de flujo avanzadas durante el periodo de medición en terreno otorgaron una distribución de la pérdida de madera por elemento. Para muros, radieres y losas se determinó una cuantía de metros cuadrados de madera utilizada por metros cuadrados de elemento. En cambio, para fundaciones, la cuantía CM se calculó en metros cúbicos de madera por metros cúbicos de fundación.

Con excepción de fundaciones, en donde sí se consideró una reutilización del andamiaje de madera, justificado por la observación en terreno, se supuso para los demás elementos constructivos, que la madera no es reutilizable. Dicho supuesto podría considerarse poco verosímil, pero constatando que en los procesos constructivos de esos elementos existen diversas actividades de soporte que utilizan madera, tales como barreras y andamios, y que la pérdida

producto de ellas no ha sido considerada, se justifica sobreestimar la pérdida de madera en la actividad de colocación de encofrado y cimbras de esos elementos.

La pérdida total atribuida a estos elementos constructivos no se corresponde con el total de residuos de madera generados. Esto, debido a que existían en el sitio pequeñas obras aledañas de soporte, construidas exclusivamente con madera, que vertían sus desechos en los mismos contenedores pero que no pertenecerían a la obra en sí y por tanto no es justificable atribuir su pérdida a los elementos constructivos monitoreados.

Pérdida Energética (PE): Se cuantifica la pérdida energética de la bomba de hormigonado a través del registro de tiempo en que esta se encuentra encendida pero sin bombear hormigón. Se registran los parámetros TB y TH. Luego, se calcula el tiempo de espera total TET a través de la siguiente fórmula:

$$(Ec. 5) \quad TET = \left(\frac{TE}{TM} \right) \times DT$$

Finalmente se calcula el tiempo de pérdida energética TPE con la formula siguiente:

$$(Ec. 6) \quad TPE = (TH - TB) + TET$$

Se calcula la pérdida energética con los datos proporcionados por el fabricante de las bombas en la tabla 3.16.

Tabla 3.16. Consumo de las bombas de hormigón

Consumo	SP750	SP2000	UN.
Ralentí	3,2	6,1	GPH
Full Cap.	6,74	11,57	GPH

Donde SP750 y SP2000 son los modelos de las bombas empleadas en obra y GPH son galones por hora de combustible.

El consumo en TPE se considera como ralentí y el resto a plena capacidad. Dicha consideración subestima la pérdida energética. Luego, la pérdida energética PE se calcula dividiendo dicho consumo por la unidad de flujo del elemento correspondiente.

A su vez se entrega un valor porcentual del PE, correspondiente a la porción de combustible perdido en el ralentí de la bomba con respecto al total consumido, esto se refleja en la siguiente fórmula para un hormigonado con la bomba SP750:

$$(Ec. 6) \quad PE = \frac{TPE \times 3,2}{(TPE \times 3,2 + (DT - TPE) \times 6,74)} \times 100$$

Ejemplo: El vertido de hormigón en un muro de 30 m2 demoró un DT de 120 minutos. Se encendió la bomba a las 11:45 hrs y se comenzó a hormigonar a las 12:00 hrs. Se registró además un TE de 5 minutos durante un TM de 30 minutos (debido a la demora del siguiente camión mezcladora), luego el TET será:

$$TET = \left(\frac{5}{30}\right) \times 120 = 15 \text{ min.}$$

El TPE será:

$$TPE = (12:00 - 11:45) + 15 = 30 \text{ min.}$$

La pérdida energética unitaria PE será:

$$PE = \frac{30 \times 3,2}{30} \times \left(\frac{3,7854}{(60)}\right) = 0,2 \text{ L/m}^2$$

Observar que el valor entre paréntesis corresponde al cambio de unidades de galones a litros y de horas a minutos.

Finalmente la pérdida energética porcentual será:

$$PE_{\%} = \frac{30 \times 3,2}{(30 \times 3,2 + (120 - 30) \times 6,74)} \times 100 = 14\%$$

Se debe comentar además, que el vertido de hormigón por bomba no fue el único método empleado en terreno, se usó conjuntamente el vertido por grúa y capacho. No se hicieron indagaciones sobre la pérdida energética de la grúa y por tanto los elementos hormigonados a través de este método se contabilizaron como de pérdida energética cero. En el caso de columnas, la gran mayoría fue hormigonada a través de dicho método y solamente se logró obtener un dato de vertido por bomba. En vista de esto, se decidió no cuantificar la pérdida energética para este tipo de elemento. El caso de losas es opuesto, todos los elementos fueron hormigonados por bomba. Los muros presentan una situación intermedia, y con el fin de representarla de mejor manera a través de los indicadores, se efectuó la consideración de pérdida cero para el vertido por grúa y capacho.

Desvío de Vertedero (DV): Para calcular el indicador de desvío de vertedero se determina primeramente la cantidad en volumen total desechado por las actividades de construcción de un material específico. Se estima por volumen debido a su simpleza. Este método es aprobado por la certificación LEED (para mayor detalle ver USGBC 2009). Luego se determina la cantidad de dicho material que es desviado de ser depositado en un vertedero y se calcula el porcentaje correspondiente sobre el total.

3.6.3- Metodología para el Cálculo de Tiempo y Cantidades de Inventario

Se define un elemento como inventariado, cuando se encuentra este, a la espera de la siguiente actividad del proceso constructivo. El tiempo promedio que pasan los elementos inventariados se obtendrá del cálculo del indicador EI, bajo la metodología descrita en la sección 3.6.1.

Junto con el tiempo en inventario, se proporcionará también una noción de cantidad de inventario. Esta sugiere cuantas unidades de flujo de algún elemento constructivo se encontrarán inventariadas en promedio, en un momento dado.

Cantidad de Inventario (I): Se denota I a la cantidad de inventario, esta se calcula como el promedio a partir de una observación semanal del avance de cada actividad. La metodología se describe en detalle a continuación:

Se confecciona para cada actividad sus líneas de balance, que muestran el avance de la actividad en función del tiempo. Luego se calcula la diferencia de avance entre actividades sucesoras en intervalos semanales y se promedian estos mismos.

El método empleado intenta imitar la noción de inventarios que se hace presente en las líneas de producción de la industria manufacturera. Sin embargo, en la construcción esto no es tan sencillo debido a que cada proyecto es distinto, tanto en términos del sitio de la obra como del diseño de este mismo y por tanto, rara vez se estarán produciendo elementos idénticos, incluso dentro de un mismo proyecto. Por otra parte, dicha producción no será indefinida en el tiempo, si no que el trabajo constructivo pendiente comenzará a agotarse. Estos dos aspectos del trabajo constructivo hacen que la producción, al comienzo y término de este mismo, sean bastante dispares en comparación al régimen que es posible de alcanzar a medio periodo y que podría catalogarse como dotado de mayor permanencia o estabilidad. Igualmente, la gran variabilidad presente en el trabajo de construcción, producida por la labor en sitio en vez de en planta, los periodos largos de producción y la gran cantidad de actores involucrados en los procesos, agregan inestabilidad en la producción a través de todo el proyecto y esto se evidencia en los inventarios que se van generando a lo largo de este. Por estos motivos se entrega la cantidad de inventario acompañada de un coeficiente estadístico de variabilidad denominado CV, con el fin de describir de mejor manera el carácter de la producción y la fiabilidad del indicador. Este parámetro corresponde a la desviación típica normalizada por el promedio de los datos. Un CV cercano al 0% indica que los datos son muy homogéneos. Por otra parte, valores del CV mayores al 100% indican que la desviación de los datos es mayor que el promedio de estos. El CV se incluye en los mapas bajo la cantidad de inventario y encerrado entre paréntesis.

Finalmente debe mencionarse que no se construyeron líneas de balance para todas las actividades, debido a que para algunas, dentro de las consideradas secundarias, esto era complejo de realizar y por tanto se omitieron. Un ejemplo de esto es la colocación de recubrimientos en muros y columnas, se constató que el llevar un avance global de esta actividad era bastante trabajoso debido a que la verificación de la completitud de esta requiere de bastante tiempo, simplemente porque los recubrimientos son pequeños y no se ven a distancia.

Se ideó por tanto un método más práctico. Para explicarlo, se le llamará 1 a la actividad antecesora a la omitida, 2 a la omitida y 3 a la sucesora de esta misma (en el ejemplo: 1 sería colocación de fierro, 2 sería colocación de recubrimiento y 3 encofrado). Se debe medir el EI de la actividad 1 con respecto a la 3 y el EI de la actividad 2 de manera convencional (con respecto a la 3) y luego restarle al EI entre 1 y 3 el EI entre 2 y 3 y la duración de 2 para obtener finalmente el EI entre 1 y 2. A pesar de que el método complica el procesamiento de los datos, es de utilidad para el observador en terreno. En la figura 3.6 se muestra un ejemplo de cálculo del tiempo de espera en inventario.

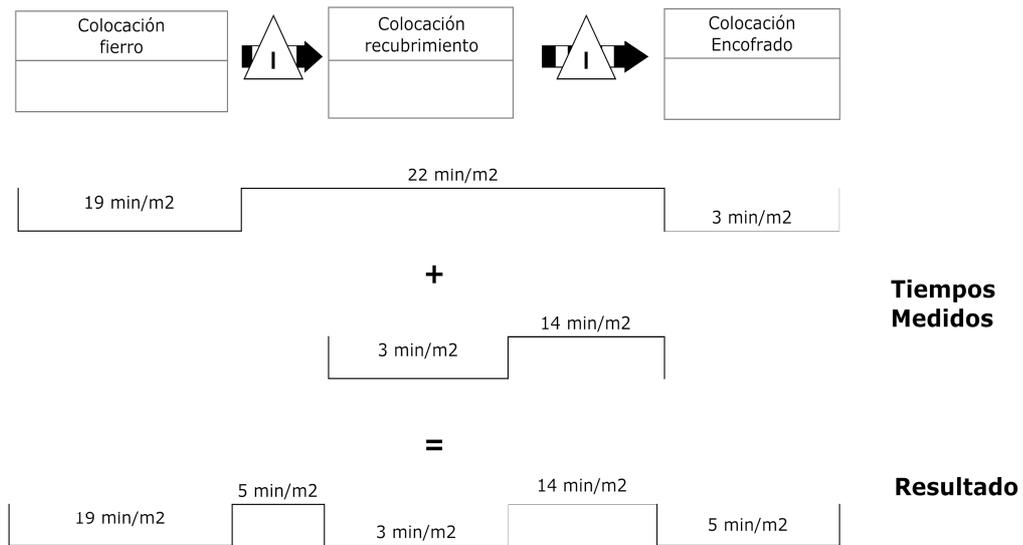


Fig. 3.6. Cálculo de esperas en inventario para actividades secundarias

A su vez, se calculará una cantidad de inventario entre las actividades 1 y 3 para luego distribuir dicho inventario entre la actividad 1 y 2 ponderando por el tiempo de inventario.

Se presenta a continuación un ejemplo del cálculo de inventarios para las actividades involucradas en la cadena de valor de columnas:

Para calcular la cantidad de inventario I entre colocación de fierro y de encofrado, se anota el porcentaje de avance por semana y se calcula la diferencia entre ambos, esto se muestra en la tabla 3.17.

Tabla 3.17. Inventarios para columnas.

Fecha	10- jun	17- jun	24- jun	01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
Actividad	%														
Fierro	0,0	2,0	11,3	14,6	26,4	34,4	39,6	41,4	43,8	49,2	54,6	60,9	67,5	73,0	78,3
Encofrado	0,0	0,0	0,0	3,8	13,3	19,0	27,2	29,8	36,2	39,0	40,1	43,6	55,0	60,4	64,6
Inventario	0,0	2,0	11,3	10,7	13,1	15,4	12,5	11,6	7,6	10,2	14,6	17,2	12,5	12,6	13,7

Luego el porcentaje promedio de inventario será:

$$I = 12\%$$

Este porcentaje se calcula sobre el total de metros lineales a completar entre los niveles -4 y -3 del edificio (se eligió esto como total de metros debido a su concordancia con el trabajo realizado durante el periodo de toma de datos en terreno). El total de metros lineales de columnas entre el piso -4 y -3 es de 710 m.

Finalmente, multiplicando el porcentaje I por el total de metros lineales es posible calcular la cantidad de inventario promedio semanal:

$$I = \frac{12}{100} \times 710 = 84 \text{ mL.}$$

Para calcular el inventario de colocación de recubrimiento, que ocurre entre la actividad de colocación de fierro y encofrado se utilizó el método descrito anteriormente. El inventario fue de 84 mL, los cuales se repartieron entre colocación de fierro y recubrimientos ponderando por el EI respectivo. El EI de la actividad colocación de fierro se midió con respecto a la colocación de encofrados, para la actividad colocación de recubrimientos el EI se midió también con respecto a colocación de encofrados. Luego restándole al primer EI obtenido, la duración total y el tiempo en inventario de colocación de recubrimiento, se pudo obtener el EI existente entre colocación de fierro y recubrimiento de una manera más práctica para el observador en terreno. Considerando que la colocación de fierro obtuvo un EI de 1,9 hrs/mL y la colocación de recubrimientos un EI de 1,6 hrs/mL, al distribuir el inventario total se estimaron 46 mL para fierro y 38 mL para recubrimiento, ponderando por el EI respectivo a cada actividad.

3.7- El Estado Actual de la Cadena de Valor.

3.7.1- Generalidades.

Se presentan en la siguiente sección, los mapas del estado actual de las cadenas de valor de los distintos elementos constructivos, incluyendo un informe detallado del diagnóstico efectuado, evidenciando las bondades y problemas en la línea de producción, con el fin apoyar lo ilustrado en los mapas. Se podrá constatar que el análisis de la producción como cadena de valor permite detectar muchos problemas que las herramientas tradicionales no.

El diagnóstico realizado delata problemas en la planificación, en el suministro y manejo de los materiales, gestión de las cuadrillas, variabilidad de la producción, poca noción de un ritmo de producción y sincronía con las demandas del cliente y excesivos tiempos de esperas y tiempos muertos, entre otros. Todos estos problemas se evidencian tanto en los indicadores como en distintos síntomas que afloran constantemente en los procesos, estos fueron observados en terreno, en las opiniones de los profesionales de obra mencionados en 1.9 y en las causas de no cumplimiento recogidas por el contratista general. Dichos síntomas acusan enfermedades mayores, relacionadas a la filosofía y visión de la producción.

La representación de los estados actuales fue validada por la opinión de los profesionales de obra enlistados en 1.9 y la contrastación con los resultados computados en las distintas herramientas de gestión utilizadas por ellos mismos.

3.7.2- Mapas del estado actual.

Se presentan los mapas del estado actual de la cadena de valor en las figuras 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, y 3.11.

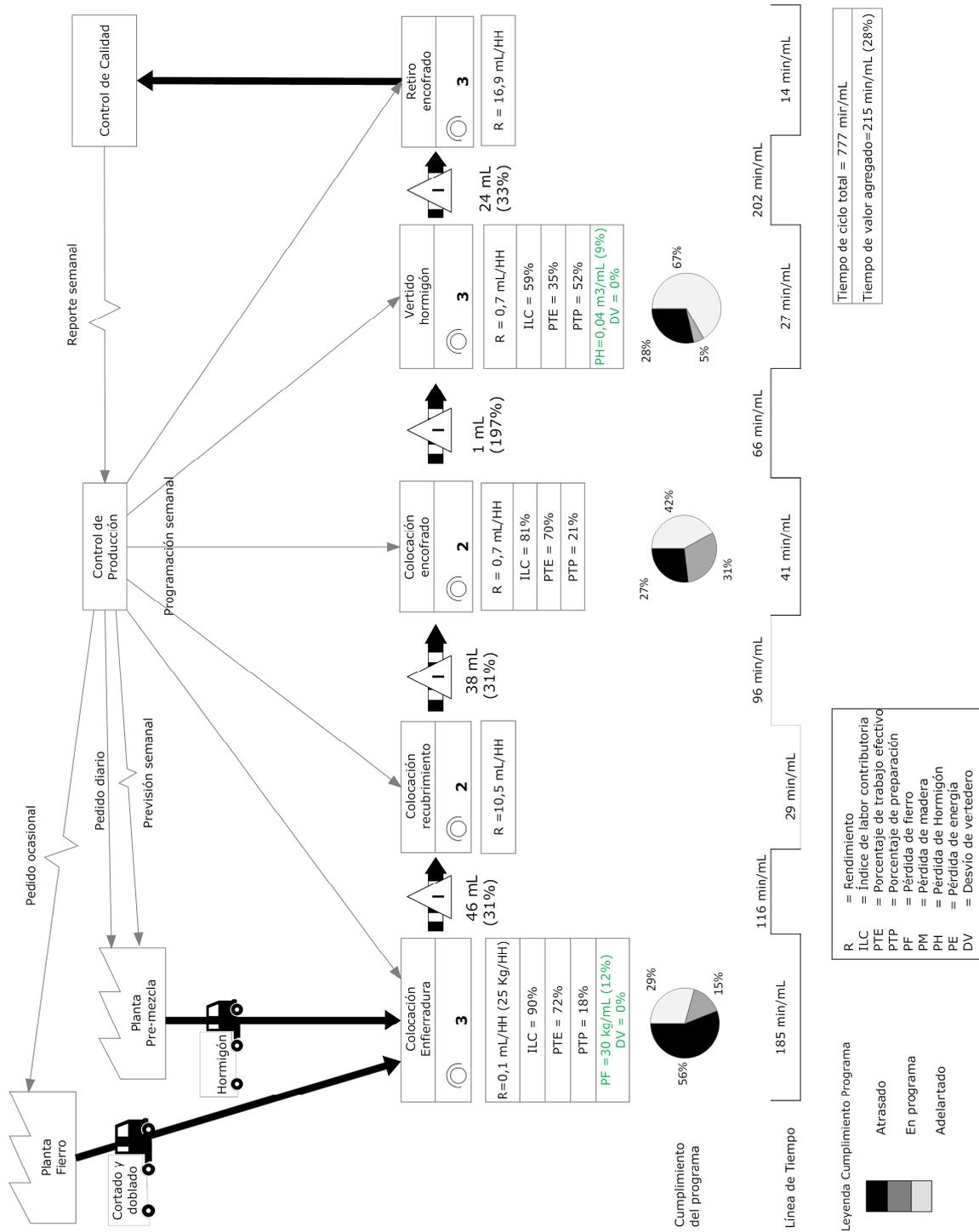


Fig. 3.7. Mapa del estado actual de la cadena de valor de columnas.

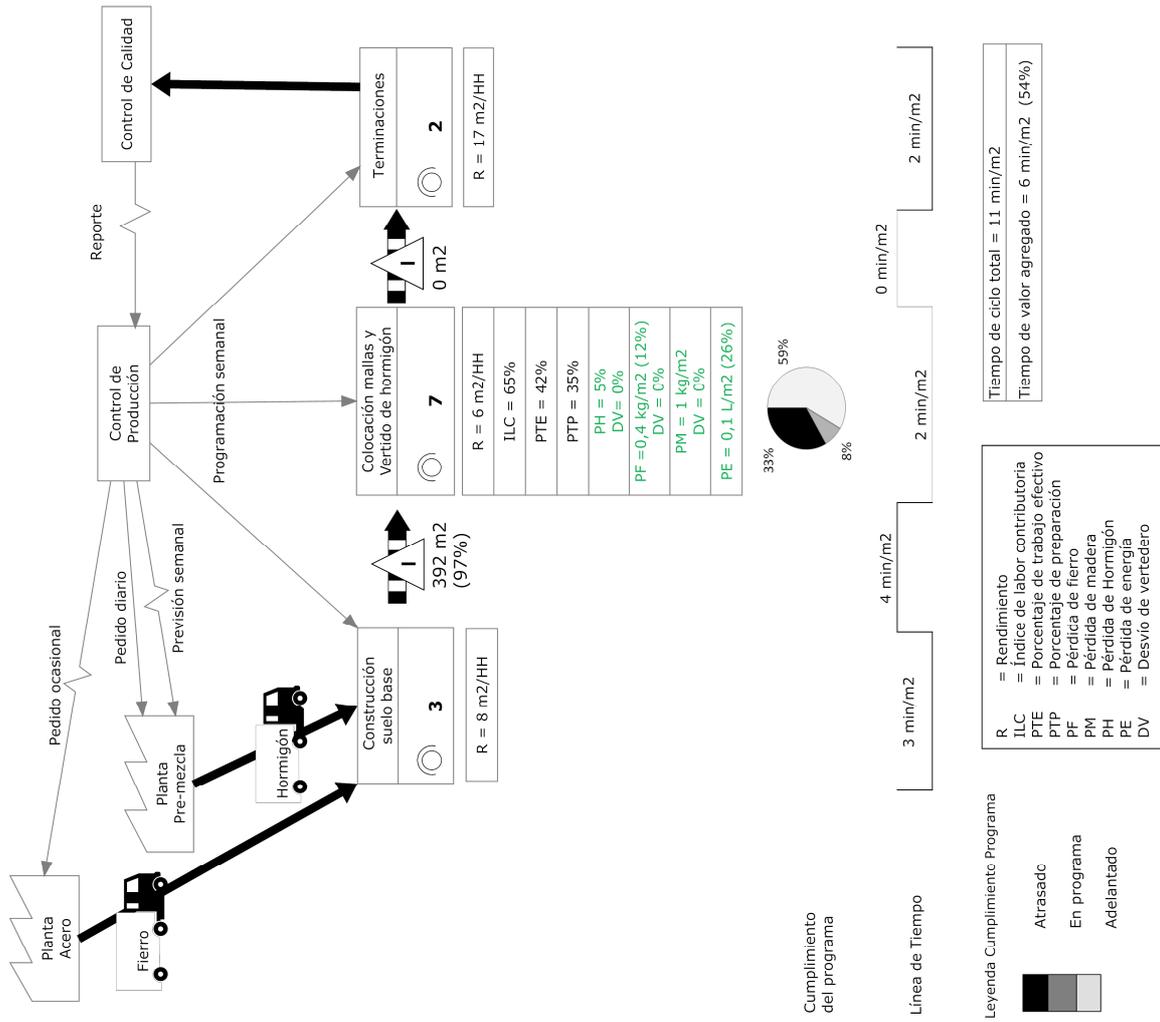


Fig. 3.10. Mapa del estado actual de la cadena de valor de radieres.

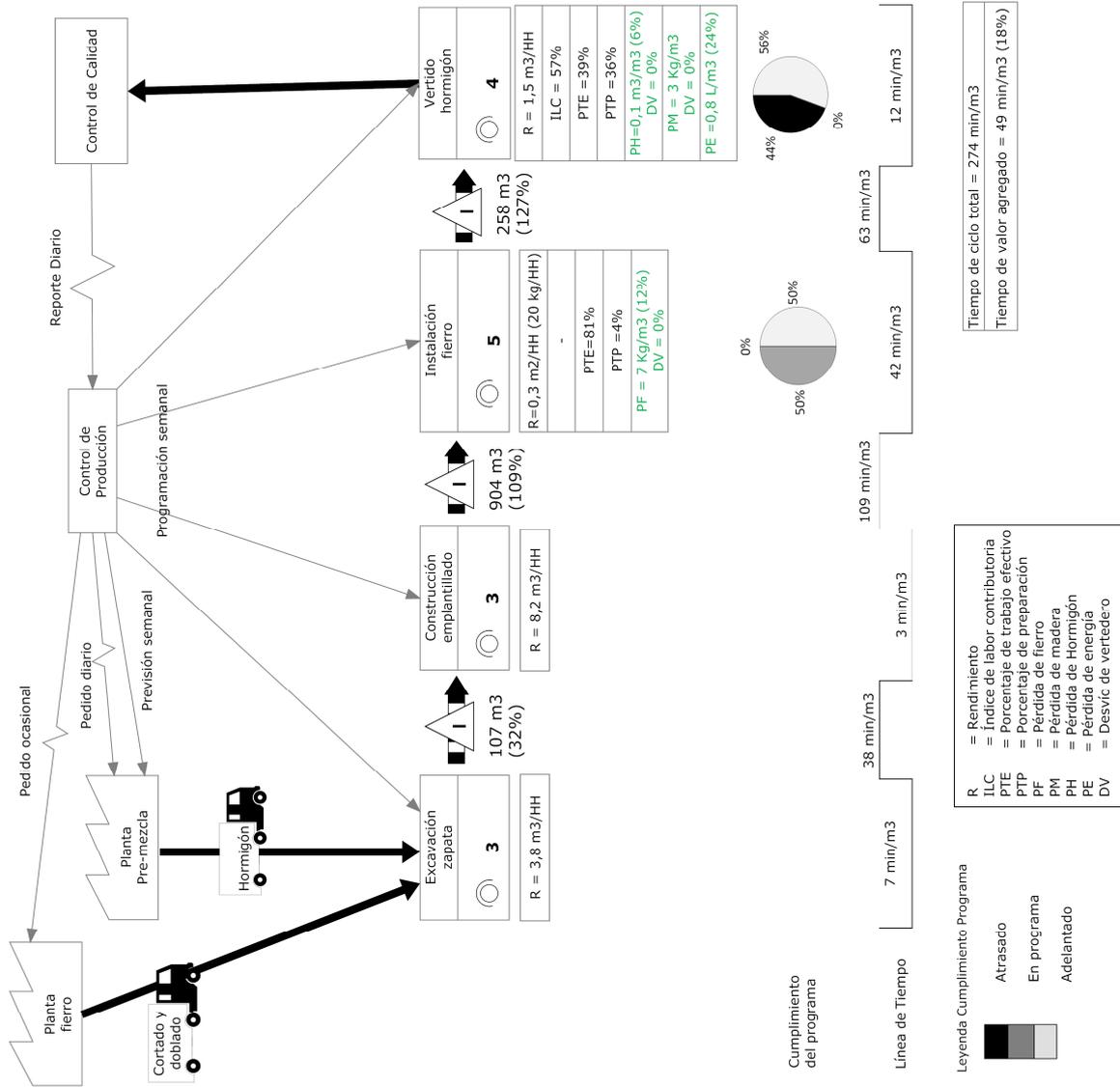


Fig. 3.11. Mapa del estado actual de la cadena de valor de fundaciones.

3.7.3- Diagnóstico General

Duración y rendimiento de las actividades: Se ha constatado que las duraciones de las actividades y los rendimientos presentan gran variabilidad entre distintas unidades de flujo procesadas. Por ejemplo, a pesar de que el promedio de duración para la colocación de enfierradura en muros es 19 min/m^2 (ver fig. 3.8) su valor máximo es 36 min/m^2 y el mínimo 8 min/m^2 . Existen eventos en los cuales el procesamiento se efectúa de manera continua y por tanto sus duraciones se corresponden con los mínimos de la data estadística. Por otra parte, muchos eventos se trabajaron de manera discontinua, es decir, dejando pendientes las tareas antes de ser completadas debido a la poca claridad técnica, bajo control de la calidad y pobre definición del trabajo completado. Se evidenció en repetidas ocasiones actividades que fueron iniciadas para luego ser abandonadas por varias semanas sin completarse. Esto denota un problema en la planificación de la producción debido a que no se planificó la realización de dicha actividad justo en el momento en que se necesitaba, sino que se inició tempranamente o bien, terminó de manera tardía.

El indicador de tiempo efectivo de trabajo PTE asiste en vislumbrar este tipo de problemas. Conjuntamente, es capaz de delatar problemas en la gestión de cuadrillas, al capturar durante el tiempo de monitoreo, los instantes en que la cuadrilla no está agregando valor alguno al proceso. Por ejemplo en el vertido de hormigón en muros solo un 32% del tiempo es aprovechado. Un incremento en el valor del PTE implica acortamiento en las duraciones de las actividades y por tanto mejoras en el rendimiento. La manera recomendada para alcanzar estos incrementos es a través de evitar los eventos de duración máxima en la data estadística y por tanto alcanzar simultáneamente una reducción en la variabilidad de los procesos. El PTE no tiene como objetivo ser comparado entre actividades o entre proyectos, sino que su valor se manipula dentro de rangos factibles, de acuerdo a la experiencia, para lograr una sincronización de la línea de producción con la demanda esperada por el cliente, en este caso, el programa maestro de obra. La figura 3.12 muestra una comparación del PTE para colocación de enfierradura entre elementos.

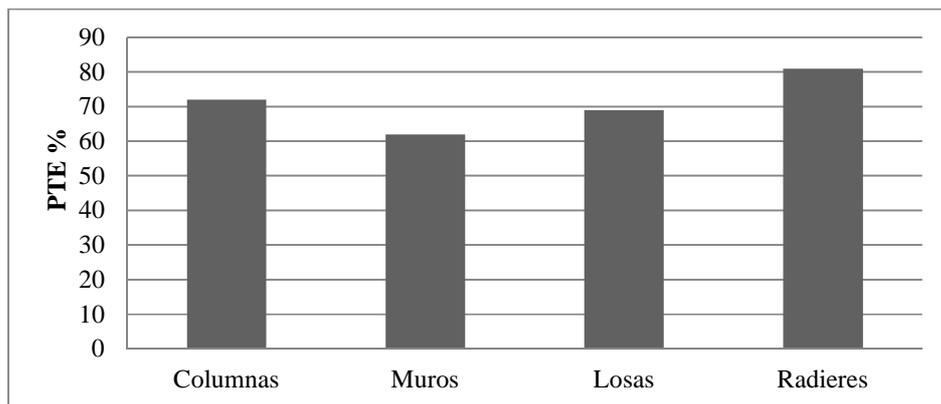


Fig. 3.12 Comparación PTE entre elementos.

Gestión de las cuadrillas: La observación evidencia que la gestión de cuadrillas por parte de subcontratistas es bastante mejor que la del contratista general, esto es respaldado por el índice de labor contributiva que es siempre más bajo para las actividades que utilizan cuadrillas gestionadas por este último. Por ejemplo la colocación de enfierradura en columnas (ver fig. 3.7) tiene un ILC de 90% y el vertido de hormigón sólo un 59%. La mala gestión de cuadrillas implica

que el aprovechamiento de la mano de obra es menor y por tanto se tiene una mayor cantidad de tiempo en él que no se agrega valor. Esto aumenta la variabilidad de la producción ya que se invierte muy poca porción del tiempo en liberar restricciones de trabajo y solucionar problemas futuros, es decir se trabaja fundamentalmente cuando hay cancha disponible pero se enfocan pocos esfuerzos en conseguir la disponibilidad de la cancha. La figura 3.13 muestra la comparación de ILC entre columnas, muros y losas para las actividades de colocación de enfierradura, encofrados y vertido del hormigón.

Los subcontratistas también presentan algunos problemas en su gestión de cuadrillas debido a que no logran definir estándares claros de trabajo completado y de su calidad. Además de generar gran rotación de los operarios entre procesamiento de elementos, lo que incentiva el abandono de trabajo no completado, la variabilidad de la producción y desacelera las curvas de aprendizaje. No logran establecer metas claras y de corto plazo a las cuadrillas, esto genera confusión, errores y disminuye el rendimiento de estas. Tampoco atienden nociones de mediano plazo sobre las actividades que deben y pueden hacer.

Una de las causas de no cumplimiento más frecuentes es la falta de mano de obra, equivale a un 13% del total de CNC, tanto para el contratista general como para los subcontratista. Sin embargo, también se evidencia según los indicadores computados, que el aprovechamiento de la mano de obra existente no es total y en muchos casos es bastante bajo. La figura 3.17 muestra las CNC registradas.

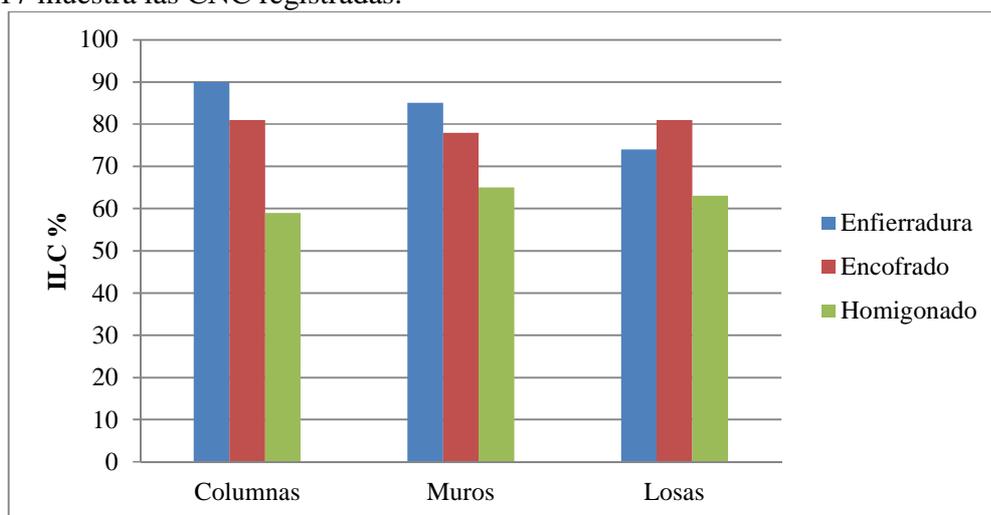


Fig. 3.13. ILC de columnas, muros y losas.

Exceso de inventario: Es posible vislumbrar en los mapas de estado actual que algunas actividades permiten la acumulación de excesivo inventario de trabajo en proceso. Por ejemplo, la construcción de emplantillados en fundaciones (ver fig. 3.11) admite un inventario promedio de 904 m³. Dicho inventario al encontrarse en el mismo sitio de trabajo, es muy susceptible a daños provocados por la maquinaria circulante. Sin embargo, el mayor problema que denota este excesivo inventario, es la poca nivelación de la producción, ya que el estado de espera de estos elementos implica que fueron procesados en un momento en que no era necesario y por tanto dichos recursos pudieron haber sido invertidos en producir unidades de otro elemento constructivo justo en el tiempo que era necesario, de manera tal de nivelar la producción entre estos.

Ritmo de producción: La planificación de producción actual carece de un ritmo de producción premeditado, más bien se intenta que cada actividad produzca el máximo posible con los recursos y tiempo disponible. Esta situación genera acumulación de inventarios después de algunas actividades, además no asegura un cumplimiento recurrente del programa maestro debido a que este si lleva un ritmo de producción implícito. Los gráficos de cumplimiento del programa muestran un mayor porcentaje de actividades atrasadas al igual que las curvas de avance generadas por el contratista general. Por ejemplo en la cadena de valor de muros (fig. 3.8) se constata que la colocación de enfierradura termina un 88% de las veces atrasada, la colocación de encofrados un 77% de las veces y el vertido de hormigón un 94%. Se pueden establecer medidas correctivas eventuales pero mientras el tiempo de ciclo total de la cadena de valor exceda el requerido por el ritmo programado, siempre habrá problemas de atrasos. También se evidencian algunas actividades que generalmente se adelantan al programa, el vertido de hormigón en radieres termina adelantado un 59% de las veces, esto tampoco es deseable en la medida que los recursos invertidos podrían haberse utilizado en otras actividades.

Una de las principales causas de no cumplimiento registradas por el contratista general es el atraso de las actividades predecesora (en la figura 3.17 está incluida dentro de “otros” y equivale al 44% sobre esta categoría). Esto es un síntoma de la pobre noción de ritmo y producción como cadena de valor que existe en la planificación de las actividades.

Tiempo de valor agregado: Se comprobó en los mapas del estado actual que los porcentajes de valor agregado PVA son en general bajos, con algunas excepciones. Fundaciones exhibe un PVA de 18%, muros de 33%, en cambio losas un 67% y radieres 54% (la figura 3.14 muestra esta comparación). Esto sugiere que durante la mayor parte de la duración del proceso no se está agregando valor alguno al producto. En vista de que existen gastos de construcción sin que necesariamente exista avance, se puede aseverar que la pérdida económica asociada a un bajo PVA es importante. Los elementos que no presentan bajos PVA son losas y radieres, esto es posible de explicar al observar que la planificación y control de estos elementos se realiza de manera más acabada, esto debido a la gran inversión de recursos que requiere producir una colada de estos elementos. Es posible constatar que la línea de producción de estos elementos se asemeja a un pasillo PEPS (primero en entrar, primero en salir), lo que es muy deseable.

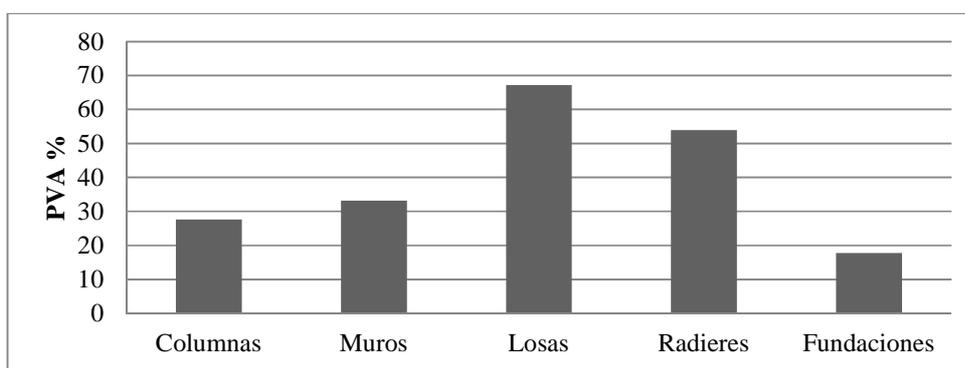


Fig. 3.14. Comparación PVA entre elementos.

Suministro de fierro: Esta es una de las debilidades más relevantes en las cadenas de valor analizadas debido a que los pedidos constantemente llegan a obra retrasados y ponen freno a la producción completa, se evidencia esto en las causas de no cumplimiento recogidas por el

contratista general, la falta de material equivale a un 16% sobre las CNC. Se realizó la compra completa del fierro al proveedor durante el inicio del proyecto y los pedidos se van realizando de acuerdo a la planificación, pero no se tiene un flujo de suministro constante ni un compromiso del proveedor de cumplir con las fechas de entrega. Finalmente, la planificación termina realizándose de acuerdo con la disponibilidad de fierro. El ritmo de producción alcanzado en este régimen es bastante más lento que el potencial de los recursos disponibles en obra. Por tanto, mientras no se tomen medidas con respecto al problema de suministro de fierro, suena sensato el disminuir los recursos inyectados a la producción con el fin de conseguir un máximo aprovechamiento de estos.

Recepción del fierro: Los camiones de del proveedor de fierro traen cantidades de paquetes de enfierradura etiquetados según el elemento al que corresponden. Se evidenció en terreno que se privilegia minimizar la utilización de la grúa en asuntos de descarga y traslado de la enfierradura entregado, por sobre el orden y la recepción adecuada de este. Muchas veces los paquetes de fierro se apilan en lugares alejados de sus elementos correspondientes. Esto se traduce en manipulación innecesaria para llevar al fierro a su lugar correcto, extravío de paquetes y colocación de paquetes en otros elementos. A pesar de que el fierro llega cortado y doblado desde planta, se observan despuntes y desperdicios de enfierradura en el sitio, además de pilas de piezas como estribos y trabas descartadas en los contenedores de residuos de obra, existe un 12% de metal desperdiciado con respecto al total instalado (incluyendo alambres y otros). La poca preocupación que se invierte en la recepción del material es la principal causa de la pérdida del material que se evidencia en obra y de gasto energético y demoras para localizar los paquetes dentro del sitio y trasladarlos a su lugar.

Suministro de hormigón: La situación del suministro de hormigón es similar a la del fierro. Se efectúa un pedido semanal de hormigón que se va ajustando día a día debido a la variabilidad de la producción. Esta modalidad es adecuada pero presenta problemas debido al poco compromiso del proveedor por cumplir con los horarios de llegada de los camiones, esta situación ocasiona grandes demoras en el vertido del hormigón. Combinado a una gestión poco proactiva, las cuadrillas pasan la mayor parte del tiempo esperando en vez de agregando algún valor, ya sea en actividades de soporte o preparación con el fin de generar cancha para futuras actividades. EL ILC para el vertido de hormigón muestra esto en todas las cadenas de valor, por ejemplo para muros es de un 65%, para losas de 63% y para columnas de 59%.

Los pedidos diarios de hormigón se efectúan a través de cubicaciones que muchas veces son estimaciones poco precisas, que finalmente se traducen en pedidos sobredimensionados, ocasionando pérdidas de material, que se retorna a planta y acaba depositado en vertederos. A esto debe sumarse la pérdida ocasionada por derrames en el vertido del hormigón y sobredimensionamiento al materializar los elementos, fundamentalmente de aquellos hormigonados contra terreno como radieres y fundaciones. También se evidencia poca preocupación por optimizar el pedido de cubos de hormigón del día completo con el fin de obtener configuraciones de pedidos de cubos más ahorrativas en términos económicos. La pérdida de hormigón varía con cada elemento pero se acerca a un 5% en casi todos. La figura 3.15 muestra una comparación de pérdida de hormigón entre elementos. Notar que en el caso de columnas la pérdida es mayor. Esto se explica debido a que el volumen de columnas es mucho menor y por tanto típicas pérdidas como los residuos de hormigón dentro del camión alcanzan un mayor peso porcentualmente.

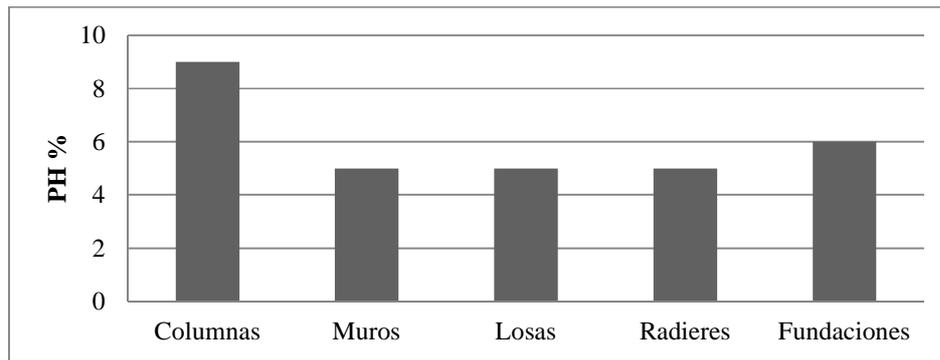


Fig. 3.15. Comparación de la pérdida de hormigón entre elementos.

Planificación y control: Se ha constatado que el contratista general trabaja con varias herramientas de gestión para el apoyo en la planificación y control del proyecto, dentro de ellas se tiene: carta Gantt, Curvas S, porcentajes de actividades cumplidas (PAC) y causas de no cumplimiento (CNC). Sin embargo, dichas herramientas no se utilizan apropiadamente debido a que la mayoría no forma parte del material presentado en las reuniones semanales y tampoco se analizan, más bien se construyen debido a que forman parte de los estándares y protocolos de la empresa. De acuerdo a lo observado en las reuniones semanales, se inspeccionan los planos y se establecen compromisos de avances por parte de los jefes de obra y los subcontratistas, también se conversan, sin apoyo de herramientas, las razones de no cumplimiento y el estado de los compromisos, ocasionalmente se observa la carta Gantt y las curvas S. La perspectiva de las reuniones generalmente aborda el corto plazo y por tanto se topa de frente con los problemas. Evidentemente la construcción de estas herramientas de apoyo consume bastante tiempo de los profesionales de obra. El no hacer uso de dichas herramientas significa en definitiva desperdiciar el tiempo invertido y el costo económico de este. Por lo que sería más deseable no trabajar con dichas herramientas si es que no se les sacará provecho. Sin embargo, la falta de apoyo en planificación se hace notar constantemente, sino basta comprobar que dentro de las causas de no cumplimiento más relevantes, recogidas por el contratista general, se encuentra la mala programación, cambios en la planificación y malas estimaciones de rendimiento, además de todos los problemas enlistados anteriormente.

Se presentan los gráficos del porcentaje de actividades cumplidas (PAC) y causas de no cumplimiento (CNC) recopilados por el contratista general a lo largo de la construcción en las figuras 3.16 y 3.17. El PAC, estabilizado entorno al 65%, denota los ya mencionados problemas de variabilidad en el cumplimiento de los compromisos de trabajo. Las CNC muestran una clasificación de los motivos por los cuales no se cumplen dichos compromisos.

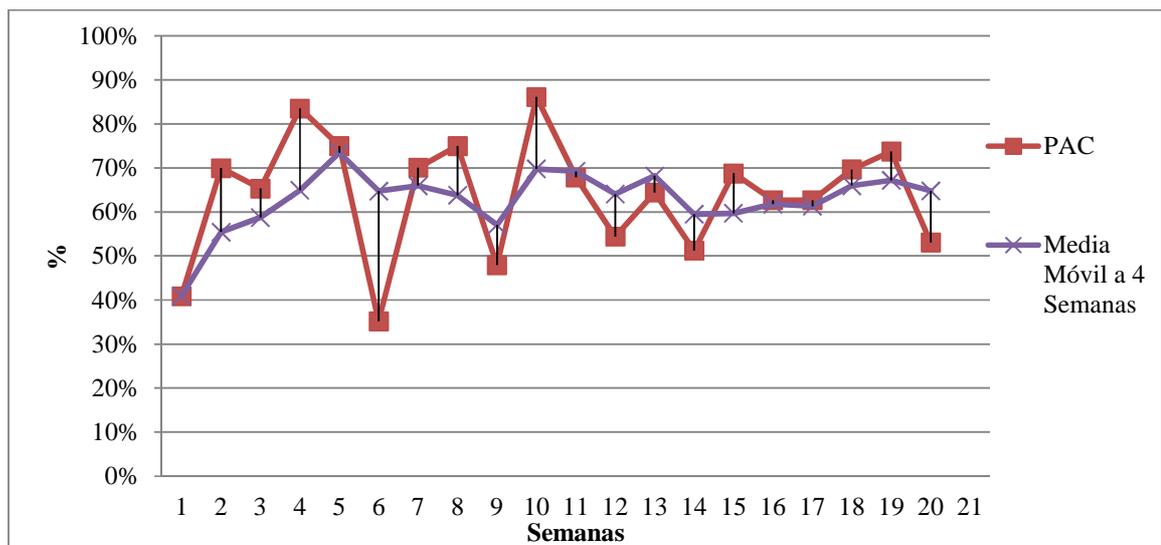


Fig. 3.16. PAC semanal.

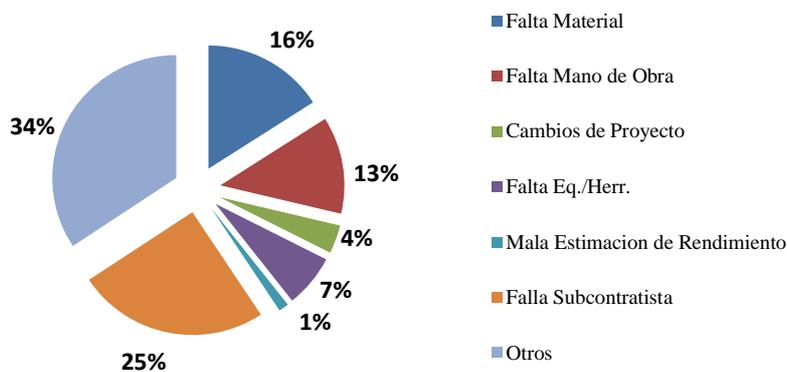


Fig. 3.17. CNC.

Manejo de Residuos: Todos los residuos de la construcción van a dar a vertedero (el DV es 0% en todas las actividades mapeadas) a pesar de que gran parte puede ser aprovechada. Esto tiene efectos adversos para el medioambiente, además el traslado de estos representa un alto costo para el contratista general.

3.7.4- Columnas y Muros

El mapa de la cadena de valor actual para columnas y muros se encuentra en las figuras 3.7 y 3.8 respectivamente. Para columnas y muros es posible constatar según los gráficos de cumplimiento del programa que los porcentajes de actividades en programa son muy bajos, tendiendo siempre a los atrasos de estas. Esto es un síntoma que evidencia la poca sincronía de la línea de producción con el ritmo del programa, la tendencia al atraso sugiere que se está produciendo a un ritmo más lento que el demandado.

La colocación de fierro es la actividad que más tiempo consume y muchas veces se puede decir que constituye un marcapasos en la línea de producción. Al observar los rendimientos obtenidos es posible aseverar que estos son bastante buenos en comparación a otros proyectos ya

que estos se mueven usualmente en un rango de entre 16 a 22 Kg/HH. En muros se está obteniendo 17 Kg/HH y en columnas 25 Kg/HH, el rendimiento global es moderadamente satisfactorio. Sin embargo, esta indicación favorable no permite vislumbrar los problemas de flujo existentes en la línea de producción ni explica los diversos síntomas que se recogen después de la observación. El análisis de los MCV si permite visualizarlos.

Las actividades de colocación de fierro y recubrimientos generalmente permiten un gran tiempo de espera entre ellas, 5 min/m² para muros y 1,9 hrs/mL para columnas, además son realizadas por cuadrillas distintas. El tiempo de espera mencionado es completamente innecesario porque no agrega valor alguno a la producción. Este se produce principalmente porque la orden para instalar recubrimientos se da cuando es sabido que habrá encofrados disponibles para los elementos. Sin embargo, el problema no es el límite de encofrados, sino la sobreproducción generada por la colocación de fierro, ya que a pesar de que los planificadores saben que no habrá encofrados disponibles en un corto plazo ordenan enfierrar, cuando aquellos recursos inyectados podrían redirigirse a la colocación de fierro de otro elemento de mayor prioridad. Por otra parte se observan porcentajes de tiempo efectivo de trabajo PTE con gran potencial de aumento, sobre todo en el caso de muros, donde la colocación de fierro exhibe un PTE de 62%. Esto se produce por el abandono del trabajo no completado y la mala gestión de las cuadrillas. Se evidenció en repetidas ocasiones situaciones en las que se inicia la colocación de fierro en un muro o columna y en mitad del proceso las cuadrillas son redireccionadas a una actividad de prioridad mayor, también se dieron casos en los cuales el proceso se acercaba a término y la cuadrilla decidía dejar pendiente algunos detalles de arreglos o colocación de pequeñas piezas para que otros lo hagan. Conjuntamente, se observó que durante la realización de la actividad las cuadrillas abandonaban el trabajo debido a poca claridad en el trabajo, falta de materiales y descansos, entre otros. Esto evidencia problemas en planificación y gestión de la mano de obra.

La línea de producción genera pérdidas de material con potencial de reducción. En hormigón esta se genera debido a cubicaciones poco precisas y mala coordinación con los pedidos de camiones para el hormigonado de otros elementos del mismo día, asciende a un 9% en columnas y 5% en muros, la gran pérdida en columnas se explica debido a que los volúmenes de hormigón frecuentemente descartados tienen un peso mucho mayor sobre los pequeños volúmenes necesarios para llenar columnas pero nadie da cuenta de esto. La figura 3.15 muestra una comparación de la pérdida de hormigón entre elementos. La pérdida energética en muros es bastante grande en aquellos evento de vertido a través de la bomba de hormigón (25%), debido a las malas prácticas en la operación de esta, los indicadores acusan que gran parte del tiempo se encuentra encendida pero sin hormigonar y por tanto consumiendo energía innecesariamente..

3.7.5- Losas

El mapa de la cadena de valor actual para losas se encuentra en la figura 3.9. La línea de producción de losas muestra en el mapa un estado bastante más favorable que el de muros y columnas en la medida que el porcentaje valor agregado PVA es mayor (67%) y existe una acumulación de inventario más controlada. La razón de esto se relaciona con el hecho de que las losas son producidas en coladas, estas son secciones de losas de gran superficie (200 m² a 400 m²) y procesar cada una de estas requiere de bastante tiempo y de la inyección de muchos recursos. Por esto la planificación y control de su producción se realiza con bastante mayor detalle. Además como cada frente de trabajo tiene limitados recursos no tienen la capacidad de producir coladas de manera simultánea, luego la línea de producción ha terminado por asemejar

bastante a un pasillo PEPS (primer en entrar, primero en salir), esta configuración es bastante óptima y debe ser potenciada. Además, al comparar el rendimiento de la actividad marcapaso, en este caso el cimbrado, con otros proyectos, se puede constatar que 2 m²/HH es satisfactorio al posicionarse por sobre un 40% de los proyectos de construcción.

A pesar de las virtudes expuestas para la línea de producción de losas, se debe agregar que los gráficos de cumplimiento del programa acusan una mala sincronía entre el ritmo de producción y el demandado por el cliente, por ejemplo el cimbrado termina atrasado un 92% de las veces, debido a que la planificación intenta maximizar las unidades procesadas por cada actividad de manera aislada y falla en ver a la línea de producción como un ciclo completo y que se ajusta a las necesidades del cliente.

Se observa desorden en la planificación del cimbrado de losas y por tanto oportunidades para aumentar el PTE de la actividad y su rendimiento, también existe desorganización en el manejo de las cuadrillas debido a poca claridad en las responsabilidades, metas no establecidas y poca definición del trabajo completado, esto ocasiona que mucho trabajo se deje pendiente para que otros lo terminen o que comience con mucha anticipación y luego sea abandonado. También existe alguna descoordinación entre los subcontratistas al estorbarse con el apilamiento de material o no terminar pequeños detalles que permiten el inicio de las actividades aguas abajo del proceso. Por ejemplo, le sucede al subcontratista de postensado de losas que no es capaz de postensar en el tiempo requerido debido a que no se han retirado los elementos de moldaje, tapas y otros. Esto no sólo retrasa su trabajo, sino que compromete la sanidad de la estructura.

La línea de producción genera pérdidas de material con potencial de reducción. En hormigón (5%) esta se genera debido a cubicaciones poco precisas y mala coordinación con los pedidos de camiones para el hormigonado de otros elementos del mismo día. La pérdida de madera (1,1 Kg/m²) se eleva debido a que se utiliza material de pobre calidad y sin los cuidados necesarios para extender su durabilidad. La pérdida energética es bastante grande (29%) debido a las malas prácticas en la operación de la bomba, los indicadores acusan que gran parte del tiempo esta se encuentra encendida pero sin hormigonar y por tanto consumiendo energía innecesariamente.

Se debe notar en la figura 3.9 que las actividades correspondientes a capiteles presentan dos valores para la duración. Por ejemplo, en colocación de cimbra se indica: 4 (25) min/m², de modo de que si se desea calcular la duración total de procesar un capitel se debe multiplicar la superficie de este por el valor entre paréntesis, en este caso 25. Pero si se desea calcular la duración total de procesar todos los capiteles en una colada de losa completa se debe multiplicar el valor sin paréntesis, en este caso 4, por la superficie de la losa.

3.7.6- Radieres

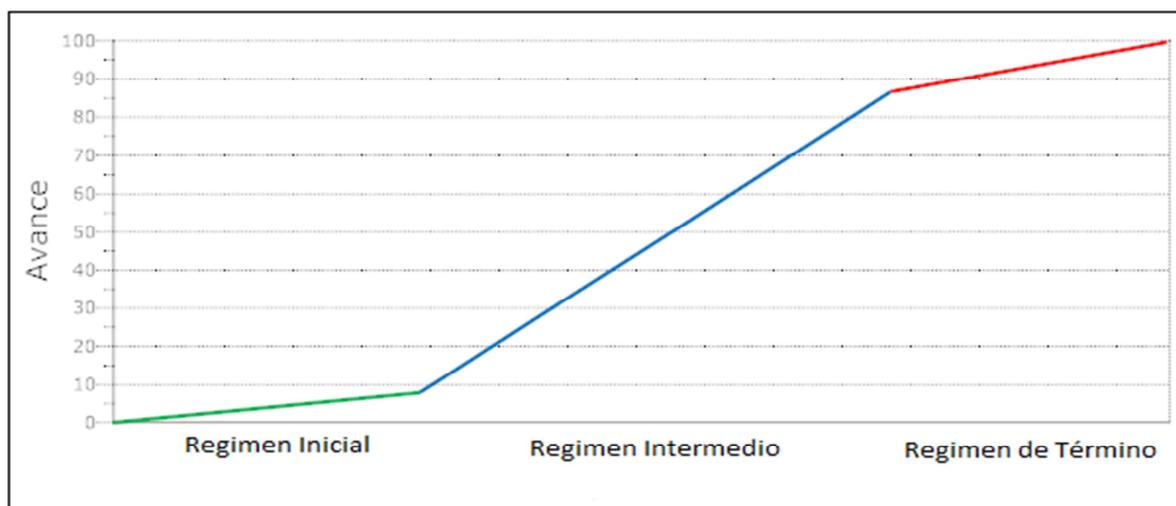
El mapa de la cadena de valor actual para radieres se encuentra en la figura 3.10. La línea de producción de radieres también presenta poca sincronía con la demanda del cliente, observando que el porcentaje de actividades en programa es bajísimo (solo un 8% para vertido de hormigón). La tendencia es a adelantar las actividades, esto debido a que los radieres se construyen en el momento en que hay cancha disponible y no cuando el programa lo estipula.

Se evidencia conjuntamente, que la actividad de construcción del suelo base se realiza de manera bastante desordenada, al no establecer metas claras para las cuadrillas encargadas, resultando así en duraciones del proceso bastante mayores y variables que las potenciales de ser alcanzadas según los recursos disponibles. La actividad de vertido de hormigón es víctima principalmente, de la poca confiabilidad del suministro de hormigón provocando bajas moderadas en el PTE (70%) y en el ILC (65%), esto se traduce en un bajo aprovechamiento de la mano de obra involucrada en la actividad.

La línea de producción genera pérdidas de material con potencial de reducción. En hormigón (5%) esta se genera debido a cubicaciones poco precisas y mala coordinación con los pedidos de camiones para el hormigonado de otros elementos del mismo día, además del sobredimensionamiento de los radieres producto de poca precisión en la construcción del suelo base. La pérdida de madera se eleva debido a que se utiliza material de pobre calidad y sin los cuidados necesarios para extender su durabilidad. La pérdida energética (26%) es bastante grande debido a las malas prácticas en la operación de la bomba, los indicadores acusan que gran parte del tiempo esta se encuentra encendida pero sin hormigonar y por tanto consumiendo energía innecesariamente.

3.7.7- Fundaciones

El mapa de la cadena de valor actual para fundaciones se encuentra en la figura 3.11. Lamentablemente, durante el periodo de medición en terreno, la construcción de fundaciones se acercaba a su término y por tanto la línea de producción mostró un comportamiento de régimen en declive, distinto a la situación de plena producción que usualmente se alcanza cerca de la mitad del periodo productivo. Los indicadores computados para la línea de producción de fundaciones se muestran bastante más bajos que para los otros elementos debido a este motivo. El porcentaje de valor agregado es muy bajo (18%) y existe una gran sobreproducción y por tanto excesivos inventarios en algunas actividades, por ejemplo 904 m³ para construcción de emplantillado y 258 m³ para instalación de fierro. La figura 3.18 esquematiza los cambios de regímenes en una línea de balance, se observa un régimen inicial (en verde), otro intermedio (en azul) y un último de término (en rojo).



3.18. Cambio de regímenes de producción

El hecho de que la línea de producción se encuentre en etapa de término no constituye una justificación para los problemas evidenciados, debido a que generan un consumo innecesario de recursos, que finalmente perjudica la línea de producción de los otros elementos constructivos.

La línea de producción genera básicamente pérdidas medioambientales muy similares a las evidenciadas en las líneas de producción de los otros elementos. Se puede agregar que la pérdida de hormigón (6%) se ve incrementada en ocasiones producto del sobredimensionamiento de las fundaciones debido a excavaciones de poca precisión. También el uso de la madera es bastante relevante en el vertido de hormigón en fundaciones, al usarse esta como andamiaje para los operarios. Estos andamios son bastante improvisados, de pobre calidad y seguridad y por tanto dificultan el trabajo de las cuadrillas y generan pérdidas de material cercanas a 3 Kg/m³.

3.8- El Estado Futuro de la Cadena de Valor

3.8.1- Generalidades

Se presentan en esta sección los mapas confeccionados para los estados futuros de las cadenas de valor de los elementos constructivos. Estos son estados de producción óptima dentro de la factibilidad otorgada por los recursos disponibles en obra. El ajuste de los indicadores y las distintas modificaciones en la cadena de valor se han efectuado por medio del juicio de expertos, enlistados en el anexo A y experiencia.

El mapa del estado futuro por sí mismo revela una producción ideal para los elementos, que maximiza el aprovechamiento de los recursos, disminuye la variabilidad y sincroniza esta con la necesidad del cliente. No obstante, el traspaso del estado actual al futuro no se atiende en los mapas y evidentemente no constituye un asunto sencillo. Para alcanzar el estado futuro se incluye una metodología de implementación que detalla cada una de las mejoras y modificaciones a efectuar en el sistema y los métodos para lograr esto de manera satisfactoria. Dicha metodología de implementación se debe materializar a través de objetivos y metas claras de corto plazo que el control de producción debe ir definiendo a medida que sus recursos disponibles, tratos con proveedores y subcontratistas le vayan permitiendo. Es recomendable ir estableciendo periódicamente nuevos diagnóstico del estado actual con el fin de vislumbrar el correcto avance hacia el estado futuro. Y por supuesto, luego de alcanzado dicho estado continuar el mejoramiento hacia otros optimizados.

3.8.2- Mapas del estado futuro de la cadena de valor.

Los mapas del estado futuro se presentan en las figuras 3.19 a 3.23. Los valores modificados con respecto a los estados actuales se muestran con caracteres en negrita.

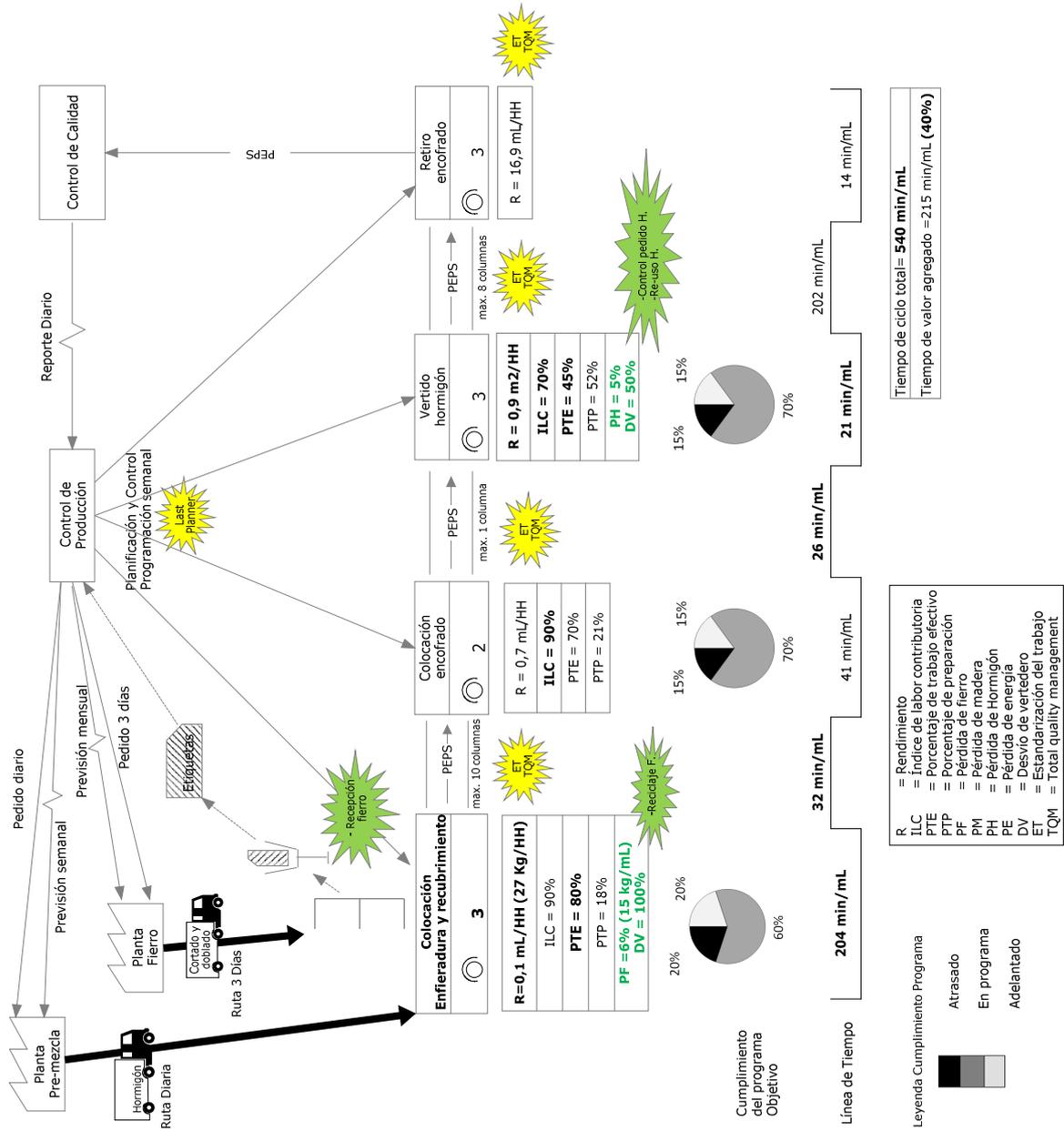


Fig. 3.19. Mapa del estado futuro de la cadena de valor de columnas.

3.8.3- Mejoramiento general

- 1- Previsión mensual de fierro:** Se debe enviar electrónicamente la solicitud de previsión mensual de fierro estimada a partir del programa a mediano plazo, asegurando la reserva de material a ser despachado en obra en un ciclo estable cada tres días. Es de vital importancia el obtener compromisos del proveedor en la puntualidad de los despachos. En este proyecto se consiguió un buen precio del fierro pero no se verificó la capacidad disponible del proveedor para cumplir con sus compromisos, este freno en la producción puede resultar más costoso que un precio más alto del material. En este caso es recomendable la renegociación del trato, establecer serias exigencias para el mejoramiento del suministro o evaluar trabajar con otro proveedor auxiliar.
- 2- Pedido de fierro cada tres días:** Se debe realizar el pedido específico de piezas de fierro cortadas y dobladas para los elementos a enfierrar en los tres días siguientes de acuerdo a la planificación.
- 3- Supermercado de recepción de fierro:** Los paquetes de fierro deben ser apropiadamente recepcionados a través del chequeo del pedido efectuado y registro de las piezas despachadas. A su vez estos deben ser apilados cerca del elemento al que pertenecen y en un orden congruente a la planificación. Una vez que la cuadrilla de fierro se disponga a colocar algún paquete deberá hacer llegar su etiqueta a control de producción para registrar el evento, para esto se puede utilizar un puesto Kanban en donde las etiquetas son depositadas y luego recolectadas por control de producción.
- 4- Previsión semanal de hormigón:** Se debe enviar electrónicamente la solicitud de previsión semanal de cubos estimada a partir del programa semanal, asegurando la reserva de material a ser despachado diariamente y con horarios establecidos.
- 5- Pedido de hormigón diario:** Se debe realizar el pedido diario de hormigón de acuerdo a la cubicación detallada de los elementos a hormigonar y al orden planificado. Los esfuerzos invertidos en el establecimiento de un pedido de hormigón inteligente presentan un gran potencial para ahorros económicos y minimización de la pérdida de hormigón. El registro del arribo de camiones, su contenido cúbico, tipo de hormigón y los elementos a hormigonar con dicho contenido debe realizarse con mayor detallamiento y orden. Conjuntamente se debe exigir a la planta de hormigón una mayor confianza en los horarios de llegada de camiones, ya que de esto depende fundamentalmente las demoras en la actividad de vertido del hormigón.
- 6- Estandarización del trabajo:** Establecer por escrito el alcance de las actividades y sus responsables. Definir en qué consiste un trabajo completado y listo para ser procesado por la actividad sucesora, definir metas, plazos a cumplir y estándares de calidad. No se debe aceptar el abandono de actividades incompletas o trabajos realizados de manera discontinua.

- 7- **Total Quality Management:** Se debe exigir a los subcontratistas encargados del desarrollo de cada actividad, el chequeo inmediato de los trabajos completados por sus cuadrillas para constatar el cumplimiento de los estándares de calidad del trabajo.
- 8- **Producción PEPS:** La meta es lograr una línea de producción PEPS (primero en entrar, primero en salir) definida por elemento, esto se puede entender como el conjunto de unidades de flujo a hormigonar. Por tanto en el caso de columnas no se debe establecer un pasillo PEPS para cada mL sino que para cada columna completa, para muros cada paño, para losas y radieres cada colada y para fundaciones cada zapata. Los subcontratistas deberán responsabilizarse por gestionar a sus cuadrillas de manera tal que se cumpla el modo de producción adoptado. El orden de procesamiento de los elementos deberá estar definido de manera específica en la planificación semanal, buscando sencillez y minimización de estorbos, movimientos y traslados con grúa y armado de las tuberías de bombeo de hormigón.

El pasillo PEPS permite un máximo de elementos en inventario que se define en cada uno de los mapas de estado futuro. Cada actividad debe producir procurando mantenerse dentro de estos límites, con el fin de mantener la nivelación y sincronización de su producción. Como las cuadrillas son transferibles entre elementos, en la eventualidad de que el pasillo PEPS se vea rebalsado, significa que es hora de trabajar en otro elemento, también puede ser un signo de problemas de ritmo aguas abajo en la producción.

- 9- **Sincronización de la producción:** Se considerará que el cliente para las cadenas de valor mapeadas es el programa maestro de obra. Este lleva implícito un ritmo de producción objetivo a ser alcanzado por la línea de producción de cada elemento constructivo. Los tiempos señalados en los mapas aseguran una sincronización adecuada con el programa maestro y por tanto el cumplimiento justo a tiempo de este.

Para lograr la sincronización, se han aumentado los porcentajes de tiempo efectivo de trabajo PTE en algunas actividades, esto se alcanza a través de la adopción de los modos de producción anteriormente señalados, sobre todo con el procesamiento continuo y la estandarización del trabajo. A su vez se requerirá de una mejor gestión de las cuadrillas por parte de los subcontratistas. Se les recomienda definir claramente tiempos de descansos autorizados y metas de trabajo completado a corto plazo, por ejemplo en el transcurso de la jornada de mañana. Conjuntamente, se han reducido algunos tiempos de inventario, la formación del pasillo PEPS contribuirá con dicha causa. Se debe exigir a los subcontratistas el cumplimiento de estos compromisos tanto para no rebalsar el pasillo aguas abajo por sobreproducción como aguas arriba por demoras en el procesamiento. La estimación no apunta a una mayor inyección de recursos para lograr la reducción de estos tiempos sino que simplemente a una nivelación de producción entre elementos.

Se dio el caso de que algunos ritmos de producción en el programa maestro eran infactibles dados los recursos disponibles en obra. En estos casos se apuntó simplemente a acelerar dichos ritmos. Se recomienda modificar el programa maestro en dichos casos hacia un ritmo factible, estos corresponden a losas y radieres.

10- Fidelización de los subcontratistas: En la medida que los subcontratistas sean capaces de adaptarse a los nuevos requerimientos se deben mantener en los proyectos futuros.

11- Planificación y control del proyecto: Se recomienda potenciar el establecimiento del sistema del Último Planificador como herramienta de planificación y control. Como se mencionó, actualmente se computan en obra el porcentaje de actividades cumplidas PAC y las causas de no cumplimiento CNC. De ellas puede desprenderse valiosos análisis en la medida de que se usen correctamente. Primeramente, estas deben formar parte de la discusión en las reuniones semanales, ya que aportan una perspectiva objetiva y cuantitativa de los temas abordados, ayudan a aclarar y organizar dichos temas y a vislumbrar los problemas. Así, el foco de la reunión se puede trasladar desde la identificación de problemas a la generación de soluciones. Los actores involucrados deben sentirse parte del sistema del Último Planificador con el fin de fortalecer el valor de sus compromisos y las implicancias del no cumplimiento de ellos para el resto de los actores.

En el proyecto se cuenta con una mirada a largo plazo, materializada en el programa maestro y otra a corto plazo, materializada en las reuniones semanales. La primera provee la noción de las actividades que se deben hacer, la segunda las que se harán. Se recomienda instaurar conjuntamente a ellas, una mirada de mediano plazo, la cual proveerá la noción de lo posible de hacerse. Esta se puede materializar de manera sencilla, al llevar un inventario de trabajos ejecutables ITE, es decir las actividades que tengan todas sus restricciones liberadas. Dichas restricciones pueden ser de diversa índole, entre ellas están los cambios en el diseño; disponibilidad de materiales, mano de obra y equipos y los prerrequisitos de las actividades predecesoras. El ITE permite organizar y priorizar la planificación de las actividades ejecutables.

12- Manejo de residuos: Existen distintas alternativas para mejorar el manejo de residuos de la obra. Una de las más utilizadas en el país es la contratación de una empresa para realizar este manejo con un cobro asociado al traslado de los contenedores, generalmente se logran desviar entre un 50% y un 75% de los residuos. Esta alternativa eleva los costos del manejo de residuos existente debido a que estas empresas cobra un precio extra por el compromiso de desviar los residuos de vertedero. Así, esto es recomendable cuando se está persiguiendo créditos para una certificación verde.

Este proyecto en particular no persigue dichas certificaciones por lo que se recomienda buscar una alternativa que permita el desvío de los residuos sin necesariamente elevar los costos del manejo. Lograr esto no es complicado debido a que existen diversas organizaciones dispuestas retirar los residuos reciclables o reutilizables del sitio de obra de manera gratuita, siempre que dichos residuos estén debidamente clasificados. La limitación de espacio no es un problema en el sitio de la obra por lo que se recomienda instalar distintos contenedores para ir clasificando el residuo a medida que este va siendo descartado.

Al descartar los residuos de tierra y piedras provenientes de la excavación (es la convención para algunas certificaciones verdes), resulta la clasificación de residuos según el volumen cuantificado presentada en la figura 3.24.

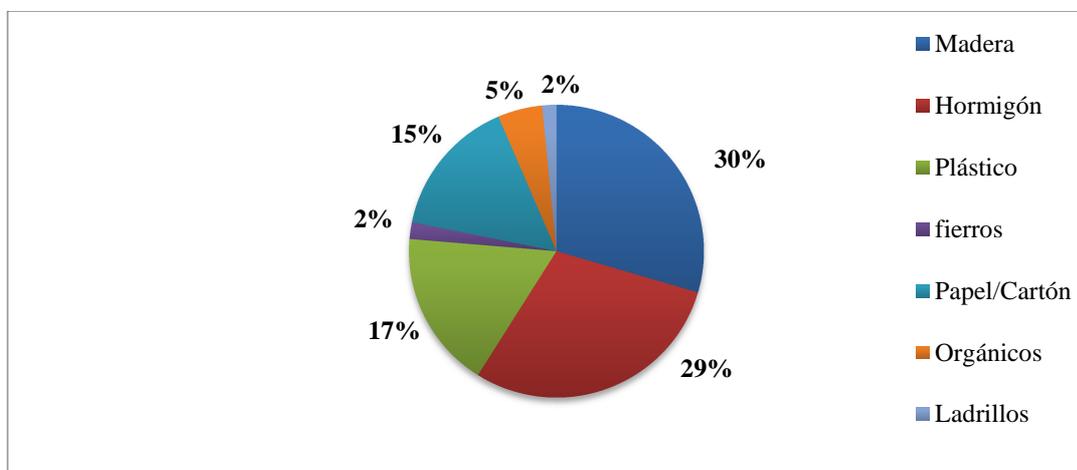


Fig. 3.24. Distribución de residuos de construcción por volumen.

En el caso de que se logre separar en obra los fierros, papel y cartón y residuos orgánicos en tres contenedores distintos, es posible conseguir que estos sean retirados en el sitio de obra para ser reciclados. Esto corresponde a un 22% de reducción de residuos destinados a vertedero y por lo tanto una reducción similar en el costo económico de esto (dependiendo del proveedor de reciclado de papel y cartón pudiese ser necesario la separación de estos).

El hormigón puede ser reutilizado como árido para la estabilización de suelos para caminos u otras obras similares por lo que las empresas del rubro pueden requerirlo, aunque si este no ha sido chancado probablemente no vendrán a retirarlo. La recomendación tanto para el hormigón como para ladrillos, la tierra y piedras provenientes de la excavación es reutilizarlos en la obra misma incluyéndolos en el proyecto de paisajismo, esta nueva tendencia se denomina Xeriscaping, es de alta sustentabilidad y permite el diseño de novedosos paisajes a bajo costo. También se sugiere utilizar parte de este hormigón como relleno o árido para drenajes dentro de la obra. Así, se considera que desviar un 50% del residuo correspondiente a hormigón y ladrillos sería un resultado favorable (existe poca documentación a nivel nacional como para refinar dicha estimación), con lo que el total desviado se eleva a 36%. Además, considerando el volumen de tierra y piedras desviado de vertedero, los ahorros económicos por concepto de traslado serán incluso mayores a esto.

La madera potencialmente también puede ser reciclada, pero de manera similar al hormigón, necesita estar chipiada, o bien pagar un costo por su traslado a los puntos de reciclaje. En el caso de que el contratista general realizase este proceso simple en obra, podría optar por entregar su madera chipiada a reciclaje o reutilizarla en el proyecto de paisajismo y de esta manera conseguir un desempeño sobresaliente en manejo de residuos y solo pagar por el traslado a vertedero del material plástico. El desviar de vertedero un 100% de la madera a través de los mecanismos explicados se considera factible e implica ascender a un 66% de desvío total de los residuos. Al incluir la tierra y piedras que fueron

trasladas a vertedero durante el periodo de medición, el ahorro total ascendería a un 85%, sin mencionar el beneficio medioambiental.

13- Sustentabilidad del sitio: Se observaron varios problemas en el sitio de obra relacionados principalmente con la erosión de la tierra y el mal uso del agua. La obra requiere de una cuantiosa remoción de terreno, esta acción deja suelto mucho material que expuesto al viento eleva gran cantidad de material particulado. Debido a que el sitio se encuentra alejado de la ciudad este efecto se puede considerar poco relevante, sin embargo es muy perjudicial para la salud de los trabajadores. Una típica solución para esto es el riego del terreno suelto, pero debido a su poca eficiencia hídrica se recomienda el uso de geotextiles biodegradables para recubrimiento o sembrado para estabilización.

Se constató que el agua disponible en obra se utiliza con bastante descuido debido a que los trabajadores no le otorgan relevancia al ahorro de esta. Esto no sólo se traduce en pérdidas económicas e hídricas sino también puede ocasionar riesgo estructural. Por ejemplo, era bastante frecuente que las cuadrillas de vertido del hormigón utilizaran mucha agua para limpiar sus equipos, realizando esto sobre el suelo base de los radieres. Esto desmedra el mejoramiento de suelo e implicaba rehacer el trabajo o a veces obtener radieres de menor calidad. Se recomienda capacitar y concientizar a las cuadrillas de la importancia del ahorro de agua y destinar lugares y tinajas para limpieza de equipos y herramientas. También es recomendable impedir los flujos de agua contaminada o con sedimentos hacia fuera del sitio de obra.

3.8.4- Muros y Columnas

Los mapas de estados futuros para muros y columnas se presentan en las figuras 3.19 y 3.20 respectivamente. Se han establecido valores objetivos para los indicadores en los MCV dentro de rangos factibles con el fin de permitir el alcance de los estados futuros. Estos valores se han establecido mediante el juicio del autor.

1- Colocación de fierro y recubrimiento: Las actividades de colocación de fierro y colocación de recubrimientos se unirán para formar una sola actividad. Esto implica que será efectuada por la misma cuadrilla y de manera continua. Se establece como meta el aumento del PTE a un 80% para columnas y 85% para muros, con el fin de acortar la duración de las actividades y aumentar su rendimiento. Para lograr esto se debe evitar el abandono de trabajo no completado y de no cumplimientos de los estándares de calidad. En muros es muy frecuente el trabajo discontinuo, por ejemplo: se coloca la armadura longitudinal meses antes de la transversal, esto implica que la primera fue colocada tempranamente o bien, la última, tardíamente. Situaciones como esta deben ser evitadas. Tanto para muros y columnas sucede frecuentemente que se abandona el trabajo antes de colocada la totalidad de las piezas de la armadura, ya sea porque no hay claridad en el trabajo o porque se pretende dejar pendiente. Se debe exigir al subcontratista el chequeo de la instalación correcta de todas las piezas y recubrimientos, además de una adecuada gestión de las cuadrillas para maximizar los tiempos de valor agregado, establecer tiempos claros de descansos autorizados y transmitir los nuevos modos de trabajo. Los objetivos de reducción de las duraciones de las actividades e inventarios aseguran una

sincronización con el programa maestro y por tanto un mayor porcentaje de cumplimiento de este.

Es esperable que la pérdida de fierro disminuya considerablemente a través de la implementación del supermercado de recepción de fierro. Esto se debe complementar con el incentivo de los subcontratistas por la utilización ordenada de los paquetes de fierro, procurando instalar el fierro según las etiquetas y evitando el despunte innecesario de material. La pérdida remanente deberá de ser reciclada en su totalidad.

En el caso de columnas, algunas enfierraduras fueron ensambladas en un taller en el sitio y luego trasladadas a la ubicación del elemento. Esto es muy adecuado y debe privilegiarse sobre la opción de enfierrar en el lugar mismo del elemento.

2- Colocación de encofrado: Se establece como objetivo el aumento del ILC a un 90% para el caso de columnas y muros con el fin de disminuir la variabilidad en el rendimiento y calidad del trabajo efectuado. Para esto se debe exigir al subcontratista a cargo de la colocación de encofrado una gestión apropiada de sus cuadrillas, estandarización y control total de la calidad del trabajo terminado, esto último para evitar problemas como el movimiento del encofrado durante el hormigonado, problema habitual en muros. Es frecuente que las terminaciones de los encofrados se dejen pendientes para más tarde o que parte de la cuadrilla sea redirigida a otro elemento, esto debe ser evitado. Periódicamente en el caso de muros existe sobredimensionamiento de las cuadrillas, ocasionando que operarios no puedan trabajar, esto también debe ser controlado. Se evidencia conjuntamente, que los operarios gastan bastante tiempo buscando piezas de encofrado dentro de grandes canastas desordenadas. Se debe preferir el uso de canastas más pequeñas y localizadas más cerca del lugar de trabajo y que mantengan un orden mayor. En el caso de muros se requerirá de un leve aumento en el PTE a 75%, es esperable que esto se consiga con la implementación de las medidas anteriores. En el caso de muros no se exige reducir la pérdida de madera pero sí el desviarla ciento por ciento de vertedero a través de su reciclado o reutilización.

3- Vertido de hormigón: Se establece la meta de un aumento del PTE a un 45% en el caso de columnas y a 40% en el caso de muros, con el fin de aumentar el rendimiento de la actividad y la utilización de la cuadrilla. Esto es posible de realizarse en la medida de que la planta de hormigón pre-mezclado sea capaz de cumplir con los horarios de llegada para los camiones establecidos. Se requerirá también de aumentar el ILC en ambos elementos con el fin de disminuir la variabilidad y las demoras en la actividad. Se debe mejorar la gestión de las cuadrillas a través de la estandarización del trabajo y control de la calidad de este. Se evidenció continuamente que los camiones de hormigón podían presentar horas de demora, en las cuales la cuadrilla de hormigón detenía completamente sus labores. El tiempo disponible de trabajo debe ser aprovechado al máximo, incluso durante estas demoras, utilizándolo para levantar restricciones de trabajos próximos y realizar diversas actividades de soporte y limpieza.

Es de esperarse que la pérdida de hormigón disminuya debido al mejoramiento en los pedidos de camiones de hormigón. Esto se debe complementar con el incentivo de los capataces hacia las cuadrillas de cuidar el material durante el vertido de este. El capacho debe de ser utilizado con mayor cuidado y no se debe verter sin un buzón para evitar los derrames.

Para el caso de muros el vertido del hormigón se realiza mayoritariamente con bomba, es frecuente que esta sea encendida muy anticipadamente al bombeo y que permanezca en dicho estado durante las demoras. Esto ocasiona un gran gasto energético por lo que se deberá orientar al operador de la bomba en el uso correcto de la máquina, procurando minimizar su tiempo de encendido innecesario. Esto presenta un gran potencial de ahorro económico y medioambiental.

3.8.5- Losas

El mapa de estado futuro para losas se presenta en la figura 3.21.

- 1- **Unión de la producción de losas y capiteles:** Se pudo constatar en terreno que existían cuadrillas asignadas a trabajar en losas y otras en capiteles, tanto para la colocación de cimbra como de fierro, esto dificulta la producción debido a que segrega los equipos de trabajo y oscurece las metas. Se asignaba a una cuadrilla a trabajar todos los capiteles de un sector y a otra las losas, los metros cuadrados a instalar eran excesivos y los plazos poco claros. Es recomendable encargar a las cuadrillas la realización de un elemento en específico, por ejemplo una colada, así los equipos se unen para terminar con dicho elemento. Evidentemente es deseable que hayan encargados de capiteles y otros de losas, siempre que el objetivo sea la colada, de manera que existan contribuciones entre cuadrillas en vez de estorbos.
- 2- **Colocación de cimbra:** El subcontratista deberá trabajar el cimbrado de manera ordenada de acuerdo al paño de hormigón que será vertido y evitar dejar pequeños detalles pendientes. Minimizar los traslados de materiales, acopiándolos en lugares estratégicos. Se pretende aumentar a un 90% el PTE y el ILC con el fin de disminuir la variabilidad y duración total de la actividad. Para esto se deben asignar cuadrillas específicamente dedicadas al cimbrado de losas, con el fin de evitar interrupciones en el trabajo producto de la redirección de operarios a otros elementos y al aumento en el rendimiento producto de la experiencia. Se recomienda establecer plazos claros en la entrega del trabajo. Frecuentemente se iniciaba el cimbrado en capiteles con bastante anticipación y se terminaban los pequeños detalles del cimbrado de manera atrasada. Evitando estas situaciones será posible alcanzar las metas propuestas.

La pérdida de madera en losas se asocia principalmente al moldaje de contorno ya que hubo muy poco descimbre durante el periodo de medición. Se plantea como objetivo el reducir en un 50% dicha pérdida a través de la utilización de madera de mejor calidad y generando soluciones estandarizadas para el paso de cables e instalaciones en vez de parches y piezas pequeñas improvisadas. La pérdida remanente deberá ser reciclada.

- 3- **Colocación de fierro:** Se pretende aumentar también el ILC y PTE a un 90%. Para esto contribuirá tanto el adecuado manejo de los paquetes recepcionados de fierro, evitando los traslados y movimientos innecesarios, como el mejoramiento en la gestión de las cuadrillas al disminuir los tiempos en que no se agrega valor. Se debe ir estableciendo continuamente metas de corto plazo y bajo estándares de calidad definidos.

La pérdida de fierro deberá ser reducida en un 50% a través de la recepción adecuada de los paquetes de fierro. Debe exigirse la colocación de acuerdo con las etiquetas y evitar cortar el material. La pérdida remanente se debe reciclar.

- 4- Vertido del hormigón:** Se pretende aumentar el PTE a un 80%. Esto puede alcanzarse en la medida de que se obtengan compromisos con la planta de pre-mezcla de aumentar la confianza en los horarios de llegada de los camiones de hormigón. Para el caso de losas esta es la principal demora y genera que frecuentemente las cuadrillas terminen su trabajo pasada la jornada laboral, esta es una práctica de trabajo que debe evitarse. También se requiere de aumentar el ILC con el fin de disminuir la variabilidad del rendimiento. Se logrará esto a través del mejoramiento de la gestión de las cuadrillas.

Se debe reducir la pérdida de hormigón a través de mejorar los pedidos de hormigón con cubicaciones de mayor precisión y considerando todos los elementos a hormigonar durante el día. La pérdida energética se reducirá minimizando el tiempo de encendido innecesario de la bomba.

- 5- Modificación del programa maestro:** El ritmo de producción de losas en el programa maestro es infactible para la situación de producción real por lo que se debe modificar.

3.8.6- Radieres

El mapa de estado futuro para losas se presenta en la figura 3.22.

- 1- Construcción del suelo base:** Se pretende aumentar el rendimiento de la actividad a través de establecer metas de trabajo entregado a corto plazo y un establecimiento claro de las responsabilidades de la actividad. Se debe intentar minimizar los movimientos de ripio en la obra debido a que entorpece el trabajo de otros.
- 2- Colocación de mallas y vertido del hormigón:** Se debe aumentar el PTE de la actividad a través del compromiso de la planta de pre-mezcla de hormigón de aumentar la confianza del horario de llegada de camiones. El ILC se debe aumentar a través del mejoramiento de la gestión de cuadrillas.

La pérdida de hormigón se reducirá a través del mejoramiento de los pedidos de hormigón. Conjuntamente, se debe incentivar el cuidado en el vertido para evitar derrames. La pérdida de fierro puede ser reducida simplemente utilizando de manera eficiente las mallas, evitando traslapes excesivos y minimizando el despunte. A su vez la pérdida de madera se puede controlar mejorando el cuidado del material de moldaje de contorno. Por último el uso eficiente de la bomba de hormigón permitirá ahorros energéticos considerables.

- 3- Modificación del programa maestro:** Al igual que en el caso de losas, el ritmo implícito en la producción de radieres presente en el programa maestro es infactible para la situación de producción real por lo que se recomienda modificarlo.

3.8.7- Fundaciones

El mapa de estado futuro para fundaciones se presenta en la figura 3.23.

- 1- Colocación de fierro:** Entre dicha actividad y su antecesora se debe controlar el inventario generado con el fin de agilizar la línea de producción completa. El ensamblaje de las parrillas de fierro para fundaciones se realiza en un taller dentro del sitio, esto es sumamente adecuado pero debe planificarse el trabajo de manera controlada y sincronizada al ritmo de producción.

Debe exigirse el uso de piezas de fierro según etiquetado para minimizar los cortes y despuntes de fierro. La pérdida remanente debe ser reciclada.

- 2- Vertido de hormigón:** Se pretende aumentar el ILC de la actividad a través del mejoramiento en la gestión de cuadrillas. También se debe mejorar la planificación de la actividad con el fin de controlar los inventarios y sincronizar la producción.

La pérdida de hormigón, al igual que la energética se debe reducir por el método ya descrito. La pérdida de madera es posible de eliminarla a través de utilizar andamiaje metálico para el hormigonado, pero esto no se recomienda expresamente ya que implica un aumento de recursos.

3.9- Resumen del Capítulo.

Se mostró en este capítulo el desarrollo de las adaptaciones al MCV y su implementación propiamente tal a la investigación. Los datos recopilados e indicadores calculados en la investigación se presentan en los anexos B y C debido a su extensión. En el capítulo siguiente se establecen las conclusiones finales del trabajo.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES FINALES

4.1- Introducción al Capítulo.

En el presente capítulo se presentan las conclusiones elaboradas luego de realizada la investigación, se comentan los resultados obtenidos, las contribuciones al conocimiento, la afirmación de la hipótesis y la relevancia práctica del estudio. Además se proponen algunas investigaciones futuras basadas en esta.

4.2- Resultados Obtenidos

Se obtuvo de esta investigación primeramente, un acabado diagnóstico de la producción de los principales elementos constructivos del proyecto estudiado. Dicho diagnóstico aportó una perspectiva distinta del desempeño de la línea de producción, al codificar esta como una cadena de valor. Así, permitió la detección de pérdidas productivas y medioambientales que sistemáticamente ocurren y reveló las muchas oportunidades de mejoramiento que típicamente permanecen ocultas al control de producción. Ejemplos de esto son los bajos porcentajes de ILC (índice de la labor contributiva) observados para la actividad de vertido del hormigón (cerca de un 60%), indicador que mide la utilización de la mano de obra. También el PTE (porcentaje de tiempo efectivo) de esta actividad, que mide el aprovechamiento del tiempo, denota graves problemas al aproximarse a sólo un 40%. El PVA (porcentaje de valor agregado), que cuantifica a su vez el aprovechamiento del tiempo, pero durante el ciclo completo de la cadena de valor, se mostró bastante disperso al compararlo entre elementos. Entregó resultados bastante favorables, como en el caso de losas, en donde su valor alcanza un 67% y otros muy deficientes, como en fundaciones, donde se logra sólo un 18%. Por otra parte se registraron tiempos excesivos de esperas en inventarios, una gran variabilidad en la producción y problemas de planificación y control. Los indicadores medioambientales evidenciaron grandes desperdicios de recursos como fierro (12%), hormigón (6%) y combustible (20%), además del manejo deficiente de los residuos generados.

Conjuntamente, se generaron estados optimizados de producción y métodos para alcanzarlos. Los estados que se idearon reducen las pérdidas productivas y medioambientales considerablemente y sin la necesidad de inyectar recursos al sistema. Además, armonizan la producción con los requerimientos del cliente final. Para esto fue necesaria la reducción de hasta un 40% de los tiempos de ciclos de producción, a través de la optimización de los tiempos que agregan valor y la disminución de aquellos que no, como son los extensos tiempos de inventario que fueron registrados. Se introdujeron mejoras en la gestión y aprovechamiento del tiempo y los recursos humanos, planificación y control, estandarización del trabajo y calidad, reducción de los residuos generados y el manejo apropiado de estos. Los estados futuros elaborados definen metas claras y factibles de ser alcanzadas en sus indicadores. Por ejemplo, se pueden mencionar las reducciones de hasta un 50% en pérdidas materiales y el desvío de alrededor de un 70% del total de los residuos de ser depositados en vertederos.

Es importante señalar que no necesariamente existe una concordancia entre los resultados obtenidos por el MCV y las herramientas tradicionales al comparar indicadores comunes como el rendimiento por ejemplo, esto debido a que el MCV distingue las actividades de los tiempos de inventario y la mano de obra específicamente involucrada en la actividad. Por otro lado, las herramientas tradicionales adoptan frecuentemente una mirada menos detallada de estos aspectos y por tanto los valores obtenidos son de naturaleza distinta.

4.3- Comentarios sobre la Hipótesis

La herramienta de Mapeo de Cadena de Valor efectivamente es una herramienta de gran potencial para la detección de pérdidas productivas y medioambientales. Sin embargo, es necesario comentar que la experiencia de realización de la investigación evidencia que, tanto la elaboración del diagnóstico del estado actual como la propuesta de mejoramiento hacia un estado futuro, requieren de un experto que se encargue enteramente de la tarea. De este asunto depende principalmente la eficiencia y eficacia de la herramienta y se intuye que los periodos de observación en terreno y procesamiento de la información podrían acortarse considerablemente con el incremento de la experiencia de su ejecutor. Por otra parte, es importante mencionar que la implementación de las mejoras propuestas, requiere de un compromiso serio de todos los actores involucrados en el proyecto.

4.4- Contribuciones al Conocimiento

La principal contribución de la presente investigación es el proveer un análisis de sustentabilidad enfocado puramente en el periodo de construcción del proyecto y cuyas dimensiones de estudio comprenden tanto la productiva como la medioambiental.

Cabe mencionar que a su vez documenta una experiencia pionera en la implementación del Mapeo de Cadena de Valor incorporando las dimensiones de estudio anteriormente mencionadas en el sector de la construcción. Dicha contribución significa una primera puesta en práctica de la fusión entre Lean Construction y Green Building, la filosofía Green-Lean.

Otras importantes contribuciones de la investigación son los métodos ideados para medir y calcular indicadores, junto con la creación de algunos de estos. Por ejemplo, puede mencionarse al indicador ILC (índice de labor contributiva) que permite detectar claramente la mano de obra ociosa en una actividad, para este se ideó un sencillo método de monitoreo y registro en tablas especialmente diseñadas, además del procedimientos de cálculo del indicador mismo. También está el índice PTE (porcentaje de tiempo efectivo), que evidencia los problemas de aprovechamiento del tiempo y por supuesto, los indicadores de pérdidas de recursos materiales. Cada uno de estos últimos requirió del desarrollo de un método de medición en terreno. Por ejemplo, la pérdida de hormigón que fue medida al contrastar el volumen de diseño de los elementos con el transportado por los camiones de hormigón, la pérdida de fierro que se efectuó comparando los residuos generados con la cantidad de material instalado en un periodo determinado o la pérdida de combustible que se ideó a partir de la observación de que la bomba de hormigonado frecuentemente se encontraba encendida pero sin ser utilizada. Se desarrolló asimismo el indicador DV (desvío de vertedero) que permite cuantificar el porcentaje de los residuos generados que es desviado de ser depositado en vertedero a través de la reinserción al

sistema por reciclaje o re-uso y también el indicador de cumplimiento de programa que, a través de una manera gráfica, muestra los porcentajes de actividades adelantadas, justo a tiempo o atrasadas con respecto al programa. Otras contribuciones relevantes son las adaptaciones conceptuales efectuadas a la herramienta de Mapeo de Cadena de Valor para dotarla de coherencia en el sector de la construcción.

Por último se debe destacar la forma en que se presentan los mapas confeccionados, para esto se elaboró alguna simbología, como la ya mencionada presentación del indicador de cumplimiento del programa, con el fin de otorgar un carácter práctico a los mapas y un despliegue de la información fácil de interpretar.

4.5- Relevancia Práctica

El MCV con dimensiones productivas y medioambientales permitirá a los administradores de la construcción identificar y medir de manera clara y eficaz las fuentes de pérdidas que existen en sus procesos constructivos. Además, aplicando la filosofía Green-Lean podrán ver las oportunidades de mejoras y proponer planes para materializarlas. De este modo serán capaces de ahorrar costos de materiales y energías, mejorar la gestión de la mano de obra, cumplir con los plazos y calidad estipulada por sus clientes, disminuir la variabilidad y por supuesto minimizar el impacto ambiental generado por sus procesos al limitar emisiones de todo tipo y optimizar el uso de los recursos. Podrán notar como las mejoras productivas potencian las medioambientales y viceversa, y también como sus clientes se ven más satisfechos debido a que sus necesidades comienzan a tomar el peso que merecen.

Cabe destacar que las potencialidades de la herramienta no fueron explotadas del todo en la presente investigación, la gama de indicadores calculados puede ser extendida y modificada. Por otra parte, con la disposición de mayores recursos es posible cuantificar otras pérdidas medioambientales como emisiones a la atmósfera o huella hídrica por ejemplo.

4.6- Futuras investigaciones.

La presente investigación da pie para la realización de diversas otras que utilicen y complementen las contribuciones de esta. Dentro de estas puede mencionarse la aplicación del MCV en proyectos de otras categorías como son las edificaciones de altura, obras civiles y diversas infraestructuras; la comparación de estados actuales de las cadenas de valor entre proyectos similares; el monitoreo de la implementación de los estados futuros en diversos proyectos, la inclusión de nuevas partidas y/o elementos en el mapeo y la inclusión de nuevos indicadores o modificaciones de los actuales para mejorar la implementación de la herramienta.

4.7- Resumen del Capítulo.

La investigación documentada en este informe surgió a partir de la necesidad de enfocar estudios de sustentabilidad, entendiendo sustentabilidad no sólo a través de las consideraciones medioambientales pero sociales y económicas también, en la etapa de construcción de los proyectos. A través de la aplicación de la herramienta MCV con dimensiones productivas y medioambientales en actividades fundamentales de la construcción, como son la colocación de

enfierradura, encofrados y el vertido de hormigón, se consiguió atacar gran parte del problema de investigación. Aún resta mucho por desarrollar si es que se quiere conseguir mejoras sustanciales en la sustentabilidad del sector de la construcción, como son las investigaciones propuestas en la sección 4.6 ó la inclusión de la dimensión social en el estudio, a través de la consideración del bienestar de los trabajadores involucrados en el proyecto y los habitantes cercanos a este. Sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación son muy alentadores, en el sentido de que evidencian el gran potencial del MCV para mejorar el desempeño del sector y corregir los errores que se cometen sistemáticamente en la gestión de los proyectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arbulu, R.J. y Tommelein, I.D. (2002), Value Stream Analysis of Construction Supply Chains: Case study on pipe supports used in power plants. Proceedings Tenth Annual Conference of the International Group of Lean Construction, IGLC-10, 6-8 Agosto, Univ. Federal de Rio Grande do Sul, Gramado, Brazil, pp. 183-195.
- Bevilacqua, M, Ciarapica F.E. y Giacchetta G. (2008), Value Stream Mapping in Project Management: A Case Study. Project Management Journal, Vol. 39, Italy, pp. 110-124.
- Ballard G. (2000), The Last Planner System of Production Control. PhD Dissertation. School of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, The University of Birmingham, Birmingham, U.K.
- World Commission on Environment and Development (1987), Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, USA.
- Fontanini, P.S.P. y Picchi, F.A. (2004), Value Stream Macro Mapping – a case study of aluminum windows for construction supply chain. Proceedings Twelfth Annual Conference of the International Group of Lean Construction, IGLC-12, Copenhagen, Denmark, pp. 576-587.
- Fischer, M. (2006), Formalizing Construction Knowledge for Concurrent Performance based Design. Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, California, USA.
- Hagan, G. (2002), Effective Work Breakdown Structures. Management Concepts, Inc. USA.
- Kaplan, R. y Norton, D. (1992), The Balanced Scorecard – Measures that Drive Performance. Harvard Business Review. USA, pp. 71-79.
- Koskela, L. (1992), Application of the New Production Philosophy to Construction. CIFE Technical Report #72, Stanford University, California, USA.
- Koskela L. (2000), An Exploration towards a Production Theory and its Application to Construction. PhD Dissertation, VTT Pub. 408, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.
- Lefcovich, M. (2003), El Kaizen Aplicado a la Industria de la Construcción. El Cid Editor, Santa Fe, Argentina. En: <<http://biblioteca.unicafam.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblioNumber=41267>>. [10 septiembre 2011].
- Martínez, P; González, V. y Da Fonseca E. (2009), Integración conceptual-Verde en el diseño, Planificación y Construcción de Proyectos. Revista Ingeniería de Construcción, V.24, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile, pp. 5-32.

- Oglesby, C, Parker, H y Howell, G. (1989), Productivity Improvement in Construction. McGraw-Hill, Inc. USA.
- Osses P. (2004). Desarrollo, Adaptación y Validación de un Modelo para la Evaluación de la Sustentabilidad de la Construcción en Chile. Tesis de pregrado, Escuela de Ingeniería de la Construcción, Universidad de Valparaíso, Chile.
- Ohno, T. (1988), Toyota Production system: Beyond Large Scale Production. Productivity Press. Cambridge, MA, USA.
- Pasqualini, F. y Zawislak, P.A. (2005), Value Stream Mapping in Construction: A case study in a Brazilian construction company. Proceedings Thirteenth Annual Conference of the International Group of Lean Construction Proceedings, IGLC-13, Sydney, Australia, pp. 117-125.
- Pyke, C, McMahon S. y Dietsche, T. (2010), Green Building & Human Experience. U.S. Green Building Council. Washington D.C, USA.
- Porter, M. (1985), Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. Free Press. New York, USA.
- Rother, M. y Shook, J. (1999), Learning to see: Value stream mapping to create value and eliminate muda. Lean Enterprise Institute, Brookline, MA, USA.
- Scientific Applications International Corporation. (2006), Life Cycle Assessment: Principles and Practice. National Risk Management Laboratory. Environmental Protection Agency. Ohio, USA.
- Salem, O. y Zimmer, E. (2005), Review - Application of Lean Manufacturing Principles to Construction. Lean Construction Journal, Vol. 2 #2, Cincinnati, USA, pp. 51-54.
- Shingo, S. (1988), Non-Stock Production: The Shingo System of Continuous Improvement (Most Detailed Examination of the Fundamentals of JIT. Productivity Press. Cambridge, USA.
- Shinohara, I. (1988), New Production System: JIT Crossing Industry Boundaries. Productivity Press. Cambridge, USA.
- Suh, S, Lenzen, M y Hondo, H. (2004), System Boundary Selection in Life Cycle Inventories Using Hybrid Approaches. Environmental Science & Technology. Vol. 38, N° 3, USA, pp. 657-664.
- United States Environmental Protection Agency. (2007), The Lean and Energy Toolkit [pdf]. USA. En: <www.epa.gov/lean>. [22 agosto 2011].
- United States Environmental Protection Agency. (2007), The Lean and Environmental Toolkit [pdf]. USA. En: <www.epa.gov/lean>. [22 agosto 2011].

- United States Environmental Protection Agency. (2008), Working Smart for Environmental Protection [pdf]. USA. En: <www.epa.gov/lean>. [22 agosto 2011].
- U.S. Green Building Council. (2009), LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction. USA: Green Building Council.
- Yu, H; Tweed T; Al-Hussein M; y Nasser, R. (2009), Development of Lean Model for House Construction Using Value Stream Mapping. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 135, N° 8, Edmonton, Canada. pp. 782-790.

ANEXOS

ANEXO A: Profesionales involucrados en la investigación.

1- Bárbara Rodríguez Droguett

Años De Experiencia: 7

Cargo Actual: Jefa Área de Sustentabilidad Idiem.

Formación: Arquitecta Msc, Empa, Leed AP Bd+C Edac.

2- Rolf Sielfeld

Años De Experiencia: 9

Cargo Actual: Ingeniero y Socio en empresa Energy Arq. Ltda.

Formación: Ingeniero Químico, Leed AP.

3- Vicente González

Años De Experiencia: 10 años.

Cargo Actual: Catedrático Universidad De Auckand.

Formación: Ingeniero en Construcción, Magister en Construcción, Ingeniería y

Administración, Phd Ingeniería y Gestión de la Construcción, Postdoctorado Ingeniería y

Gestión de la Construcción.

4- Alejandro Escandar

Años De Experiencia: 8

Cargo Actual: Jefe de Instalaciones y Coordinador BIM en Constructora L y D S.A.

Formación: Ingeniero Civil.

ANEXO B: Datos Recopilados En Terreno

Se presentan tablas de resumen para los datos recopilados en terreno:

- Columnas: Colocación de enfierradura

Tabla B.1. Datos colocación de enfierradura en columnas.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	H	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m	min	min
1	4S F11	0,9	3	0	60	3,1	10	80
2	4S D5.1	0,9	4	0	30	3,1	0	100
3	4S E.1 5.1	0,9	4	0	30	3,1	5	80
4	4S D.2 12	0,9	4	1	30	3,1	5	80
5	4S D.2 11	1,2	3	0	40	3,1	5	80
6	4S F12	0,7	4	0	40	3,1	5	80
7	4S C8	0,8	4	1	40	3,1	10	70
8	4S H5.1	0,8	4	0	30	3,1	0	75
9	3S G12	0,6	3	0	45	2,2	5	100
10	3S G9	0,8	3	0	30	2,2	0	120
11	3S D.2 9	1,0	3	0	30	2,2	0	165
12	4S D.2 8	0,8	4	0	50	3,1	5	25
13	3S J11	1,2	3	4	70	3,0	10	100
14	3S J12	1,2	3	2	70	3,0	29	45
15	3S I9	0,9	3	3	100	3,0	15	30
16	3S N7	0,9	3	2	30	2,2	0	45
17	4S D7	2,0	5	5	100	7,7	20	60
18	3S O5	1,2	3	4	80	3,1	5	60
19	4S G3	1,0	3	0	60	3,1	5	120
20	3S M5	1,4	3	1	115	2,2	5	120
21	3S M6	1,0	3	2	95	2,2	10	150
22	3S J9	1,6	3	2	55	3,0	5	150
23	3S L6	1,2	3	2	35	2,2	0	90
24	3S J8	1,1	3	3	35	3,0	0	90
25	3S L5	1,0	2	1	125	2,2	10	100
26	4S L3	1,2	4	2	35	3,1	0	180
27	4S K3	1,3	4	2	75	3,1	5	200
28	3S I10	1,6	2	4	115	3,0	5	120
29	3S H12	0,9	3	3	145	3,0	30	100
30	3S J5	1,2	2	0	75	2,2	5	40
31	3S G12	1,1	3	2	45	2,2	10	60
32	3S G11.1	1,2	3	0	85	2,2	0	135
33	4S E.1 5.1	0,9	4	1	60	3,1	5	40
34	3S N6	1,0	3	9	30	2,4	5	100
35	3S K12	1,1	3	4	70	3,2	15	80
36	3S K10	1,0	3	12	80	3,5	5	100
37	3S H10	1,0	2	4	115	2,4	10	80
Promedio		1,1	3	2	64	2,9	7	94
Max		2,0	5	12	145	7,7	30	200
Min		0,6	2	0	30	2,2	0	25

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

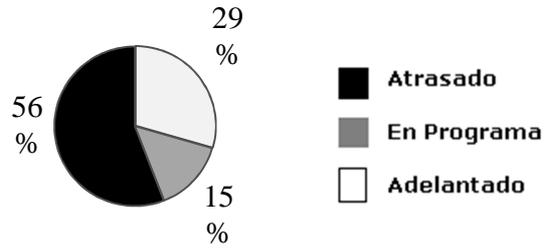


Fig. B.1. CP para colocación de enfierradura en columnas.

- Columnas: Colocación de encofrados

Tabla B.2. Datos colocación de encofrados en columnas.

Muestra	ID	D	O	TI	TM	H	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m	min	min
1	4S - D12	0,2	2	0	60	3,1	5	25
2	4S - C11	0,3	2	0	60	3,1	5	20
3	4S - D10	0,2	2	0	60	3,1	5	20
4	4S - F11	0,2	2	0	30	3,1	5	10
5	4S - D 5.1	0,2	2	0	40	3,1	0	20
6	4S - E.1 5.1	0,2	3	0	40	3,1	5	25
7	4S - F 5.1	0,2	2	0	30	3,1	0	15
8	4S - E.1 4.2	0,2	2	1	30	3,1	5	20
9	4S - D.2 11	0,2	2	0	50	3,1	0	15
10	4S - F8	0,2	2	0	30	3,1	0	15
11	4S - D.2 10	0,4	2	0	90	3,1	20	20
12	3S - J12	0,2	3	0	40	3,0	0	15
13	3S - J11	0,2	3	0	65	3,0	10	20
14	AS - F.1 - X.4	0,3	3	1	30	3,1	5	20
15	AS - E.2 - X.4	0,2	3	1	40	3,1	5	30
16	AS - E.2 - X.3	0,2	3	1	40	3,1	5	40
17	AS - F.1 - X.3	0,3	3	1	60	3,1	5	40
18	3S - J10	0,3	3	1	45	3,0	5	40
19	3S - M6	0,2	2	1	50	2,2	10	30
20	3S - N5	0,2	2	0	50	2,2	10	30
21	4S - B.2 12	0,2	2	0	70	3,1	10	20
22	4S - I3	0,2	3	0	30	2,8	0	30
23	3S - H 12 (13)	0,2	2	0	40	2,8	5	20
24	3S - G12	0,3	3	0	25	2,8	0	30
25	3S - F12	0,3	3	0	25	2,8	0	30
26	3S I8	0,2	3	0	55	2,8	5	20
Promedio		0,2	2	0	46	3,0	5	24
Max		0,4	3	1	90	3,1	20	40
Min		0,2	2	0	25	2,2	0	10

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

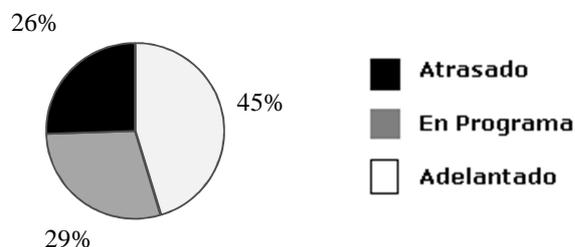


Fig. B.2. CP para colocación de encofrados en columnas.

- Columnas: Vertido del hormigón

Tabla B.3: Datos vertido del hormigón en columnas.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	H	TE	TP	TG	PH
#	-	días	#	días	min	m	min	min	min	m3/m3
1	4S - G5.1	0,1	3	0	140	3,1	5	20	0	-
2	4S - H5.1	0,1	3	0	140	3,1	5	20	0	-
3	4S F4.2	0,2	3	0	90	3,1	25	15	0	-
4	4S - C12	0,1	3	1	120	3,1	10	45	0	0,058
5	4S - C11	0,2	3	1	120	3,1	15	45	0	0,058
6	4S - D.2 12	0,2	3	0	90	3,1	20	50	0	0,058
7	4S - C10	0,2	3	0	120	3,1	25	50	0	0,058
8	4S - C9	0,1	3	0	55	3,1	12	30	0	0,077
9	4S - D8	0,1	4	0	70	3,1	10	40	0	0,102
10	4S - D9	0,1	4	0	45	3,1	0	30	0	0,102
11	4S - F9	0,1	4	0	80	3,1	5	40	0	0,102
12	4S - C8	0,1	4	0	60	3,1	5	30	0	0,051
13	3S - J12	0,1	3	4	65	3,0	10	40	0	0,069
14	3S J11	0,2	3	4	65	3,0	10	60	0	0,069
15	F.1 - X.4	0,2	4	4	35	3,1	5	60	0	0,097
16	E.2 - X.4	0,2	4	4	30	3,1	0	90	0	0,097
17	E.2 - X.3	0,3	4	4	35	3,1	5	100	0	0,097
18	F.1 - X.3	0,3	4	4	30	3,1	5	90	0	0,097
19	3S- M5	0	3	4	40	2,2	0	25	15	0,009
20	3S- H12 (13)	0	3	0	35	2,2	0	35	0	0,168
21	3S - B.2 12	0	3	1	25	2,0	5	60	0	0,168
Promedio		0,2	3	2	71	3,0	8	46	1	0,686
Max		0,3	4	4	140	3,1	25	100	15	0,168
Min		0,1	3	0	25	2,0	0	15	0	0,009

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

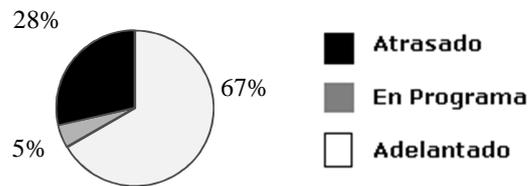


Fig. B.3. Cumplimiento del programa para vertido de hormigón en columnas.

- Columnas: Colocación de recubrimientos

Tabla B.4. Datos colocación de recubrimientos en columnas.

#	ID	FI	FT	TI	TT	D (min)	O (#)	H (ml)	FAS	EI (días)
1	3S D8	13-sep	13-sep	10:00	13:00	180	2	3,3	20-sep	4
2	3S D9	15-sep	15-sep	14:00	16:00	120	2	3,3	20-sep	2
3	3S D10	15-sep	15-sep	16:00	18:00	120	2	3,3	20-sep	2
4	3S L6	29-ago	29-ago	8:30	9:40	70	2	2,98	29-ago	0
5	3S M5	29-ago	29-ago	10:30	13:00	150	2	2,98	29-ago	0
6	3S J8	26-ago	26-ago	11:30	13:00	90	2	3,18	30-ago	1
7	3S K9	15-sep	15-sep	8:30	10:00	90	2	3,52	16-sep	0
8	3S N6	25-ago	25-ago	10:30	11:00	30	2	2,2	26-ago	0
9	3S K12	19-ago	19-ago	11:30	13:00	90	2	3,9	22-ago	0
10	4S J3	05-sep	05-sep	10:30	12:00	90	2	3,1	06-sep	1
Promedio						103	2	3,3	-	1

- Columnas: Retiro de encofrados

Tabla B.5. Datos retiro de encofrados en columnas.

#	ID	FI	FT	TI	TT	D (min)	O (#)	H (ml)
1	4S C10	20-jul	20-jul	11:00	11:40	40	3	3,1
2	4S C11	20-jul	20-jul	11:30	12:00	30	3	3,1
3	4S C12	20-jul	20-jul	12:00	12:20	20	3	3,1
4	4S D9	22-jul	22-jul	11:00	11:30	30	3	3,1
5	4S F9	22-jul	22-jul	12:00	12:40	40	3	3,1
6	3S H12 (11)	09-sep	09-sep	16:00	17:00	60	2	2,2
7	3S I9	06-sep	06-sep	11:30	12:20	50	2	2,2
8	3S J10	29-ago	29-ago	15:30	16:10	40	2	2,8
9	3SJ9	29-ago	29-ago	16:15	17:00	45	2	2,8
10	4S E.1 4.2	21-jul	21-jul	11:00	11:30	30	3	3,1
Promedio						39	3	3

- Muros: Colocación de enfierradura

Tabla B.6. Datos colocación de enfierradura en muros.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	SC	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m2	min	min
1	AS X.5 D.1-F.1	3,9	5	15	40	139,5	10	120
2	4S I-G 14	7,8	5	1	45	169,3	5	120
3	4S K 7-8	10,4	5	11	40	70,6	5	120
4	3S K 12-13	4,2	4	7	135	72,0	5	180
5	3S O 7-5	1,2	5	6	50	68,7	10	70
6	3S O-m/2 7	1,4	5	1	50	83,1	5	120
7	3S O 8.1-6	2,0	6	4	125	140,7	0	120
8	4S F-G 14	0,9	5	3	70	56,1	5	120
9	3S K12-11	1,6	5	3	50	69,0	10	120
10	3S K-J 13	0,8	6	5	70	53,4	25	180
11	3S J-I 13	1,0	6	0	125	55,2	20	80
12	3S K 11-10	1,7	6	4	35	64,2	5	60
13	4S K 9-10	3,4	6	7	135	64,2	5	50
14	4S A.1 9-7	7,0	6	11	65	342,5	0	80
15	3S O 5-5/2	0,8	5	1	75	37,8	10	120
16	3S K-L 7	1,9	5	1	100	37,9	0	120
17	3S H-I 10	2,0	4	4	140	51,6	35	100
18	3S K 9-8	2,4	4	0	75	64,2	5	180
19	3S O 4-5	3	5	0	55	59,1	25	100
20	3S K-L 3	3	6	0	130	51,5	25	120
21	4S K 12-11	24	5	7	30	70,6	0	120
22	K 10-11/2	28	6	3	45,0	104,3	5	120
23	3S O-N 3	4	6	2	35,0	54,9	5	200
24	4S N-M 3	4	5	1	150	57,7	15	200
25	4S K-J 3	17	5	0	40	49,9	10	100
26	3S O 3-4	2	6	1	105	67,5	25	120
Promedio		5,4	5	4	78	82,9	10	121
Max		27,8	6	15	150	342,5	35	200
Min		0,8	4	0	30	37,8	0	50

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

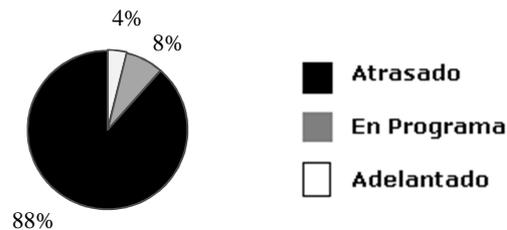


Fig. B.4. CP para colocación de enfierradura en muros.

- Muros: Colocación de encofrados

Tabla B.7. Datos colocación de encofrados en muros.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	SC	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m2	min	min
1	4S 10 H-I	0,6	6	1	100	65,7	17	40
2	4S K-I 13	0,8	6	0	80	107,3	6	45
3	4S 14 I-G	0,9	6	0	60	102,3	10	30
4	4S K12-11/2	0,6	6	0	40	34,7	5	10
5	4S K11/2-11	0,5	6	0	85	34,7	25	10
6	4S K10-9	0,8	6	0	40	66,3	5	30
7	4S K12-13	0,4	6	0	150	66,7	58	30
8	4S K8-9	0,3	6	0	40	66,3	0	30
9	4S K7-8	0,5	7	0	40	66,3	0	40
10	AS X.3 D.1- F.1	0,9	6	0	90	139,5	5	30
11	3S N-O 7	0,6	5	0	85	46,3	15	50
12	3S K12-13	0,3	6	0	70	64,8	0	30
13	3S K11-12	0,3	6	0	30	54,5	5	60
14	4S 03-5	0,6	7	0	35	118,4	0	30
15	AS F.1 X.5-X.2	0,3	7	0	60	58,2	0	60
16	AS D.1 X.5-X.2	0,3	6	0	75	58,2	5	100
17	3S K 10-11	0,3	6	1	60	43,5	15	30
18	4S I-J 3	0,6	5	0	45	38,9	5	60
19	3S H-I 10	0	4	0	70	52,7	5	30
20	3S H-I 14	0	5	0	105	44,8	45	40
21	4S B.2 9-10	1	4	0	30	56,7	0	60
22	4S F-G 14	1	6	0	50,0	56,1	5	30
Promedio		0,5	6	0	65	65,6	11	40
Max		0,9	7	1	150	139,5	58	100
Min		0,3	4	0	30	34,7	0	10

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

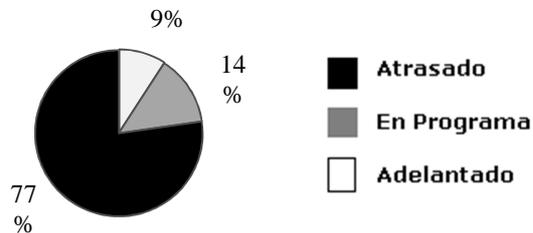


Fig. B.5. CP para colocación de encofrados en muros.

- Muros: Vertido de hormigón

Tabla B.8. Datos vertido de hormigón en muros.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	SC	TE	TP	TG	PH
#	-	días	#	días	min	m2	min	min	min	m3/m3
1	4S G10	0,4	5	0	155	30,1	5	90	67	0,07
2	4S K-I 13	0,5	5	2	330	86,5	10	120	138	0,09
3	4S K12/2-11/2	0,3	5	0	150	27,5	10	90	-	0,08
4	4S 14 I-G	0,4	7	0	240	88,8	10	100	70	0,08
5	4S K 11/2-10/2	0,4	7	0	40	53,5	15	90	-	0,10
6	4S K 9-10/2	0,3	5	1	60	58,5	15	60	105	0,02
7	4S K 12/2-13	0,2	4	1	40	28,0	10	80	-	0,02
8	4S K 9-8	0,3	3	0	40	53,5	5	60	-	0,06
9	4S K 7-8	0,3	4	1	55	53,5	15	60	100	0,00
10	AS X.5 D.1 - F.1	0,6	5	1	30	138,6	10	120	170	-0,01
11	AS X.3 D.1 - F.1	0,6	5	7	30	135,0	5	150	110	0,05
12	4S F-G 14	0,3	3	2	50	58,0	5	120	28	0,05
13	3S K-I 13	0,4	4	2	80	112,2	35	60	-	0,05
14	3S O 5-6	0,3	6	1	55	76,2	20	60	75	0,05
15	4S J/2-L/2 3	0,4	6	1	75	76,3	40	90	138	0,02
16	3S K10-11	0,3	4	1	75	77,9	30	60	102	0,06
17	3S K 9/2-10	0,6	5	1	55	54,6	15	120	217	0,01
18	3S O4-5	0,4	5	1	70	62,3	45	60	174	0,04
Promedio		0,4	5	1	91	70,6	17	88	115	0,05
Max		0,6	7	7	330	138,6	45	150	217	0,10
Min		0,2	3	0	30	27,5	5	60	28	-0,01

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

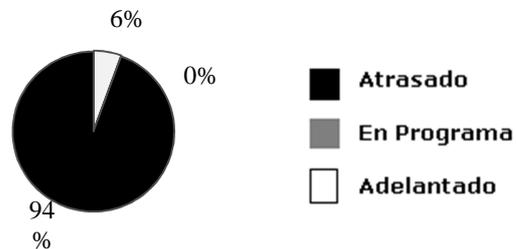


Fig. B.6. CP para vertido del hormigón en muros.

- Muros: Colocación de recubrimientos

Tabla B.9. Datos colocación de recubrimientos en muros.

Muestra #	ID	FI	FT	TI	TT	D (min)	O (#)	SC (m2)	FAS	EI (días)
1	AS X.5	08-ago	08-ago	12:00	17:00	240	3	139,5	10-ago	2,0
2	K 13-12	17-ago	17-ago	14:00	17:00	180	3	140,7	22-ago	3,0
3	K12-11	17-ago	17-ago	15:00	17:00	120	4	64,2	23-ago	4,0
4	3S K-L 3	14-sep	14-sep	14:00	16:30	150	3	51,46	16-sep	2,0
5	3S K9-8	16-sep	16-sep	9:00	11:00	120	2	70,62	20-sep	2,0
6	3S H-I 10	04-sep	05-sep	17:00	10:00	180	2	37,84	07-sep	2,0
7	3S K-J 13	26-ago	26-ago	15:00	13:00	480	2	342,54	29-ago	1,0
8	4S F-G14	15-ago	16-ago	17:00	11:00	240	3	55,18	16-ago	0,3
9	3S K-L 7	01-sep	01-sep	9:00	11:00	120	2	45,82	02-sep	1,0
10	3S O4-5	10-sep	10-sep	8:00	10:00	120	3	61,32	12-sep	1,0
Promedio						195	3	101	-	1,8

- Muros: Retiro de encofrados

Tabla B.10. Datos retiro de encofrados en muros.

Muestra #	ID	FI	FT	TI	TT	D (min)	O (#)	SC (m2)
1	AS X.3 D.1 - F.1	18-jul	18-jul	14:15	15:45	90	3	133,2
2	4S K-I 13	29-jul	29-jul	10:00	12:10	130	3	107,3
3	4S D.2-F 13	08-ago	08-ago	15:30	16:30	60	4	52,9
4	3S K11-12	25-ago	25-ago	8:00	10:30	150	3	54,0
5	AS F.1-D.1 X.2	09-ago	09-ago	11:00	13:00	120	3	133,2
6	3S K-I 13	31-ago	31-ago	14:00	16:00	120	4	90,7
7	3S O5-6	30-ago	30-ago	16:00	18:00	120	4	56,7
8	4S L-M 3	01-sep	01-sep	10:00	13:00	180	4	54,0
9	3S L-M 7	07-sep	07-sep	14:30	16:00	90	3	32,4
10	B.2 9-8	15-sep	15-sep	10:45	12:00	75	4	61,2
Promedio						114	4	78

- Fundaciones: Colocación de enfierradura

Tabla B.11. Datos colocación de enfierradura en fundaciones.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	V	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m3	min	min
1	FU D11	0,7	5	0,9	30	9,0	2	10
2	FU C11	0,8	4	0,8	30	9,0	5	15
3	FU C12	0,9	3	0,9	30	9,6	5	15
4	FU D12	1,0	5	0,1	30	9,6	0	10
5	FU C8	0,7	4	4,0	30	9,6	5	20
6	FU C9	0,6	5	0,4	40	9,0	0	25
7	FU D9	0,4	5	0,8	30	9,0	5	15
8	FU D8	0,8	5	0,3	30	11,6	0	10
9	FU F10	1,6	5	0,1	30	27,0	5	10
10	FU D-A.1 13	3,0	5	8,0	60	27,1	40	30
Promedio		1,0	5	1,6	34	13,0	7	16
Max		3,0	5	8,0	60	27,1	40	30
Min		0,4	3	0,1	30	9,0	0	10

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

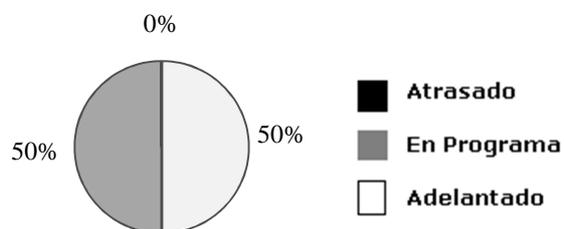


Fig. B.7. CP para colocación de enfierradura en fundaciones.

- Fundaciones: Vertido de hormigón

Tabla B.12. Datos vertido de hormigón en fundaciones.

Muestra	ID	D	O	TM	V	TE	TP	TG	PH
#	-	días	#	min	m3	min	min	min	m3/m3
1	FU C11	0,2	4	95	8,9	11	65	41	0,08
2	FU C12	0,1	4	70	8,9	3	25	18	0,08
3	FU D12	0,2	4	50	9,5	10	30	28	0,08
4	FU D11	0,3	4	100	8,9	15	45	23	0,03
5	FU D10	0,3	4	60	8,9	5	50	88	0,03
6	FU C10	0,3	3	85	8,9	12	55	71	0,03
7	FU C9	0,3	4	180	8,9	68	50	-	0,12
8	FU C8	0,1	3	60	9,5	0	45	-	0,01
9	FU D9	0,2	4	110	10,8	10	50	-	0,08
10	FU D8	0,3	4	155	11,5	51	49	-	0,08
11	FU F10	0,4	4	190	26,8	70	60	100	0,08
12	FU C7	0,5	4	210	19,0	50	120	79	0,02
13	FU B.2 12-9	0,9	5	390	37,1	195	70	345	0,01
14	FU X.3-X.4	0,7	5	60	84,1	25	80	243	0,12
15	FU N-K 3	0,6	6	60	26,8	30	90	193	0,03
16	FU X.3 X.4-D.1 E.0	0,9	7	105	83,5	30	150	257	0,12
17	FU A.1 7-11	0,8	4	60	62,8	10	120	190	7,50
18	FU B.2 7/2-9/2	0,4	4	40	26,8	15	90	150	0,12
Promedio		0,4	4	116	25,7	34	69	130	0,06
Max		0,9	7	390	84,1	195	150	345	0,12
Min		0,1	3	40	8,9	0	25	18	0,01

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

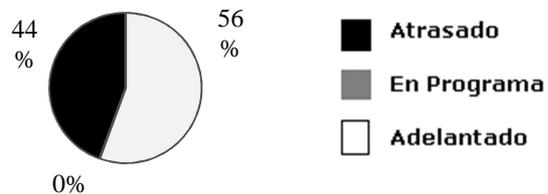


Fig. B.8. CP para vertido de hormigón en fundaciones.

- Fundaciones: Excavación de zapata

Tabla B.13. Datos excavación de zapata en fundaciones.

Muestra	ID	FI	FT	TI	TT	FAS	TAS	D (min)	O (#)	V (m3)	EI (días)
1	FU C4.2	05-ago	05-ago	11:30	13:00	30-ago	14:00	90	3	29,76	18,0
2	FU B3	05-ago	05-ago	8:00	10:00	09-ago	9:00	120	3	13,67	1,7
3	FU C3	05-ago	05-ago	10:00	12:00	11-ago	12:00	120	3	22,18	4,0
4	FU A.1 7-14	07-ago	08-ago	8:00	14:00	08-ago	14:00	900	3	70,74	0,0
5	FU G 4.2	25-jul	25-jul	10:00	13:00	26-jul	10:00	180	2	32,03	0,8
6	FU C 7	04-ago	04-ago	8:00	10:00	05-ago	9:00	120	3	19,19	0,4
Promedio									3	31,26	4,2

- Fundaciones: Construcción del emplantillado

Tabla B.14. Datos construcción del emplantillado en fundaciones.

Muestra #	ID	FI	FT	TI	TT	FAS	TAS	D (min)	O (#)	V (m3)	EI (días)
1	FU G3	14-jul	14-jul	15:00	16:00	20-jul	10:00	60	3	21,67	3,4
2	FU H1-II.2	28-jul	28-jul	16:00	17:30	29-ago	8:00	90	3	140,04	22,2
3	FU C3	11-ago	11-ago	9:00	10:00	11-ago	14:00	60	3	22,18	0,2
4	FU A.1 7-10	08-ago	08-ago	17:00	18:00	24-ago	10:00	60	3	32,72	11,2
5	FU A3.1	26-ago	26-ago	14:00	16:00	08-sep	8:00	120	3	25,46	7,2
6	FU C4.2	30-ago	30-ago	14:00	15:00	09-sep	10:00	60	3	29,76	7,6
Promedio									3	45,30	8,7

- Capiteles: Colocación de enfierradura

Tabla B.15. Datos colocación de enfierradura en capiteles.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	ST	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m2	min	min
1	4S K12	0,2	2	0	55	6,1	0	30
2	4S J11	0,2	2	0	30	9,5	5	30
3	4S I11	0,2	2	0	30	9,5	5	35
4	4S J10	0,2	2	0	40	9,5	5	25
5	4S J12	0,7	2	0	40	32,0	10	30
6	4S I10	0,2	2	0	30	9,5	5	25
7	K11	0,2	3	0	60	9,5	20	40
8	4S K9	0,1	2	0	35	6,1	0	20
9	4S L6	0,2	3	0	50	9,5	5	30
10	4S K6	0,1	3	0	45	9,5	5	30
11	4S L5	0,2	2	0	40	9,5	5	50
12	4S- K5	0,2	3	0	40	9,5	15	35
13	4S G8	0,3	2	0	80	10,2	5	40
14	4S F10	0,2	2	0	80	9,5	5	40
15	4S F12-14	0,7	2	0	55	35,4	30	30
16	4S L4	0,2	2	0	30	9,5	5	40
17	4S D.2 12-13	0,3	4	0	35	32,0	0	60
18	4S H7-5	1,7	4	0	65	85,6	10	60
Promedio		0,3	2	0	47	17,3	8	36
Max		1,7	4	0	80	85,6	30	60
Min		0,1	2	0	30	6,1	0	20

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

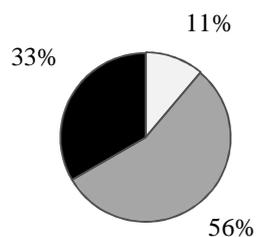


Fig. B.9. CP para colocación de enfierradura en capiteles.

- Capiteles: Colocación de cimbra

Tabla B.16. Datos colocación de cimbra en capiteles.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	ST	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m2	min	min
1	4S - I9	0,4	2	0	40	9,5	5	60
2	4S - J9	0,5	2	0	40	9,5	5	40
3	4S - J10	0,6	2	0	40	9,5	15	55
4	4S - I10	0,3	2	0	30	9,5	11	45
5	4S - J11	0,2	2	0	30	9,5	10	50
6	4S - I11	0,4	2	0	30	9,5	5	70
7	4S - J12	0,3	2	0	30	9,5	5	60
8	4S - G9	0,7	2	0	30	9,5	0	70
9	4S - G10	0,6	2	0	30	10,2	5	60
10	4S - G8	0,4	2	0	40	10,2	5	50
11	4S - F10	0,4	2	0	30	9,5	0	30
12	4S - F9	0,4	2	0	30	9,5	5	45
13	4S - F11	0,6	2	0	40	9,5	15	30
14	4S - L4	0,4	2	0	30	9,5	5	30
15	4S - K4	0,3	2	0	30	9,5	15	30
Promedio		0,5	2	0	33	9,5	7	48
Max		0,7	2	0	40	10,2	15	70
Min		0,2	2	0	30	9,5	0	30

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

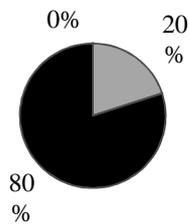


Fig. B.10. CP para colocación de cimbra en capiteles.

- Losas: Colocación de enfierradura

Tabla B.17. Datos colocación de enfierradura en losas.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	ST	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m2	min	min
1	K13-I11	1,6	7	1	120	300,7	25	40
2	K11-I8	2,4	6	2	50	413,8	5	60
3	O7-L5	3,3	6	2	30	532,1	0	100
4	L5-I7	2,9	6	2	110	494,7	20	60
5	H8-I11	3,0	6	1	140	263,4	20	45
6	H14-I11	1,2	6	1	35	182,2	5	30
7	F8-H11	6,0	5	1	180	450,3	20	60
8	D11-F13	2,7	6	2	70	256,2	10	30
9	D8-F11	1,4	6	2	90	384,8	10	45
10	I3-L5	2,4	6	2	150	419,5	20	120
11	H7-I5	1,4	6	2	55	200,3	5	40
Promedio		2,6	6	2	94	354,4	13	57
Max		6,0	7	2	180	532,1	25	120
Min		1,2	5	1	30	182,2	0	30

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

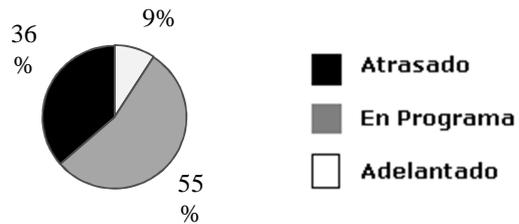


Fig. B.11. CP para colocación de enfierradura en losas.

Losas: Colocación de cimbra

Tabla B.18. Datos colocación de cimbra en losas.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	ST	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m2	min	min
1	O7-L5	5,0	5	0	60	532,1	15	40
2	L5 - I7	6,0	5	2	90	482,3	15	100
3	K13 - I11	6,0	4	0	90	278,1	35	90
4	K11 - I8	9,0	4	0	85	413,8	10	60
5	H14-I11	4,0	4	3	55	182,2	5	40
6	H8-I11	6,7	4	2	50	259,7	5	80
7	F14-H11	8,3	4	0	140	317,8	45	30
8	D11-F13	5,2	3	0	40	278,8	25	100
9	O3-L5	9,6	5	0	50	272,4	0	100
10	I3-L5	8,0	4	1	160	419,5	55	120
11	C11-D13	5,4	3	1	105	210,0	35	120
12	H5-I8	2,0	4	0	55	203,8	15	60
Promedio		6,3	4	1	82	320,9	22	78
Max		9,6	5	3	160	532,1	55	120
Min		2,0	3	0	40	182,2	0	30

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

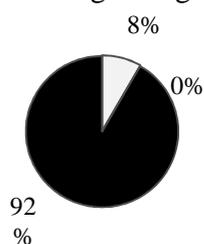


Fig. B.12. CP para colocación de cimbra en losas.

Losas: Vertido de hormigón

Tabla B.19. Datos vertido de hormigón en losas.

Muestra	ID	D	O	TM	ST	TE	TP	TG	PH
#	-	días	#	min	m2	min	min	min	m3/m3
1	O7-L5 + M.1 7 - O 8.1	1,0	8	45	552,5	25	90	279	0,090
2	K13-I11	0,9	7	40	329,9	10	75	195	0,091
3	K11-I8	0,8	9	100	442,6	15	120	123	0,005
4	L5-I7	0,9	8	80	553,2	30	100	210	0,078
5	H8-I11	0,9	7	75	314,6	20	120	148	0,028
6	F14-H11	1,1	7	85	382,2	35	180	332	0,077
7	O3-L5	1,0	6	90	448,5	60	100	320	0,006
8	D11-F13	0,7	8	95	297,7	25	160	255	0,003
9	D8-F11	0,8	8	95	397,4	20	120	103	0,048
Promedio		0,9	8	78	413,2	27	118	218	0,047
Max		1,1	9	100	553,2	60	180	332	0,091
Min		0,7	6	40	297,7	10	75	103	0,003

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

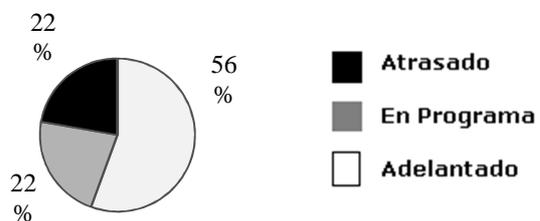


Fig. B.13. CP para vertido de hormigón en losas.

Losas: Colocación de cables, instalaciones y recubrimientos

Tabla B.20. Datos colocación de cables, instalaciones y recubrimientos en losas.

Muestra #	ID	FI	FT	TI	TT	D (min)	O (#)	ST (m2)	FAS	EI (días)
1	O7-L5	01-ago	02-ago	13:00	18:00	480	14	552,5	03-ago	0,2
2	K11-I8	10-ago	11-ago	13:00	15:00	660	10	442,6	12-ago	0,1
3	L5-I7	15-ago	16-ago	8:00	18:00	1080	16	553,2	17-ago	0,2
4	H8-I11	18-ago	19-ago	8:00	12:00	780	12	314,6	22-ago	0,3
5	F14-H11	29-ago	29-ago	8:00	18:00	780	14	382,2	30-ago	0,1
6	D11-F13	01-sep	02-sep	12:00	16:00	720	10	297,7	05-sep	0,3
7	D8-F11	05-sep	06-sep	8:00	15:00	900	8	397,4	07-sep	0,4
8	O3-L5	31-ago	01-sep	8:00	18:00	1080	13	448,5	02-sep	0,1
Promedio						810	12	424	-	-

Losas: Terminaciones

Tabla B.21. Datos terminaciones de losas.

Muestra #	ID	FI	FT	TI	TT	D (min)	O (#)	ST (m2)
1	O7-L5	03-ago	03-ago	15:00	0:00	540	2	552,5
2	K11-I8	12-ago	12-ago	14:30	0:00	570	2	442,6
3	L5-I7	17-ago	17-ago	16:00	0:00	480	2	553,2
4	H8-I11	22-ago	22-ago	12:00	0:00	720	2	314,6
5	F14-H11	30-ago	30-ago	15:00	0:00	540	2	382,2
6	D13-F11	05-sep	05-sep	15:00	0:00	540	2	297,7
7	D8-F11	07-sep	07-sep	14:00	0:00	600	2	397,4
8	O3-L5	02-sep	02-sep	16:00	0:00	480	2	448,5
Promedio						559	2	423,6

Radieres: Colocación de mallas y vertido del hormigón

Tabla B.22. Datos colocación de mallas y vertido del hormigón en radieres.

Muestra #	ID	D días	O #	EI días	TM min	ST m2	TE min	TP min	TG min	PH m3/m3
1	K13-IJ11	0,8	9	3	350	254,5	85	60	220	0,013
2	K11-IJ8	0,5	6	3	220	384,8	40	60	85	0,021
3	J110-H8	0,7	7	3	240	234,8	115	120	163	0,051
4	IJ12-10H	0,4	9	3	235	234,8	70	90	121	0,018
5	G10-8H	0,4	8	4	240	161,8	60	90	90	0,111
6	F8-G10	0,5	7	4	270	181,7	116	90	116	0,035
7	K7-H8	0,4	8	3	230	246,5	36	135	96	0,017
8	F10-H11	0,4	8	5	200	144,7	16	135	46	0,047
9	D.2 8-F10	0,6	8	4	200	178,0	25	120	98	0,016
10	GH11-H12	0,2	7	8	30	45,2	0	70	60	0,148
11	GH12-I14	0,5	8	4	30	136,8	10	70	160	0,148
12	H4-I6 +I4.2-J4	0,4	6	4	50	247,4	10	90	78	0,014
13	D12-GH11	0,6	7	3	30	288,0	5	70	145	0,089
14	D11- F10	0,4	7	4	40	163,2	5	135	84	0,076
15	O4 - L3	0,6	9	3	80	261,3	10	100	98	0,061
16	F6-H4	0,6	5	3	80	287,4	30	90	173	0,091
17	F14-G11	0,4	5	6	30	66,6	5	60	65	7,500
18	D12- FG14	0,8	8	4	105	195,4	15	120	-	0,004
19	B.2 12-D11	0,6	8	4	60	123,2	10	180	175	0,064
20	D5.1-F5	0,3	5	5	90	103,9	45	60	100	0,107
21	D10-D.2 8	0,3	7	5	30	144,7	5	30	60	-
22	C9-D8	0,3	7	4	30,0	113,0	10	30	105	0,046
23	C9-D(10)	0,5	7	6	40,0	62,2	5	60	124	0,009
24	HX.5-B.2 8 +B.2 8-C11	0,7	7	7	30	291,8	10	60	150	0,017
Promedio		0,5	7	4	123	189,6	31	89	114	0,378
Max		0,8	9	8	350	384,8	116	180	220	7,500
Min		0,2	5	3	30	45,2	0	30	46	0,004

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

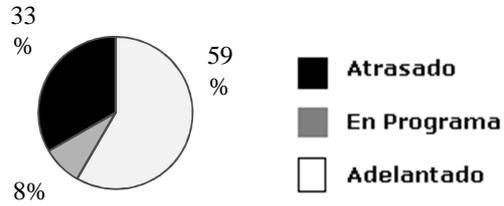


Fig. B.14 CP para colocación de mallas y vertido del hormigón en radieres.

Radieres: Construcción de suelo base

Tabla B.23. Datos construcción de suelo base en radieres.

Muestra #	ID	FI	FT	TP	TT	FAS	TAS	D (días)	O (#)	ST (m2)	EI (días)	
1	K13-IJ11	06-jul	07-jul	8:00	18:00	19-jul	9:10	2,00	2	254,47	6,05	
2	K11-IJ8	11-jul	12-jul	8:00	18:00	20-jul	9:00	2,00	2	384,82	5,04	
3	D12-FG14	16-ago	19-ago	8:00	18:00	23-ago	13:00	4,00	3	195,39	1,21	
4	B.2 12-D11	22-ago	23-ago	8:00	13:00	24-ago	8:00	1,79	4	123,21	0,44	
5	D12-GH11	04-ago	08-ago	8:00	18:00	10-ago	8:00	3,00	3	287,99	1,00	
6	C9-D8	05-sep	05-sep	8:00	13:00	05-sep	14:00	0,56	2	112,96	0,00	
7	D10-D.2 8	25-ago	25-ago	8:00	13:00	26-ago	8:00	0,79	3	144,67	0,44	
8	D5.1-F5	25-ago	25-ago	8:00	13:00	25-ago	14:00	0,56	4	103,90	0,00	
9	O4-L3	10-ago	11-ago	8:00	15:00	12-ago	8:00	1,88	2	261,30	0,33	
Promedio							-	-	1,84	3	207,63	1,61

Radieres: Terminaciones

Tabla B.24. Datos terminaciones de radieres.

Muestra #	ID	FI	TI	TT	D (min)	O (#)	ST (m2)
1	K13-IJ11	19-jul	17:00	0:00	420	2	254,5
2	K11-IJ8	20-jul	17:00	0:00	420	2	384,8
3	D12-FG14	23-ago	18:00	0:00	360	2	195,4
4	B.2 12-D11	24-ago	16:00	0:00	480	2	123,2
5	D12-GH11	10-ago	16:00	0:00	480	2	288,0
6	C9-D8	05-sep	18:00	0:00	360	2	113,0
7	D10-D.2 8	26-ago	16:00	0:00	480	2	144,7
8	D5.1-F5	25-ago	18:00	0:00	360	2	103,9
Promedio					420	2	201

Fundaciones: Avance de excavación de zapata

Tabla B.25. Avance de excavación de zapata en fundaciones.

Sector	Fecha		10-jun	17-jun	24-jun	01-jul	08-jul	15-jul	22-jul	29-jul	05-ago	12-ago	19-ago
	día		0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
	SS	P	%										
1	1	0,08	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	2	0,11	80	80	80	80	80	90	90	100	100	100	100
1	3	0,08	90	90	90	90	90	90	100	100	100	100	100
1	4	0,10	90	90	90	90	90	90	90	100	100	100	100
1	5	0,07	75	75	75	75	75	75	75	75	100	100	100
1	6	0,16	73	73	73	76	76	81	86	86	91	91	100
2	1	0,11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	2	0,11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	3	0,11	85	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	4	0,07	60	60	60	60	77	77	77	81	81	100	100
Avance total			85,5	85,5	87,2	87,7	88,8	90,8	92,4	94,8	97,3	98,6	100,0

Para todas las tablas de avance:

SS= Subsector

P= Ponderador del subsector

Fundaciones: Avance de construcción de emplantillado

Tabla B.25. Avance de construcción de emplantillado en fundaciones.

Sector	Fecha		10- jun	17- jun	24- jun	01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep
	día		0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91
	SS	P	%													
1	1	0,08	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	2	0,11	75	75	75	80	80	80	80	96	100	100	100	100	100	100
1	3	0,08	100	100	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	4	0,10	75	75	75	75	75	75	87	87	90	95	95	100	100	100
1	5	0,07	75	75	75	75	75	75	75	75	75	85	95	95	100	100
1	6	0,16	64	64	80	81	81	82	83	83	90	90	95	95	100	100
2	1	0,11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	2	0,11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	3	0,11	80	80	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	4	0,07	60	60	60	60	60	77	77	80	80	85	85	85	95	100
Avance total			82,3	82,3	84,9	86,2	87,9	89,2	90,5	92,5	94,4	95,9	97,4	97,8	99,7	100,0

Fundaciones: Avance de colocación de enfierradura

Tabla B.26. Avance de colocación de enfierradura en fundaciones.

Sector	Fecha		10- jun	17- jun	24- jun	01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
	día		0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
	SS	P	%														
1	1	0,08	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	2	0,11	0	62	63	63	63	63	63	79	100	100	100	100	100	100	100
1	3	0,08	0	20	70	90	90	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100
1	4	0,10	0	0	10	10	28	45	60	80	80	80	80	90	95	100	100
1	5	0,07	0	25	63	75	75	75	75	75	75	75	75	80	90	100	100
1	6	0,16	0	0	8	8	45	45	69	69	69	69	75	85	95	95	100
2	1	0,11	47	78	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	2	0,11	30	29	72	93	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	3	0,11	7	8	8	20	85	90	90	90	90	90	90	100	100	100	100
2	4	0,07	0	0	0	0	17	25	55	70	85	85	85	85	90	95	100
Avance total			13,3	29,5	46,2	53,4	70,1	72,9	80,3	85,9	89,3	89,3	90,2	94,2	97,4	98,9	100,0

Fundaciones: Avance de vertido del hormigón

Tabla B.27. Avance de vertido del hormigón en fundaciones.

Sector	Fecha		10- jun	17- jun	24- jun	01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
	día		0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
	SS	P	%														
1	1	0,08	0	60	72	80	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	2	0,11	0	0	0	63	63	63	63	63	63	95	95	100	100	100	100
1	3	0,08	0	0	31	80	90	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100
1	4	0,10	0	0	0	10	10	20	50	80	80	80	80	90	95	100	100
1	5	0,07	0	0	38	50	75	75	75	75	75	75	75	80	85	95	95
1	6	0,16	0	0	0	8	45	45	69	69	69	69	75	85	85	90	95
2	1	0,11	0	43	82	90	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	2	0,11	0	14	22	72	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	3	0,11	0	8	8	8	85	90	90	92	95	95	95	100	100	100	100
2	4	0,07	0	0	0	0	0	25	55	72	75	75	80	80	90	95	95
Avance total			0,0	12,1	23,3	44,5	65,1	70,5	79,3	84,4	85,0	88,6	89,9	93,9	95,4	97,7	98,5

Columnas: Avance de colocación de enfierradura

Tabla B.28. Avance de colocación de enfierradura en columnas.

Nivel	Sector	SS	Fecha		10- jun	17- jun	24- jun	01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
			día		0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
			P	%															
-4	1	1	0,04	0	0	52	50	67	67	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	2	0,05	0	0	39	40	45	45	50	50	67	67	75	83	100	100	100	100
-4	1	3	0,05	0	0	30	40	90	90	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	4	0,04	0	0	10	15	15	15	35	35	35	46	54	62	77	85	92	92
-4	1	5	0,03	0	0	15	15	50	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
-4	1	6	0,06	0	0	10	15	32	55	55	59	64	64	64	64	64	64	64	64
-4	2	1	0,06	0	33	44	60	78	92	92	92	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	2	2	0,06	0	0	15	35	80	80	85	94	94	95	100	100	100	100	100	100
-4	2	3	0,06	0	0	10	10	50	50	65	72	72	73	100	100	100	100	100	100
-4	2	4	0,04	0	0	0	0	0	60	74	74	83	100	100	100	100	100	100	100
-3	1	1	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	42	100	100	100	100	100
-3	1	2	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	25	83	83
-3	1	3	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	60	60	60	60
-3	1	4	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	18	18	18
-3	1	5	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17	17	17	17	17
-3	1	6	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	33	83	100	100	100	100
-3	2	2	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	88	88	88
-3	2	3	0,06	0	0	0	0	0	0	7	7	7	7	7	7	7	19	57	57
-3	2	4	0,04	0	0	0	0	0	60	74	74	83	100	100	100	100	100	100	100
Avance total			0	2	11	15	26	34	40	41	44	49	55	61	67	73	78	78	78

Columnas: Avance de colocación de encofrados

Tabla B.29. Avance de colocación de encofrados en columnas.

Nivel	Sector	SS	Fecha	10- jun	17- jun	24- jun	01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
			día	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
			P	%														
-4	1	1	0,04	0	0	0	50	67	67	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	2	0,05	0	0	0	0	42	45	50	50	50	50	50	75	92	100	100
-4	1	3	0,05	0	0	0	0	40	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	4	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	8	23	23	23	62	77	85
-4	1	5	0,03	0	0	0	0	0	0	67	67	67	67	67	67	67	67	67
-4	1	6	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	55	64	64	64	64	64	64
-4	2	1	0,06	0	0	0	28	50	56	56	67	94	100	100	100	100	100	100
-4	2	2	0,06	0	0	0	0	53	88	88	94	100	100	100	100	100	100	100
-4	2	3	0,06	0	0	0	0	0	6	36	55	61	61	73	85	94	100	100
-4	2	4	0,04	0	0	0	0	0	0	65	65	71	77	77	100	100	100	100
-3	1	1	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	17	33	100	100	100
-3	1	2	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58
-3	1	3	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	30
-3	1	4	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	5	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	6	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	11	78	94	100
-3	2	2	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	53
-3	2	3	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7
-3	2	4	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avance total				0	0	0	4	13	19	27	30	36	39	40	44	55	60	65

Columnas: Avance de vertido del hormigón

Tabla B.30. Avance de vertido del hormigón en columnas.

Nivel	Sector	SS	Fecha	10- jun	17- jun	24- jun	01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
			día	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
			P	%														
-4	1	1	0,04	0	0	0	50	50	67	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	2	0,05	0	0	0	0	42	45	50	50	50	50	50	75	92	100	100
-4	1	3	0,05	0	0	0	0	40	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	4	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	8	23	23	23	62	77	85
-4	1	5	0,03	0	0	0	0	0	0	67	67	67	67	67	67	67	67	67
-4	1	6	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	55	64	64	64	64	64	64
-4	2	1	0,06	0	0	0	28	50	56	56	67	94	100	100	100	100	100	100
-4	2	2	0,06	0	0	0	0	53	88	88	94	100	100	100	100	100	100	100
-4	2	3	0,06	0	0	0	0	0	6	36	55	61	61	73	85	94	100	100
-4	2	4	0,04	0	0	0	0	0	0	65	65	71	77	77	100	100	100	100
-3	1	1	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	33	100	100	100
-3	1	2	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58
-3	1	3	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	30
-3	1	4	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	5	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	6	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	78	94	100
-3	2	2	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	53
-3	2	3	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7
-3	2	4	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avance total				0	0	0	4	13	19	27	30	36	38	40	44	55	60	65

Columnas: Avance de retiro de encofrados

Tabla B.31. Avance de retiro de encofrados en columnas.

Nivel	Sector	SS	Fecha	10- jun	17- jun	24- jun	01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
			día	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
			P	%														
-4	1	1	0,04	0	0	0	30	50	67	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	2	0,05	0	0	0	0	42	45	50	50	50	50	50	50	92	100	100
-4	1	3	0,05	0	0	0	0	20	90	90	90	90	90	100	100	100	100	100
-4	1	4	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	23	23	62	77	77
-4	1	5	0,03	0	0	0	0	0	0	67	67	67	67	67	67	67	67	67
-4	1	6	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	36	36	64	64	64	64	64
-4	2	1	0,06	0	0	0	0	39	50	50	56	78	100	100	100	100	100	100
-4	2	2	0,06	0	0	0	0	35	50	59	76	88	94	94	100	100	100	100
-4	2	3	0,06	0	0	0	0	0	6	18	55	55	55	67	79	94	100	100
-4	2	4	0,04	0	0	0	0	0	0	58	65	65	77	77	77	77	100	100
-3	1	1	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	25	78	100	100
-3	1	2	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	3	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	30
-3	1	4	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	5	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	6	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	1	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	67	70	94
-3	2	2	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35
-3	2	3	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	4	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avance total				0	0	0	1	10	16	24	27	32	35	38	41	51	55	60

Muros: Avance de colocación de enfierradura

Tabla B.32. Avance de colocación de enfierradura en muros.

Nivel	Sector	SS	Fecha	10- jun	17- jun	24- jun	01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
			día	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
			P	%														
-4	1	1	0,05	0	0	15	37	37	37	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	2	0,03	0	0	0	0	10	10	10	10	50	50	50	57	100	100	100
-4	1	3	0,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	4	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	15	31	41	41	41	41	81
-4	1	5	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
-4	1	6	0,05	0	0	0	0	0	0	0	25	53	53	53	53	53	53	60
-4	2	1	0,07	0	13	28	35	35	35	51	87	100	100	100	100	100	100	100
-4	2	2	0,03	0	0	0	0	0	40	40	40	69	100	100	100	100	100	100
-4	2	3	0,07	0	0	0	0	0	0	17	17	51	58	70	79	100	100	100
-4	2	4	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	14	14	14	14	24	86	89
-3	1	1	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	36	82	95	100	100
-3	1	2	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	0	0	0	49	80
-3	1	3	0,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-3	1	4	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	5	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	6	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	1	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	26	61	64	76	100
-3	2	2	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	100
-3	2	3	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	4	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avance total				0	1	3	4	5	6	11	15	26	31	32	37	42	53	62

Muros: Avance de colocación de encofrados

Tabla B.33. Avance de colocación de encofrados en muros.

Nivel	Sector	SS	Fecha	10- jun	17- jun	24- jun	01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
			día	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
			P	%														
-4	1	1	0,05	0	0	0	0	33	33	76	76	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	2	0,03	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	48	87	100	100
-4	1	3	0,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	4	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	41	41	41	41	41
-4	1	5	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4	1	6	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	53	53	53	53	53	53	55
-4	2	1	0,07	0	0	0	0	0	7	7	7	100	100	100	100	100	100	100
-4	2	2	0,03	0	0	0	0	0	40	40	40	50	50	100	100	100	100	100
-4	2	3	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	14	49	70	79	100	100	100
-4	2	4	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	6	14	14	14	14	14	52
-3	1	1	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	30	82	95	100	100
-3	1	2	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56
-3	1	3	0,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-3	1	4	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	5	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	6	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	1	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	50	64	100
-3	2	2	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	50
-3	2	3	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	4	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avance total				0	0	0	0	2	4	6	6	18	24	29	34	40	42	51

Muros: Avance de vertido del hormigón

Tabla B.34. Avance de vertido del hormigón en muros.

Nivel	Sector	SS	Fecha	10- jun	17- jun	24- jun	01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
			día	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
			P	%														
-4	1	1	0,05	0	0	0	0	0	33	60	76	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	2	0,03	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	48	87	100	100
-4	1	3	0,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	4	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	31	41	41	41	41
-4	1	5	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4	1	6	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	45	53	53	53	53	53	55
-4	2	1	0,07	0	0	0	0	0	7	7	7	100	100	100	100	100	100	100
-4	2	2	0,03	0	0	0	0	0	40	40	40	50	50	100	100	100	100	100
-4	2	3	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	14	49	70	79	100	100	100
-4	2	4	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	6	14	14	14	14	14	52
-3	1	1	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	30	82	95	100	100
-3	1	2	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56
-3	1	3	0,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-3	1	4	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	5	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	6	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	1	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	50	64	100
-3	2	2	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	50
-3	2	3	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	4	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avance total				0	0	0	0	0	4	5	6	18	24	28	34	40	42	51

Muros: Avance de retiro de encofrados

Tabla B.35. Avance de retiro de encofrados en muros.

Nivel	Sector	SS	Fecha	10- jun	17- jun	24- jun	01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
			día	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
			P	%														
-4	1	1	0,05	0	0	0	0	0	33	33	76	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	2	0,03	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	87	100	100
-4	1	3	0,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-4	1	4	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	31	41	41	41	41
-4	1	5	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4	1	6	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	40	45	53	53	53	53	65
-4	2	1	0,07	0	0	0	0	0	7	7	7	100	100	100	100	100	100	100
-4	2	2	0,03	0	0	0	0	10	40	40	40	50	50	100	100	100	100	100
-4	2	3	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	25	70	70	90	100	100	100
-4	2	4	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	14	14	14	14	14	14	52
-3	1	1	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	50	100	100
-3	1	2	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	3	0,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-3	1	4	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	5	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	1	6	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	1	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	40	50	100
-3	2	2	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
-3	2	3	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	2	4	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avance total				0	0	0	0	0	4	4	6	16	21	26	29	36	41	49

Radieres: Avance de construcción de suelo base

Tabla B.36. Avance de construcción de suelo base de radieres.

Sector	Fecha		01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
	día		0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77
	SS	P	%											
1	1	0,09	0	0	10	15	35	40	65	70	75	80	80	80
1	2	0,06	0	0	10	15	35	40	65	70	75	80	80	80
1	3	0,09	0	0	0	0	0	20	60	60	60	60	60	65
1	4	0,09	0	0	0	0	0	20	60	60	60	60	60	65
1	5	0,07	0	0	0	0	0	0	0	20	35	35	50	50
1	6	0,08	0	0	0	0	0	0	0	20	35	35	50	50
2	1	0,13	0	60	90	95	95	95	95	95	95	95	95	95
2	2	0,12	0	0	0	50	75	85	90	95	95	95	95	95
2	3	0,12	0	0	0	0	10	25	45	50	60	70	75	85
2	4	0,15	0	0	0	0	10	25	45	50	60	70	75	85
Avance total			0	8	13	20	29	39	56	61	67	71	74	78

Radieres: Avance de colocación de mallas y vertido del hormigón

Tabla B.37. Avance de colocación de mallas y vertido del hormigón en radieres.

Sector	Fecha		01- jul	08- jul	15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
	día		0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77
	SS	P	%											
1	1	0,09	0	0	0	0	35	40	65	70	70	75	75	75
1	2	0,06	0	0	0	0	35	40	65	70	70	75	75	75
1	3	0,09	0	0	0	0	0	0	50	50	50	60	60	65
1	4	0,09	0	0	0	0	0	0	50	50	50	60	60	65
1	5	0,07	0	0	0	0	0	0	0	20	35	35	40	40
1	6	0,08	0	0	0	0	0	0	0	20	35	35	40	40
2	1	0,13	0	0	0	81	95	95	95	95	95	95	95	95
2	2	0,12	0	0	0	20	75	85	90	95	95	95	95	95
2	3	0,12	0	0	0	0	0	25	45	50	60	70	75	85
2	4	0,15	0	0	0	0	0	25	45	50	60	70	75	85
Avance total			0	0	0	13	26	35	54	60	65	70	72	76

Losas: Avance de colocación cimbra

Tabla B.38. Avance de colocación cimbra en losas.

Sector	Fecha		15- jul	22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
	día		0	7	14	21	28	35	42	49	56	63
	SS	P	%									
1	1	0,09	0	35	80	80	85	95	95	100	100	100
1	2	0,06	0	0	0	15	0	35	50	100	100	100
1	3	0,09	0	0	0	0	30	40	45	50	80	95
1	4	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0	20	35
1	5	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
1	6	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0,13	0	0	35	80	90	95	100	100	100	100
2	2	0,12	0	0	0	20	65	75	90	90	90	100
2	3	0,12	0	0	0	0	0	15	25	80	90	90
2	4	0,15	0	0	0	0	0	0	0	15	80	90
Avance total			0	3	12	21	30	37	42	55	71	76

Losas: Avance de colocación de enfierradura

Tabla B.39. Avance de colocación de enfierradura en losas.

Sector	Fecha		22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
	día		7	14	21	28	35	42	49	56	63
	SS	P	%								
1	1	0,09	0	30	80	85	90	90	100	100	100
1	2	0,06	0	0	0	0	0	0	75	100	100
1	3	0,09	0	0	0	30	40	45	50	70	75
1	4	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0	10
1	5	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	6	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0,13	0	0	30	85	95	100	100	100	100
2	2	0,12	0	0	0	20	65	90	90	90	95
2	3	0,12	0	0	0	0	0	15	45	90	90
2	4	0,15	0	0	0	0	0	0	0	20	35
Avance total			0	3	11	24	32	38	47	59	63

Losas: Avance de colocación de cables, instalaciones y recubrimientos

Tabla B.40. Avance de colocación de cables, instalaciones y recubrimientos en losas.

Sector	Fecha		22- jul	29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
	día		7	14	21	28	35	42	49	56	63
	SS	P	%								
1	1	0,07	0	10	80	85	90	90	100	100	100
1	2	0,00	0	0	0	0	0	0	75	100	100
1	3	0,15	0	0	0	0	40	45	50	50	75
1	4	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	10
1	5	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	6	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0,06	0	0	10	85	95	100	100	100	100
2	2	0,13	0	0	0	20	50	90	90	90	95
2	3	0,20	0	0	0	0	0	15	35	90	90
2	4	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avance total			0	1	9	21	30	38	46	54	58

Losas: Avance de vertido del hormigón

Tabla B.41. Avance de vertido del hormigón en losas.

Sector	Fecha		29- jul	05- ago	12- ago	19- ago	26- ago	02- sep	09- sep	16- sep
	día		14	21	28	35	42	49	56	63
	SS	P	%							
1	1	0,09	0	80	80	90	90	95	100	100
1	2	0,06	0	0	0	0	0	60	100	100
1	3	0,09	0	0	0	40	35	40	50	65
1	4	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0
1	5	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0
1	6	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0,13	0	0	85	95	100	100	100	100
2	2	0,12	0	0	0	0	80	90	90	95
2	3	0,12	0	0	0	0	0	0	90	90
2	4	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0
Avance total			0	8	18	24	34	40	54	56

Losas: Avance de retiro de cimbra

Tabla B.42. Avance de retiro de cimbra en losas.

Sector	Fecha		19-ago	26-ago	02-sep	09-sep	16-sep
	día		35	42	49	56	63
	SS	P	%				
1	1	0,07	0	30	30	75	75
1	2	0,00	0	0	0	25	30
1	3	0,15	0	0	0	0	0
1	4	0,04	0	0	0	0	0
1	5	0,11	0	0	0	0	0
1	6	0,13	0	0	0	0	0
2	1	0,06	0	30	30	65	75
2	2	0,13	0	0	0	30	75
2	3	0,20	0	0	0	0	20
2	4	0,00	0	0	0	0	0
Avance total			0	7	7	20	30

-Residuos de obra generados durante el periodo de observación

Tabla B.43. Residuos generados.

Material	V (m3)
Madera	108
Tierra/piedras	61
Hormigón	98
Plástico	56
fierros	6
Papel/Cartón	50
Orgánicos	16
Ladrillos	5
Vidrios	0
Total	377

ANEXO C: Datos Procesados

- Columnas: Colocación de enfierradura

Tabla C.1. Indicadores para colocación de enfierradura en columnas.

Muestra	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	R	EI
#	-	min/ml	%	%	%	ml/HH	Kg/HH	días/ml
1	4S F11	154,8	-	67	17	0,1	37,2	0,0
2	4S D5.1	154,8	-	79	21	0,1	27,9	0,0
3	4S E.1 5.1	154,8	-	67	17	0,1	34,9	0,0
4	4S D.2 12	154,8	-	67	17	0,1	27,9	0,4
5	4S D.2 11	203,2	-	75	13	0,1	28,4	0,1
6	4S F12	125,8	-	67	21	0,1	34,3	0,1
7	4S C8	135,5	-	58	17	0,1	21,3	0,3
8	4S H5.1	135,5	-	82	18	0,1	-	0,0
9	3S G12	136,4	-	56	33	0,1	28,2	0,0
10	3S G9	190,9	-	71	29	0,1	30,2	0,1
11	3S D.2 9	245,5	100	69	31	0,1	23,5	0,1
12	4S D.2 8	138,7	-	84	6	0,1	31,2	0,1
13	3S J11	216,7	88	70	15	0,1	17,7	1,2
14	3S J12	210,0	88	51	7	0,1	18,3	0,7
15	3S I9	160,0	86	79	6	0,1	24,0	1,0
16	3S N7	218,2	92	91	9	0,1	17,6	0,8
17	4S D7	139,9	88	74	6	0,1	16,5	0,6
18	3S O5	154,8	100	81	13	0,1	18,6	1,1
19	4S G3	174,2	83	69	22	0,1	33,1	0,0
20	3S M5	-	96	80	15	0,1	20,3	0,5
21	3S M6	245,5	96	62	28	0,1	29,3	0,9
22	3S J9	280,0	91	73	18	0,1	13,7	0,7
23	3S L6	-	93	86	14	0,1	19,2	0,7
24	3S J8	200,0	81	85	15	0,1	19,2	1,0
25	3S L5	245,5	94	73	19	0,1	35,2	0,7
26	4S L3	212,9	89	73	27	0,1	13,5	0,6
27	4S K3	232,3	78	66	28	0,1	12,4	0,6
28	3S H12	160,0	91	54	25	0,1	36,0	0,9
29	3S J5	190,9	93	70	24	0,2	-	0,1
30	3S G12	272,7	86	71	7	0,1	14,1	0,9
31	3S G11.1	-	83	92	8	0,1	26,4	0,0
32	4S E.1 5.1	154,8	-	64	28	0,1	34,9	0,2
33	3S K12	186,3	97	72	7	0,1	20,6	-
34	3S K10	153,4	98	75	19	0,1	25,0	-
Promedio		185	90	72	18	0,1	24,7	0,4
Max.		280	100	92	33	0,2	37,2	1,2
Min.		126	78	51	6	0,1	12,4	0,0

Columnas: Colocación de encofrado

Tabla C.2 Indicadores para colocación de encofrado en columnas.

Muestra	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	EI
#	-	min/ml	%	%	%	ml/HH	días/ml
1	4S - D12	39	-	71	21	0,8	-
2	4S - C11	48	-	78	13	0,6	-
3	4S - D10	39	-	75	17	0,8	-
4	4S - F11	39	-	75	8	0,8	-
5	4S - D 5.1	29	-	78	22	1,0	-
6	4S - E.1 5.1	39	-	67	21	0,5	0,1
7	4S - F 5.1	29	-	83	17	1,0	0,1
8	4S - E.1 4.2	39	-	67	17	0,8	0,2
9	4S - D.2 11	32	-	85	15	0,9	0,0
10	4S - F8	32	75	85	15	0,9	0,0
11	4S - D.2 10	68	93	68	10	0,4	0,0
12	3S - J12	40	89	88	13	0,5	0,1
13	3S - J11	40	83	68	17	0,5	0,15
14	AS - F.1 - X.4	44	67	69	15	0,5	0,18
15	AS - E.2 - X.4	29	79	54	33	0,7	0,18
16	AS - E.2 - X.3	29	50	43	44	0,7	0,22
17	AS - F.1 - X.3	48	82	65	27	0,4	0,22
18	3S - J10	45	89	59	30	0,4	0,22
19	3S - M6	48	100	51	29	0,6	0,30
20	3S - N5	55	100	55	25	0,6	0,10
21	4S - B.2 12	35	77	68	18	0,8	0,07
22	4S - I3	32	67	67	33	0,6	0,00
23	3S - H 12 (13)	32	93	65	22	0,9	0,12
24	3S -G12	54	87	80	20	0,4	0,08
25	3S - F12	64	85	83	17	0,3	0,04
26	3S I8	36	68	71	20	0,6	0,16
Promedio		41	81	70	21	0,7	0,1
Max.		68	100	88	44	1,0	0,3
Min.		29	50	43	8	0,3	0,0

Columnas: Vertido del hormigón

Tabla C.3. Indicadores para vertido del hormigón en columnas.

Muestra	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	EI	P.H.	P.H.
#	-	min/ml	%	%	%	ml/HH	días/ml	m3/mL	%
1	4S - G5.1	25,8	-	71	25	0,8	0,2	-	-
2	4S - H5.1	25,8	-	71	25	0,8	0,2	-	-
3	4S F4.2	29,0	-	56	17	0,7	0,1	-	-
4	4S - C12	25,8	-	35	56	0,8	0,2	0,04	5,85
5	4S - C11	29,0	-	38	50	0,7	0,2	0,03	5,85
6	4S - D.2 12	29,0	-	22	56	0,7	0,1	0,03	5,85
7	4S - C10	29,0	-	24	56	0,7	0,1	0,04	5,85
8	4S - C9	17,7	-	24	55	1,1	0,1	0,04	7,68
9	4S - D8	22,6	-	29	57	0,7	0,1	0,05	10,23
10	4S - D9	19,4	-	50	50	0,8	0,1	0,05	10,23
11	4S - F9	22,6	-	37	57	0,7	0,1	0,07	10,23
12	4S - C8	19,4	-	42	50	0,8	0,1	0,02	5,06
13	3S - J12	20,0	-	18	67	1,0	1,3	0,03	6,87
14	3S J11	40,0	-	35	50	0,5	1,3	0,03	6,87
15	F.1 - X.4	29,0	64	19	67	0,5	0,7	0,02	9,74
16	E.2 - X.4	33,9	46	14	-	0,4	-	0,02	9,74
17	E.2 - X.3	-	57	19	67	0,3	-	0,02	9,74
18	F.1 - X.3	43,5	67	17	67	0,3	0,6	0,02	9,74
19	3S- M5	18,2	63	38	63	1,1	-	0,0	0,9
20	3S- H12	27,3	67	42	58	0,7	0,2	0,1	16,8
21	3S - B.2 12	-	50	30	50	0,3	0,7	0,1	16,8
Promedio		26,7	59	35	52	0,7	0,4	0,04	8,6
Max.		43,5	67	71	67	1,1	1,3	0,08	16,8
Min.		17,7	46	14	17	0,3	0,1	0,01	0,9

Columnas: colocación de recubrimiento

Tabla C.4. Indicadores para colocación de recubrimiento en columnas.

#	ID	D (min/ml)	R (ml/HH)	EI (días/ml)
1	3S D8	36,4	7,4	0,4
2	3S D9	36,4	7,4	0,4
3	3S D10	36,4	7,4	0,3
4	3S L6	23,5	11,5	0,0
5	3S M5	50,3	5,4	0,1
6	3S J8	28,3	9,5	0,3
7	3S K9	25,6	10,6	0,1
8	3S N6	13,6	19,8	0,0
9	3S K12	23,1	11,7	0,1
10	4S J3	19,4	14,0	0,1
Promedio		29,3	29,3	0,18

Columnas: retiro de encofrado

Tabla C.5. Indicadores para retiro de encofrado en columnas.

Muestra #	ID	D (min/ml)	R (ml/HH)
1	4S C10	12,9	14,0
2	4S C11	9,7	18,6
3	4S C12	6,5	27,9
4	4S D9	9,7	18,6
5	4S F9	12,9	14,0
6	3S H12 (11)	27,3	9,9
7	3S I9	22,7	11,9
8	3S J10	14,3	18,9
9	3SJ9	16,1	16,8
10	4S E.1 4.2	9,7	18,6
Promedio		14,2	16,9

Muros: Colocación de enfierradura

Tabla C.6. Indicadores para colocación de enfierradura en muros.

Muestra #	ID	D min/m2	ILC %	PTE %	PTP %	R m2/HH	R Kg/HH	EI Días/m2
1	AS X.5 D.1-F.1	15,1	-	69	6	0,8	14,54	0,11
2	4S I-G 14	25,0	-	86	3	0,5	14,51	0,01
3	4S K 7-8	-	89	28	2	0,2	4,41	-
4	3S K 12-13	31,7	91	65	8	0,5	13,82	0,10
5	3S O 7-5	9,6	87	69	11	1,2	33,29	0,09
6	3S O-M/2 7	9,4	81	75	15	1,3	24,17	0,02
7	3S O 8.1-6	7,7	92	89	11	1,3	35,44	0,03
8	4S F-G 14	8,6	86	68	25	1,4	40,92	0,05
9	3S K12-11	12,2	75	66	14	1,0	29,48	0,04
10	3S K-J 13	7,9	86	21	43	1,3	36,99	0,09
11	3S J-I 13	9,8	82	69	15	1,0	29,73	0,00
12	3S K 11-10	14,0	89	79	7	0,7	20,96	0,06
13	4S K 9-10	29,0	80	36	3	0,3	10,14	0,11
14	4S A.1 9-7	11,0	96	41	2	0,9	16,66	0,03
15	3S O 5-5/2	11,1	77	58	29	1,1	27,72	0,01
16	3S K-L 7	26,9	95	88	12	0,4	7,94	0,03
17	3S H-I 10	20,9	87	66	9	0,7	16,85	0,08
18	3S K 9-8	20,6	88	80	14	0,7	17,23	0,00
19	3S O 4-5	27,4	83	48	6	0,4	12	0,00
20	3S K-L 3	36,1	75	74	6,5	0,3	5	0,00
21	4S K 12-11	-	-	31,8	0,9	0,1	2	0,10
22	K 10-11/2	-	-	34,2	1	0,1	2,1	0,03
23	3S O-N 3	36,1	100,0	76	10	0,3	5,0	0,03
24	4S N-M 3	33,3	96	80	10	0,4	6,4	0,01
25	4S K-J 3	-	67	51	1	0,1	1,1	0,00
26	3S O 3-4	16,0	74	65	11	0,6	16,6	0,01
Promedio		19,1	85	62	11	0,7	17,1	0,04
Max		36,1	100	89	43	1,4	40,9	0,11
Min		7,7	67	21	1	0,1	1,1	0,00

Muros: Colocación de encofrado

Tabla C.7. Indicadores para colocación de encofrado en muros.

Muestra	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	EI	CM
#	-	min/m2	%	%	%	m2/HH	Días/m2	%
1	4S 10 H-I	4,6	-	70	13	2,2	0,008	-
2	4S K-I 13	3,9	80	82	11	2,6	0,000	2,9
3	4S 14 I-G	4,7	85	81	6	2,1	0,000	3,0
4	4S K12-11/2	8,6	81	84	3	1,2	0,003	8,9
5	4S K11/2-11	7,5	69	67	4	1,3	0,006	8,9
6	4S K10-9	6,2	71	80	7	1,6	0,005	4,7
7	4S K12-13	3,6	67	49	13	2,8	0,002	4,7
8	4S K8-9	2,5	77	82	18	4,0	0,003	4,7
9	4S K7-8	4,2	68	86	14	2,0	0,000	4,7
10	AS X.3 D.1- F.1	3,4	90	88	6	2,9	0,000	1,3
11	3S N-O 7	6,5	82	66	17	1,9	0,002	3,5
12	3S K12-13	2,8	91	83	17	3,6	0,002	2,5
13	3S K11-12	3,3	65	50	33	3,0	0,008	5,0
14	4S 03-5	2,5	80	90	10	3,4	0,001	2,4
15	AS F.1 X.5-X.2	3,1	78	67	33	2,8	0,006	3,2
16	AS D.1 X.5-X.2	3,1	88	38	-	3,2	0,002	3,2
17	3S K 10-11	3,4	85	55	20	2,9	0,023	6,2
18	4S I-J 3	7,7	59	69	20	1,6	0,006	4,2
19	3S H-I 10	4,0	79	79	14	3,8	0,000	-
20	3S H-I 14	3,6	87	32	25	3,4	0,010	6,0
21	4S B.2 9-10	5,3	75	80	20	2,8	0,002	2,9
22	4S F-G 14	6,4	79	82	8	1,6	0,004	5,3
Promedio		4,6	78	71	15	2,6	0,004	4,4
Max		8,6	91	90	56	4,0	0,023	8,9
Min		2,5	59	32	3	1,2	0,000	1,3

Muros: Vertido de hormigón

Tabla C.8. Indicadores para vertido de hormigón en muros.

Muestra	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	PH	PH	GE	GE	EI
#	-	min/m2	%	%	%	m2/HH	m3/m2	%	%	L/m2	días/m2
1	4S G10	7,3	-	56	41	1,6	0,02	7	17	0,5	0,000
2	4S K-I 13	3,1	54	53	44	3,8	0,02	9	33	0,3	0,023
3	4S K12/2-11/2	5,5	60	33	60	2,2	0,02	8	0	0,0	0,000
4	4S 14 I-G	2,7	58	54	42	3,2	0,02	8	16	0,2	0,000
5	4S K 11/2-10/2	3,9	60	20	43	2,2	0,02	10	0	0,0	0,000
6	4S K 9-10/2	3,1	60	42	33	3,9	0,00	2	40	0,4	0,017
7	4S K 12/2-13	4,3	58	8	67	3,5	0,00	2	0	0,0	0,036
8	4S K 9-8	3,2	67	52	35	6,3	0,01	6	0	0,0	0,008
9	4S K 7-8	2,7	75	31	41	5,5	0,00	0	51	0,4	0,019
10	AS X.5 D.1 - F.1	2,4	67	30	36	5,0	0,00	-1	34	0,2	0,006
11	AS X.3 D.1 - F.1	2,2	70	33	50	5,4	0,01	5	22	0,2	0,052
12	4S F-G 14	3,1	78	23	67	6,4	0,01	5	8	0,1	0,035
13	3S K-I 13	2,1	79	31	25	7,0	0,01	5	0	0,0	0,018
14	3S O 5-6	2,4	83	30	33	4,2	0,01	5	28	0,2	0,010
15	4S J/2-L/2 3	3,1	64	9	38	3,2	0,00	2	42	0,4	0,010
16	3S K10-11	2,3	50	27	33	6,5	0,02	6	38	0,3	0,011
17	3S K 9/2-10	5,5	73	33	40	2,2	0,00	1	55	0,8	0,018
18	3S O4-5	3,9	50	11	25	3,1	0,01	4	58	0,6	0,011
Promedio		3,5	65	32	42	4,2	0,01	5	25	0,2	0,015
Max		7,3	83	56	67	7	0,02	10	58	0,8	0,052
Min		2,1	50	8	25	2	0,00	-1	0	0,0	0,000

Muros: Colocación de recubrimiento

Tabla C.9. Indicadores para colocación de recubrimiento en muros.

Muestra #	ID	D (min/m ²)	R (m ² /HH)	EI (días/m ²)
1	AS X.5	1,7	104,6	0,014
2	K 13-12	1,3	140,7	0,021
3	K12-11	1,9	72,2	0,062
4	3S K-L 3	2,9	61,8	0,039
5	3S K9-8	1,7	158,9	0,028
6	3S H-I 10	4,8	56,8	0,053
7	3S K-J 13	1,4	192,7	0,003
8	4S F-G14	4,3	41,4	0,006
9	3S K-L 7	2,6	103,1	0,022
10	3S O4-5	2,0	92,0	0,016
Promedio		2,5	102,4	0,027

Muros: Retiro de encofrados

Tabla C.10. Indicadores para retiro de encofrados en muros.

Muestra #	ID	D (min/m ²)	R (m ² /HH)
1	AS X.3 D.1 - F.1	0,7	266,4
2	4S K-I 13	1,2	148,5
3	4S D.2-F 13	1,1	119,1
4	3S K11-12	2,8	64,8
5	AS F.1-D.1 X.2	0,9	199,8
6	3S K-I 13	1,3	102,1
7	3S O5-6	2,1	63,8
8	4S L-M 3	3,3	40,5
9	3S L-M 7	2,8	64,8
10	B.2 9-8	1,2	110,2
Promedio		1,7	118,0

Fundaciones: Colocación de enfierradura

Tabla C.11. Indicadores para colocación de enfierradura en fundaciones.

Muestra	ID	D	PTE	PTP	R	R	EI
#	-	min/m2	%	%	m3/HH	Kg/m3	días/m3
1	FU D11	40,0	91	3	0,3	17,58	0,1
2	FU C11	46,7	80	4	0,3	18,83	0,1
3	FU C12	50,0	80	3	0,4	23,46	0,1
4	FU D12	56,3	98	2	0,2	12,51	0,0
5	FU C8	37,5	78	6	0,4	23,46	0,4
6	FU C9	33,4	92	8	0,4	21,09	0,0
7	FU D9	24,5	77	7	0,5	28,76	0,1
8	FU D8	36,4	98	2	0,3	19,36	0,0
9	FU F10	43,5	82	1	0,4	22,66	0,0
10	FU D-A.1 13	59,7	31	2	0,2	11,78	0,3
Promedio		42,8	81	4	0,3	20,0	0,1
Max		59,7	98	8	0,5	28,8	0,4
Min		24,5	31	1	0,2	11,8	0,0

Fundaciones: Vertido de hormigón

Tabla C.12. Indicadores para vertido de hormigón en fundaciones.

Muestra	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	PH	GE	GE
#		min/m3	%	%	%	m3/HH	%	%	L/m3
1	FU C11	10,6	-	21	68	1,4	8	26	0,9
2	FU C12	7,8	-	57	36	1,9	8	16	0,5
3	FU D12	9,4	-	47	33	1,6	8	18	0,6
4	FU D11	16,8	-	55	30	0,9	3	8	0,5
5	FU D10	16,8	-	58	33	0,9	3	40	2,0
6	FU C10	16,8	-	49	37	1,2	3	30	1,6
7	FU C9	20,2	-	34	28	0,7	12	0	0,0
8	FU C8	6,3	-	25	75	3,2	1	0	0,0
9	FU D9	10,2	-	45	45	1,5	8	0	0
10	FU D8	13,5	-	35	32	1,1	8	0	0
11	FU F10	7,1	-	32	32	2,1	8	35	0,8
12	FU C7	14,2	-	32	44	1,1	2	16	0,8
13	FU B.2 12-9	13,7	55	36	14	0,9	1	50	1,9
14	FU X.3-X.4	4,6	37	38	21	2,6	3	44	0,6
15	FU N-K3	12,1	67	22	28	0,8	3	41	1,5
16	FU X.3 X.4 D.1 E.0	5,8	52	40	31	1,5	8	35	0,6
17	FU A.1 7-11	6,7	64	55	29	2,2	5	28	0,6
18	FU B.2-7/2-9/2	9,0	65	25	38	1,7	12	44	1,1
Promedio		11	57	39	36	1,5	6	24	0,8
Max		20	67	58	75	3,2	12	50	2,0
Min		5	37	21	14	0,7	1	0	0,0

Fundaciones: Excavación de zapata

Tabla C.13. Indicadores para excavación de zapata en fundaciones.

Muestra	ID	D (min/m3)	R (m3/HH)	EI (min/m3)
1	FU C4.2	3,02	6,61	-
2	FU B3	8,78	2,28	67,48
3	FU C3	5,41	3,70	97,40
4	FU A.1 7-14	12,72	1,57	0,00
5	FU G 4.2	5,62	5,34	13,11
6	FU C 7	6,25	3,20	12,51
Promedio		6,97	3,78	38,10

Fundaciones: Construcción del emplantillado

Tabla C.14. Indicadores para construcción del emplantillado en fundaciones.

Muestra	ID	D (min/m3)	R (m3/HH)	EI (min/m3)
1	FU G3	5,54	3,61	85,83
2	FU H1-I1.2	0,86	23,34	85,69
3	FU C3	2,71	7,39	5,41
4	FU A.1 7-10	3,67	5,45	185,21
5	FU A3.1	4,71	4,24	153,18
6	FU C4.2	4,03	4,96	137,10
Promedio		3,59	8,17	108,74

Losas: Colocación de enfierradura

Tabla C.15. Indicadores para colocación de enfierradura en losas.

Muestra	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	R	EI
#		min/m2	%	%	%	m2/HH	Kg/HH	días/m2
1	K13-I11	2,8	83	74	5	3,1	41,01	0,004
2	K11-I8	3,2	84	85	5	3,1	41,89	0,004
3	O7-L5	3,4	92	94	6	3,0	39,51	0,003
4	L5-I7	3,2	94	78	4	3,2	42,38	0,004
5	H8-I11	6,2	50	83	3	1,6	21,73	0,005
6	H14-I11	3,6	80	81	5	2,8	36,90	0,004
7	F8-H11	7,2	100	87	2	1,7	22,29	0,003
8	D11-F13	5,6	60	84	2	1,8	23,78	0,007
9	D8-F11	2,0	90	83	6	4,9	65,92	0,006
10	I3-L5	3,1	89	78	9	3,2	42,47	0,004
11	H7-I5	3,9	74	86	5	2,6	34,32	0,009
Promedio		4,0	81	83	5	2,8	37,5	0,005
Max		7,2	100	94	9	4,9	65,9	0,009
Min		2,0	50	74	2	1,6	21,7	0,003

Losas: Colocación de cimbra

Tabla C.16. Indicadores para colocación de cimbra en losas.

Muestra	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	EI	C.M.
#		min/m2	%	%	%	m2/HH	días/m2	%
1	O7-L5	5,1	80	74	1	2,4	0,001	4
2	L5 - I7	6,7	84	80	3	1,8	0,004	4
3	K13 - I11	11,6	78	58	3	1,3	0,002	5
4	K11 - I8	11,7	81	87	1	1,3	0,000	4
5	H14-I11	11,9	83	71	2	1,3	0,016	7
6	H8-I11	13,9	72	88	2	1,1	0,009	6
7	F14-H11	12,5	80	67	1	1,2	0,000	5
8	D11-F13	10,1	80	34	4	2,0	0,000	5
9	O3-L5	16,7	61	78	2	0,7	0,002	6
10	I3-L5	10,3	76	63	3	1,5	0,002	4
11	C11-D13	14,0	71	63	4	1,4	0,005	7
12	H5-I8	5,3	44	67	6	2,8	0,000	8
Promedio		10,8	74	69	3	1,6	0,003	6
Max		16,7	84	88	6	2,8	0,016	8
Min		5,1	44	34	1	0,7	0,000	4

Losas: Vertido de hormigón

Tabla C.17. Indicadores para vertido de hormigón en losas.

Muestra	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	PH	PH	GE	GE
#		min/m2	%	%	%	m2/HH	m3/m2	%	%	L/m2
1	O7-L5 + M.1 7-O 8.1	1,0	70	27	17	7,8	0,02	9	35	0,1
2	K13-I11	1,5	73	59	16	5,9	0,02	9	25	0,1
3	K11-I8	0,9	69	56	29	7,0	0,00	0	16	0,1
4	L5-I7	0,9	48	42	21	8,6	0,02	8	27	0,1
5	H8-I11	1,5	57	48	25	5,6	0,01	3	17	0,1
6	F14-H11	1,6	61	29	30	5,5	0,02	8	37	0,2
7	O3-L5	1,2	58	15	19	8,3	0,00	1	41	0,1
8	D11-F13	1,2	79	29	44	6,2	0,00	0	53	0,2
9	D8-F11	1,1	55	50	29	7,1	0,01	5	13	0,1
Promedio		1,2	63	40	25	6,9	0,01	5	29	0,1
Max		1,6	79	59	44	8,6	0,02	9	53	0,2
Min		0,9	48	15	16	5,5	0,00	0	13	0,1

Losas: Colocación de cables, recubrimientos e instalaciones

Tabla C.18. Indicadores para colocación de cables, recubrimientos e instalaciones en losas.

#	ID	D (min/m ²)	R (m ² /HH)	EI (días/m ²)
1	O7-L5	0,9	4,9	0,0004
2	K11-I8	1,5	4,2	0,0003
3	L5-I7	2,0	1,9	0,0004
4	H8-I11	2,5	2,0	0,0011
5	F14-H11	2,0	2,1	0,0003
6	D11-F13	2,4	2,6	0,0011
7	D8-F11	2,3	3,3	0,0011
8	O3-L5	2,4	2,0	0,0002
Promedio		2,0	2,9	0,0006

Losas: terminaciones

Tabla C.19 Indicadores para terminaciones de losas.

#	ID	D (min/m ²)	R (m ² /HH)
1	O7-L5	1,0	30,7
2	K11-I8	1,3	23,3
3	L5-I7	0,9	34,6
4	H8-I11	2,3	13,1
5	F14-H11	1,4	21,2
6	D13-F11	1,8	16,5
7	D8-F11	1,5	19,9
8	O3-L5	1,1	28,0
Promedio		1,4	23,4

Capiteles: Colocación de enfierradura

Tabla C.20 Indicadores para colocación de enfierradura en capiteles.

Muestra	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	R
#		min/m2	%	%	%	m2/HH	Kg/HH
1	4S K12	16,3	-	70	30	1,8	49,1
2	4S J11	12,7	100	58	25	2,4	63,1
3	4S I11	11,6	92	52	32	2,6	68,9
4	4S J10	12,7	75	67	21	2,4	63,1
5	4S J12	11,3	75	67	8	2,7	71,3
6	4S I10	12,7	92	63	21	2,4	63,1
7	K11	10,6	73	27	40	1,9	50,5
8	4S K9	11,4	79	71	29	2,6	70,2
9	4S L6	12,7	85	65	25	1,6	42,1
10	4S K6	7,9	100	49	40	2,5	67,4
11	4S L5	12,7	90	46	42	2,4	63,1
12	4S- K5	11,6	92	31	32	1,7	45,9
13	4S G8	14,8	100	67	27	2,0	54,3
14	4S F10	12,7	92	60	33	2,4	63,1
15	4S F12-14	10,2	100	37	8	2,9	78,8
16	4S L4	12,7	70	50	33	2,4	63,1
17	4S D.2 12-13	5,6	93	67	33	2,7	71,3
18	4S H7-5	10,5	67	78	7	1,4	38,1
Promedio		11,7	87	57	27	2,26	60,4
Max		16,3	100	78	42	2,95	78,8
Min		5,6	67	27	7	1,43	38,1

Capiteles: Colocación de cimbra

Tabla C.21. Indicadores para colocación de cimbra en capiteles.

Muestra	ID	D	ILC	PTE	PTP	R
#		min/m2	%	%	%	m2/HH
1	4S - I9	25,4	81	63	25	1,2
2	4S - J9	28,6	88	73	15	1,1
3	4S - J10	31,7	70	44	18	0,9
4	4S - I10	18,5	83	38	26	1,6
5	4S - J11	12,7	83	25	42	2,4
6	4S - I11	24,3	92	53	30	1,2
7	4S - J12	19,0	92	50	33	1,6
8	4S - G9	38,1	83	81	19	0,8
9	4S - G10	32,5	100	65	18	0,9
10	4S - G8	23,6	86	67	21	1,3
11	4S - F10	25,4	75	88	13	1,2
12	4S - F9	25,4	70	65	19	1,2
13	4S - F11	31,7	75	53	10	0,9
14	4S - L4	25,4	79	71	13	1,2
15	4S - K4	19,0	100	33	17	1,6
Promedio		25,4	84	58	21	1,3
Max		38,1	100	88	42	2,4
Min		12,7	70	25	10	0,8

Radieres: Vertido de hormigón

Tabla C.22. Indicadores para vertido de hormigón en radieres.

Muestra	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	PH	PH	GE	GE	CM
#		min/m2	%	%	%	m2/HH	m3/m2	%	%	L/m2	%
1	K13-IJ11	1,6	-	61	15	4,1	0,00	1	35	0,2	3,1
2	K11-IJ8	0,6	-	58	24	15,4	0,00	2	20	0,0	2,7
3	J110-H8	1,5	-	19	33	5,6	0,01	5	28	0,1	3,3
4	IJ12-10H	1,0	-	33	38	6,5	0,00	2	33	0,1	3,3
5	G10-8H	1,5	-	38	38	5,1	0,01	11	22	0,1	4,2
6	F8-G10	1,5	77	24	33	5,8	0,00	4	26	0,1	3,9
7	K7-H8	0,9	75	26	59	8,0	0,00	2	25	0,1	3,4
8	F10-H11	1,4	83	25	68	5,4	0,01	5	12	0,1	4,5
9	D.2 8-F10	1,7	54	48	40	4,4	0,00	2	19	0,1	3,9
10	GH11-H12	2,7	52	42	58	3,2	0,02	15	32	0,3	7,8
11	GH12-I14	2,0	50	41	26	3,8	0,02	15	41	0,2	4,1
12	H4-I6 +I4.2-J4	1,0	73	43	38	10,3	0,00	1	19	0,1	4,2
13	D12-GH11	1,1	71	62	21	7,5	0,01	9	27	0,1	3,2
14	D11- F10	1,2	69	18	69	7,2	0,01	8	27	0,1	3,9
15	O4 - L3	1,1	38	54	33	5,8	0,01	6	19	0,1	3,3
16	F6-H4	1,0	72	33	30	11,5	0,01	9	39	0,1	2,8
17	F14-G11	3,2	72	55	29	3,8	0,90	3	18	0,2	5,9
18	D12- FG14	2,1	75	57	29	3,5	0,00	0	0	0,0	3,9
19	B.2 12-D11	2,7	88	29	55	2,8	0,0	6	35	0,3	4,4
20	D5.1-F5	1,7	80	17	33	6,9	0,0	11	37	0,2	5,2
21	D10-D.2 8	1,2	54	67	17	6,9	-	-	19	0,1	4,6
22	C9-D8	1,6	58	50	17	5,4	0,7	5	40	0,2	4,2
23	C9-D(10)	4,3	39	65	22	2,0	0,0	1	29	0,4	6,1
24	HX.5-B.2 8+ C11	1,2	62	50	17	6,9	0,0	2	25	0,1	6,8
Promedio		1,7	65	42	35	6,2	0,1	5	26	0,1	4
Max		4,3	88	67	69	15,4	0,9	15	41	0,4	8
Min		0,6	38	17	15	2,0	0,0	0	0	0,0	3

Radieres: Construcción de suelo base

Tabla C.23 Indicadores para construcción de suelo base en radieres.

Muestra	ID	D (min/m2)	R (m2/HH)	EI (min/m2)
1	K13-IJ11	2,1	14,1	15,0
2	K11-IJ8	2,8	10,7	7,1
4	B.2 12-D11	3,4	4,4	1,9
5	D12-GH11	3,8	5,3	7,5
6	C9-D8	2,7	11,3	0,0
7	D10-D.2 8	3,0	6,8	1,7
8	D5.1-F5	2,9	5,2	0,0
9	O4-L3	3,9	7,7	0,7
Promedio		3,1	8	4,2

Radieres: Terminaciones

Tabla C.24. Indicadores para terminaciones de radieres.

#	ID	D (min/m ²)	R (m ² /HH)
1	K13-IJ11	1,2	25,4
2	K11-IJ8	0,8	38,5
3	D12-FG14	1,8	16,3
4	B.2 12-D11	3,9	7,7
5	D12-GH11	1,7	18,0
6	C9-D8	3,2	9,4
7	D10-D.2 8	2,5	12,1
8	D5.1-F5	3,5	8,7
Promedio		2,3	17,0

Pérdida de hierro: Como se comentó anteriormente, la pérdida de hierro alcanzó los 6 m³ durante el periodo de observación en terreno. Para una densidad de 7800 Kg/m³ esto equivale a 46020 Kg de hierro perdido. Se estimó un total de 377771 Kg de hierro instalado para el mismo periodo, por lo que se obtiene un 12% de pérdida de hierro general.

Tabla C.25. Pérdida de hierro.

Elemento	Avance %	Avance -	unidad -	Cuántía fierro Kg/m ³	Fierro colocado Kg	PF kg	PF -	unidad -
Radieres	70	7163	m ²	24,62	21159	2619	0,37	kg/m ²
Losas	63	6479	m ²	66,8	86582	10717	1,65	kg/m ²
Muros	56	5261	m ² .	123,3	113459	14044	2,67	kg/m ²
Columnas	44	311	mL	380,9	73646	9116	29,28	kg/mL
Fundaciones	28	1312	m ³	58,7	76932	9523	7,26	kg/m ³

-Pérdida de madera: Los residuos de madera totales se cuantificaron en 95 m³, o para una densidad de 500 Kg/m³ de 47250 kg. Se estimó que un 73% de este residuo es atribuible a los elementos constructivos del edificio principal, que fueron el objeto de medición.

Tabla C.26. Pérdida de madera por muros, losas y radieres.

Elemento	cuántía madera	Avance m ²	Madera m ²	Madera m ³	PM kg/m ²
Muros	4	4819	212	6	0,7
Losas	6	7794	432	17	1,1
Radieres	4	7748	331	17	1,1

Tabla C.27. Pérdida de madera por fundaciones.

Elemento	cuantía madera	Avance m3	Madera m3	PM kg/m3
Fundaciones	3	4614	29	3,1

El total de madera perdida atribuible a los elementos constructivos es de 69 m3 o 34383 Kg.
Líneas de balance:

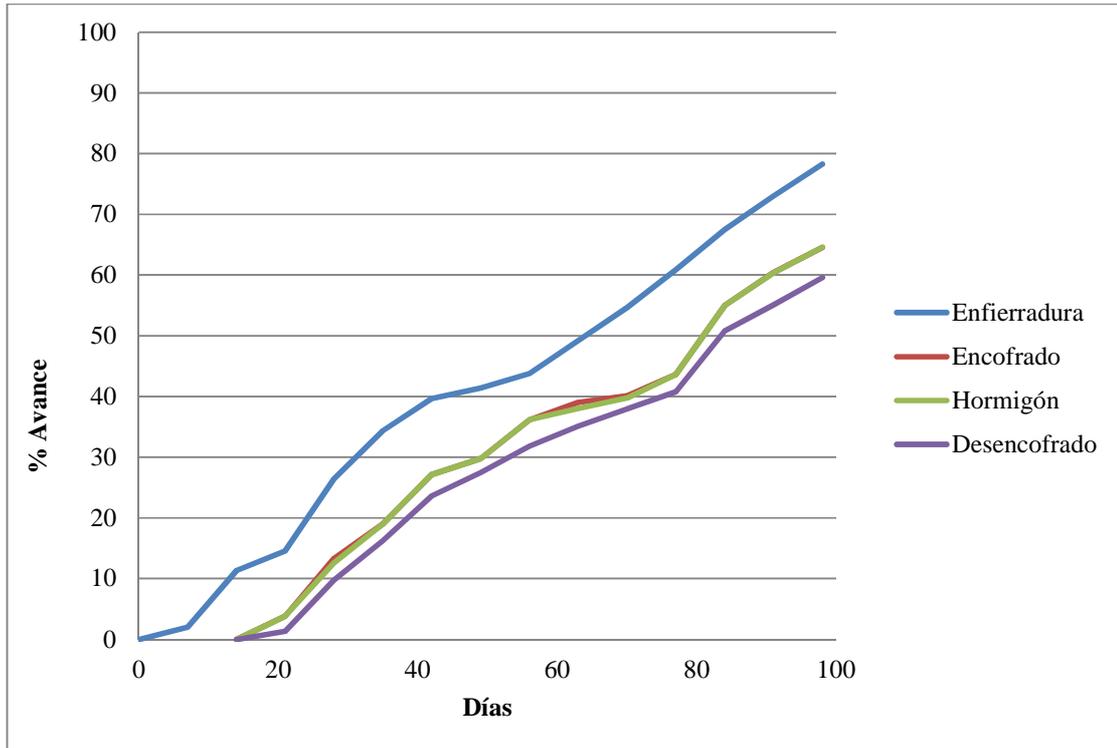


Fig. C.1. Líneas de balance para columnas.

Tabla C.28. Inventario de columnas.

Actividad	I (%)	I (mL)	σ (%)	CV (%)
Fierro	12	84	3,7	31
Encofrado	0	1	0,3	197
Hormigón	3	24	1,1	33

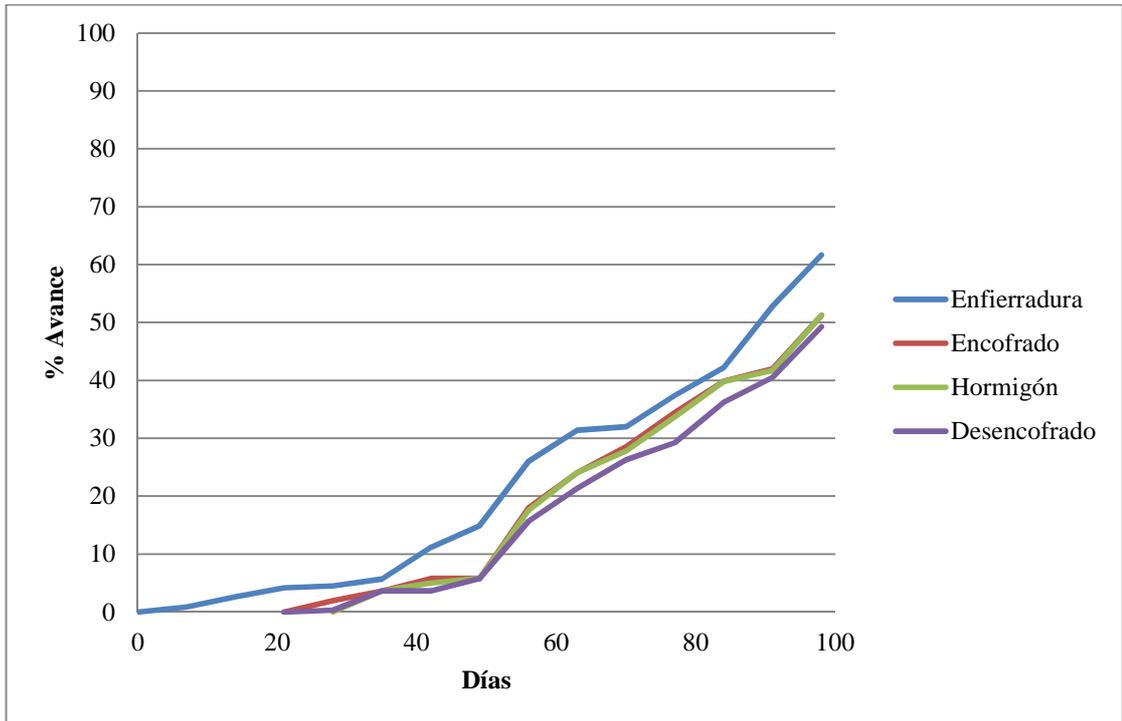


Fig. C.2. Líneas de balance para muros.

Tabla C.29. Inventario de muros.

Actividad	I (%)	I (mL)	σ (%)	CV (%)
Fierro	5,1	484	3,3	65
Encofrado	0,5	43	0,6	133
Hormigón	1,7	158	1,5	90

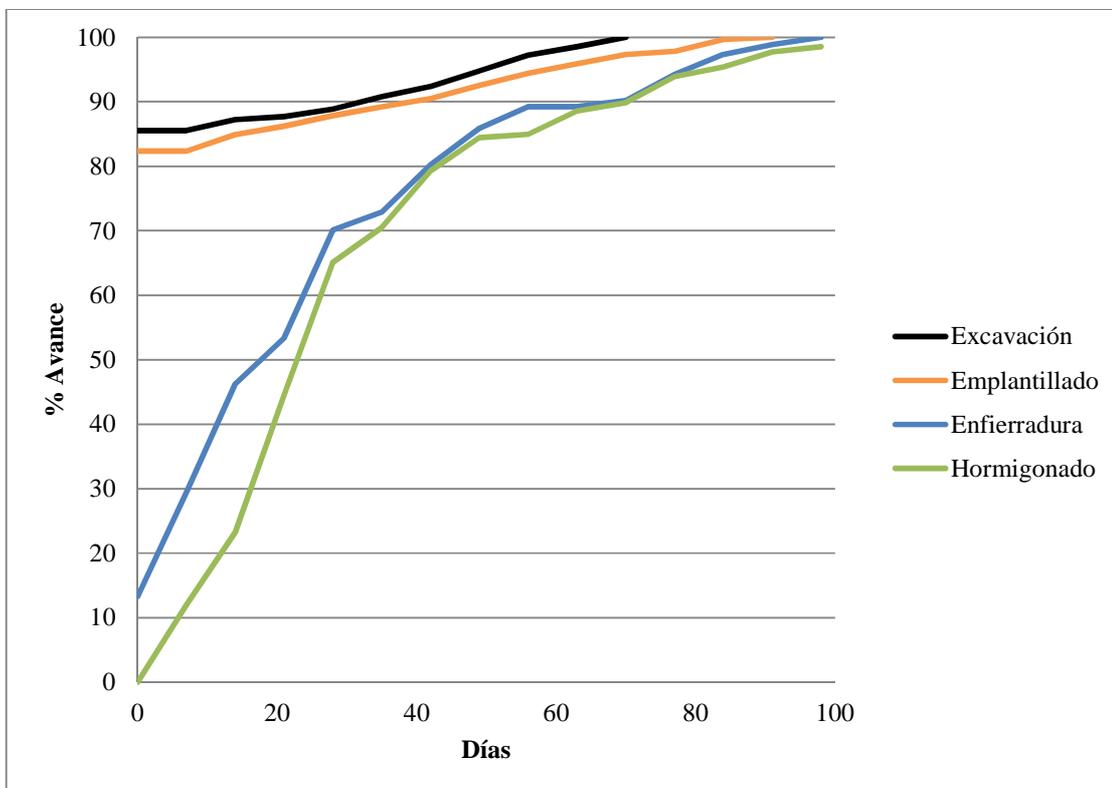


Fig. C.3. Líneas de balance para fundaciones.

Tabla C.30. Inventario de fundaciones.

Actividad	I (%)	I (mL)	σ (%)	CV (%)
Excavación	2,3	107	0,7	32
Emplantillado	19,3	904	21,1	109
Enfierradura	5,5	258	7,0	127

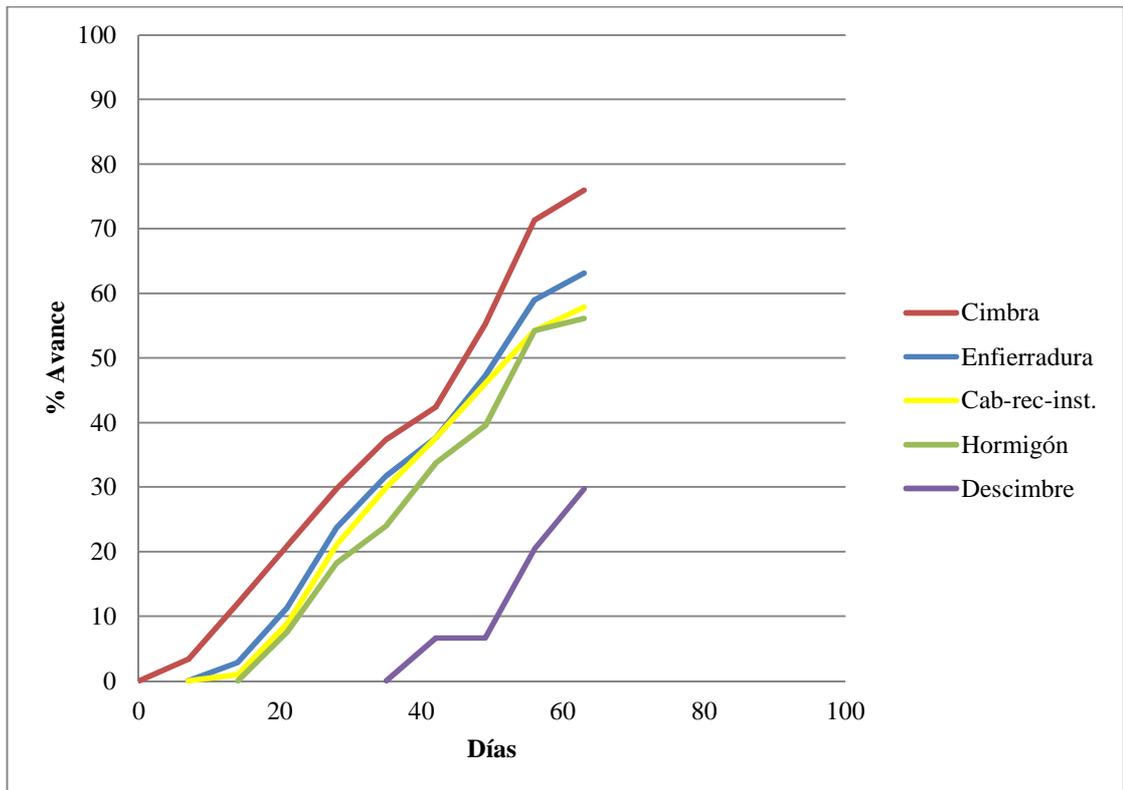


Fig. C.4. Líneas de balance para losas.

Tabla C.31. Inventario de losas.

Actividad	I (%)	I (mL)	σ (%)	CV (%)
Cimbra	8	817	3,3	42
Enfierradura	3	258	1,8	70
Cab-rec-inst.	3	297	2,4	82
Hormigón	24	2493	9,1	37

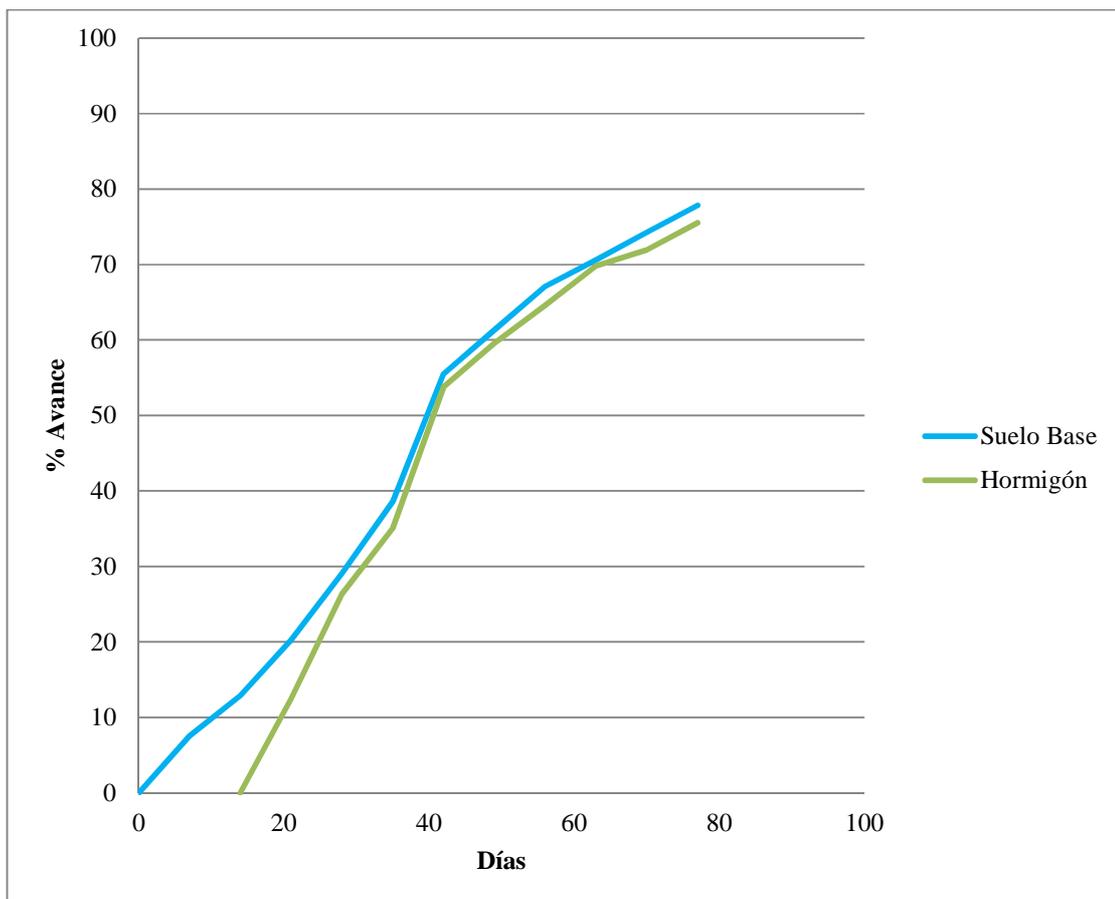


Fig. C.5. Líneas de balance para radieres.

Tabla C.31. Inventario de radieres

Actividad	I (%)	I (mL)	σ (%)	CV (%)
Suelo Base	4	392	3,7	97

Tiempo de ciclo total y tiempo de valor agregado total:

Tabla C.32. TCT y TVA para columnas.

Actividad	D	PTE	TET	I	EI
	min/ml	%	min/ml	ml	hrs/mL
Enfierradura	185,1	72,2	133,6	45,7	1,9
Recubrimiento	29,3	100,0	29,3	38,0	1,6
Encofrado	40,9	69,9	28,6	1,2	1,1
Hormigón	26,7	32,5	8,7	23,8	3,4
Desencofrado	14,2	100,0	14,2	-	-
Subtotal (hrs/ml)	4,9	-	3,6	-	8,0
TVA (hrs/mL)	3,6				
TCT (hrs/ml)	12,9				
% PVA	28				

Tabla C.33. TCT y TVA para muros.

Actividad	D	PTE	TET	I	EI
	min/m2	%	min/m2	m2	hrs/m2
Enfierradura	19,1	62,0	11,8	132,8	0,09
Recubrimiento	2,5	100,0	2,5	350,9	0,2
Encofrado	4,6	70,8	3,2	43,3	0,04
Hormigón	3,5	32,0	1,1	157,6	0,1
Desencofrado	1,7	100,0	1,7	-	-
Subtotal (hrs/m2)	0,5		0,3		0,5
TVA (hrs/m2)	0,3				
TCT (hrs/m2)	1,0				
% PVA	33				

Tabla C.34. TCT y TVA para losas.

Actividad	D	PTE	TET	I	EI
	min/m2	%	min/m2	m2	min/m2
Cimbra	10,82	69	7,5	817	1,85
Enfierradura	4,0	83,0	3,3	258	0,3
Cab-rec-Inst.	2,0	100	2,0	297	0,3
Hormigón	1	40	0,5	0	0,0
Terminaciones	1,4	100	1,4	-	-
subtotal(min/m2)	19,4		14,7		2,43
TVA (hrs/m2)	14,7				
TCT (hrs/m2)	21,9				
% PVA	67				

Tabla C.35. TCT y TVA para fundaciones.

Actividad	D	PTE	TET	I	EI
	min/m3	%	min/m3	m3	hrs/m3
Excavación	7	100	7,0	107	0,6
Emplantillado	4	100	3,6	904	1,8
Enfierradura	42	81	33,5	258	1,1
Hormigón	12	39	4,7	-	-
subtotal(hrs/m3)	1,1		0,8		3,5
TVA (hrs/m2)	0,8				
TCT (hrs/m2)	4,6				
% PVA	18				

Tabla C.36. TCT y TVA para radieres.

Actividad	D	PTE	TET	I	EI
	min/m2	%	min/m2	m2	min/m2
Base	3,1	100,0	3,1	392	4,2
Hormigonado	1,7	42,1	0,7	0	0,0
Terminaciones	2,3	100,0	2,3	-	-
subtotal(min/m2)	7,0		6,1		4,2
TVA (hrs/m2)	6,1				
TCT (hrs/m2)	11,3				
% PVA	54				

