

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“DETECCIÓN DE PÉRDIDAS PRODUCTIVAS EN LA
CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES
MULTIFAMILIARES”**

**PRESENTADA POR EL BACHILLER
CARLOS EDUARDO PALMA MELENA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ
NOVIEMBRE, 2016**

DEDICATORIA

A MI AMADA FAMILIA. GRACIAS POR TODO SU APOYO.

AGRADECIMIENTO

**A MIS DOCENTES DEL PICIN-UAP, Y A MI ALMA MÁTER, EL GLORIOSO
EJÉRCITO PERUANO.**

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 resolver 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.

la aplicación de sistemas tales como el de mapeo de las cadenas de valor en terreno fue de manera 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 factible y de gran optimización para la productividad y el desempeño medioambiental.

PALABRA CLAVE: SUSTENTABILIDAD EN EDIFICACIONES.

ABSTRACT

In the field of construction, sustainability studies are primarily aimed at the operation stage of the project, leaving aside the stages of design and construction. They have achieved so, big improvements in resource use and emissions; however, the construction period remains a major source of losses in production and environmental terms.

In order to solve the problem of production and environmental losses in the construction process mapping tool Value Chain (MCV) it was used. This is a tool that consists in making maps depicting the sequence of activities and information flows needed to produce a product and assists in the development of a diagnosis of the current state of the process. While traditional tools show only symptoms, evidence MCV production problems at its root. Proposals for improvements to these processes are then generated pointing to eliminate losses and increase the sustainability of the project in general.

The application of value chain mapping field was practical and it is found that choosing appropriate measure indicators, the tool allows accurate diagnosis and develop a finished state of current production. The proposed improvements and implementation recommendations were based primarily on the philosophies "Lean Construction" and "Green Building", these states are feasible production optimization, high productivity and environmental performance.

KEYWORD: SUSTAINABILITY IN BUILDINGS.

INTRODUCCIÓN

(Picchi, 1993) en su tesis doctoral llegó a demostrar que si se construyera un proyecto de vivienda de tres torres de apartamentos la tercera torre se haría con el desperdicio generado por las otras dos ya que este era tal que constituía un 30% del costo total, esto nos muestra la importancia de buscar mejoras en el sistema constructivo convencional para el desarrollo de proyectos de vivienda de interés social.

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 tornan 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.

INDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRAC.....	IV
INTRODUCCION.....	V
ÍNDICE.....	VI
1. CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1. Problema identificado y Motivación de la investigación	1
1.2. Alcance de la investigación	3
1.3. Hipótesis de la investigación	3
1.4. Resultados esperados	4
1.5. Objetivos de la investigación	4
1.5.1. Objetivos General	4
1.5.2. Objetivo Específico.....	4
1.6. Metodología de la Investigación	5
1.7. Antecedentes generales del Proyecto.....	6
2. CAPITULO II: PUNTOS DE PARTIDA	8
2.1. Green Building	8
2.1.1. Sustentabilidad en la Construcción	8
2.1.2. Marco Conceptual Green	9
2.2. Análisis de Ciclo de Vida.....	10
2.3. Lean Construction	10
2.3.1. Sobre la filosofía Lean	10
2.3.2. Producción como Cadena de Valor.....	13
2.3.3. Conceptos y Aplicación	13
2.4. Mapeo de Cadenas de Valor	15
2.4.1. Sobre la Cadena de Valor	15
2.4.2. Mapeo de la Cadena.....	15
2.4.3. Fuentes de pérdidas y Estado futuro.....	17
2.4.4. Incorporación de dimensiones medioambientales	18

3. CAPITULO III: PLANEAMIENTO E IMPLEMENTACION DE MVC	20
3.1. Adaptaciones al MCV	20
3.2. Formato y Simbología	22
3.3. Definiciones de indicadores	26
3.4. Obtención de datos de terreno	28
3.5. Procesamiento de datos	33
3.5.1. Metodología para el Cálculo de Indicadores de productividad	33
3.5.2. Metodología para el Cálculo de Indicadores medioambientales	38
3.5.3. Metodología para el Cálculo de tiempo y cantidades de inventario	41
3.6. El estado actual de la Cadena de Valor	45
3.6.1. Generalidades	45
3.6.2. Mapas de estado actual.....	45
3.6.3. Diagnóstico	49
3.6.4. Columnas y Muros	57
3.6.5. Losas.....	59
3.7. El estado futuro de la Cadena de Valor	60
3.7.1. Generalidades	60
3.7.2. Mapas del Estado Futuro de la cadena de valor	61
3.7.3. Mejoramiento general	65
3.7.4. Columnas y Muros	71
3.7.5. Losas.....	73
CONCLUSIONES	76
Resultados obtenidos	77
Contribuciones al Conocimiento	78
Relevancia practica	78
Futuras investigaciones	79
RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFIA	81
ANEXOS	84
6.1. Anexo A: Datos Recopilados en Terreno	84
6.2. Anexo B: Datos Procesados	106

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. PROBLEMA IDENTIFICADO Y MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Actualmente los proyectos de vivienda multifamiliar han tomado fuerza en gran parte del territorio nacional, esto debido a que la situación económica del país ha venido mejorando los últimos años lo que ha incentivado a muchas personas a adquirir techo en lugar de pagar arriendo, esta motivación ha hecho que las empresas constructoras se interesen cada vez más por desarrollar este tipo de proyectos ya que su ejecución es relativamente sencilla debido a la eliminación de los acabados lo que los hace mucho más rentables.

La construcción presenta una dificultad natural por ser una industria compleja. Esto es debido a que existen infinidad de métodos constructivos, equipos, mano de obra y muchas otras variables que dependen de otras áreas de la ciencia e ingeniería, los que conjugados impactan de manera determinante en el éxito de un proyecto.

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 tornan 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.

1.2. 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.

El periodo de observación en terreno se extiende desde el día 01 de abril hasta el 10 de junio del 2015, 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 cimentaciones 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 y losas. 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 2.2.3). Por otra parte, las pérdidas medioambientales que se analizarán son: sub-aprovechamiento de recursos materiales (madera, concreto, 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.

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con la investigación a desarrollar se plantea la siguiente hipótesis:

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.

1.4. RESULTADOS ESPERADOS

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

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivos General

- Adaptar la herramienta de Mapeo de Cadena de Valor para la de detección de pérdidas productivas y medioambientales en la construcción.
- Realizar mejoras en los procesos convencionales de construcción y disminuir el impacto ambiental que generan los desperdicios en el proyecto “Vivienda Multifamiliar Sensara”.

1.5.2. Objetivo Específico

- 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 “Vivienda Multifamiliar Sensara”.
- Optimizar la productividad de las partidas analizadas y su desempeño medioambiental.

1.6. 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.

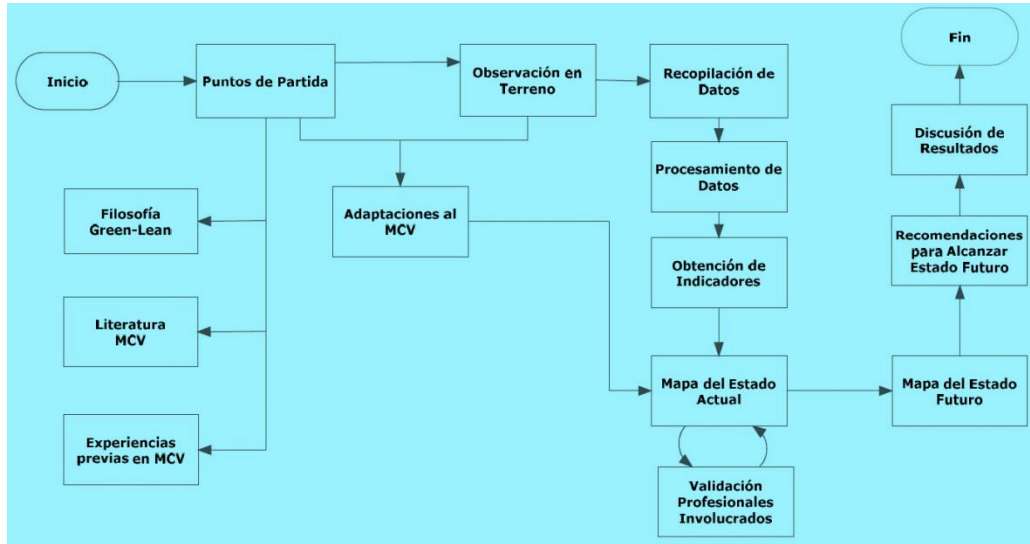


Fig. 1.1. Diagrama metodología

1.7. ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO

La Vivienda Multifamiliar “Sensara” es un proyecto de un edificio de 20 pisos, 3 sótanos y 1 Cuarto de Bombas, el conjunto suma una superficie de 8830 m² construidos. El proyecto está ubicado en la Calle Saco Oliveros 151 – 155, urbanización Santa Beatriz, distrito de Cercado de Lima, provincia y departamento de Lima, entre la cuadra 3 y 4 de la Av. Arequipa; y la inversión alcanza los 14 millones de nuevos soles.

El primer piso forma parte del hall de ingreso y una zona comercial con 370 m², el segundo piso consta de departamentos, sala de reuniones y un ambiente común para parrillas y gimnasio, del piso 3 al 20 cuentan con 4 departamentos por piso.

La empresa Artycrea dueña del proyecto está encargada de la supervisión, mientras que el contratista general corresponde a la empresa Constructora Equus EIRL, que inició las obras de construcción el 01 de diciembre del 2014 y pronostica su término para diciembre del 2015.

Para la etapa de construcción se propuso el uso de herramientas Lean Construction para ofertar un valor agregado al cliente y poder entregar el producto a tiempo.

En la figura 1.2 se muestra la ubicación del proyecto, el lugar exacto se marca en un círculo rojo.

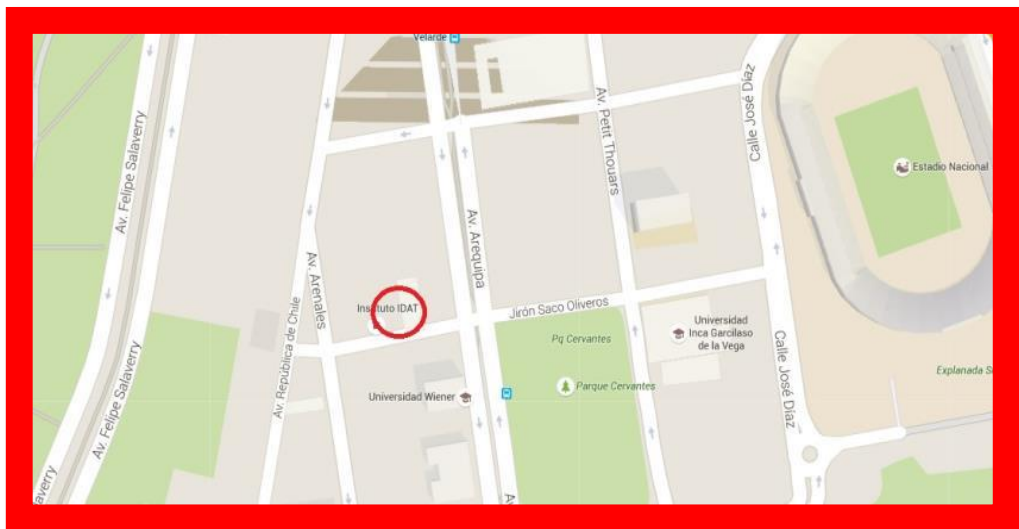


Fig. 1.2. Ubicación del proyecto.

CAPITULO II

PUNTOS DE PARTIDA

2.1. GREEN BUILDING

2.1.1. Sustentabilidad en la Construcción

En los últimos años 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

2.1.2. 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, pre ensamblaje, 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. 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.

2.3. LEAN CONSTRUCTION

2.3.1. 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 los últimos años 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 el Lean Construction Institute (LCI) lo define como un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto - una nueva manera de diseñar y construir edificios e infraestructuras. La gestión de la producción *Lean* ha provocado una revolución en el diseño, suministro y montaje del sector industrial. Aplicado a la gestión integral de proyectos, desde su diseño hasta su entrega, *Lean* cambia la forma en que se realiza el trabajo a través de todo el proceso de entrega.

Lean Construction se extiende desde los objetivos de un sistema de producción ajustada - maximizar el valor y minimizar los desperdicios - hasta las técnicas específicas, y las aplica en un nuevo proceso de entrega y ejecución del proyecto. Como resultado:

- La edificación o infraestructura y su entrega son diseñadas juntas para mostrar y apoyar mejor los propósitos de los clientes.
- El trabajo se estructura en todo el proceso para maximizar el valor y reducir los desperdicios a nivel de ejecución de los proyectos.
- Los esfuerzos para gestionar y mejorar el rendimiento están destinados a mejorar el rendimiento total del proyecto, ya que esto es más importante que la reducción de los costes o el aumento de la velocidad de ninguna actividad aislada.
- El Control se redefine como pasar de “monitorizar los resultados” a “hacer que las cosas sucedan”. Los rendimiento de los sistemas de planificación y control se miden y se mejoran.
- La notificación fiable del trabajo entre especialistas en diseño, suministro y montaje o ejecución asegura que se entregue valor al cliente y se reduzcan los desperdicios. *Lean Construction* es especialmente útil en proyectos complejos, inciertos y de alta velocidad. Se cuestiona la creencia de que siempre debe haber una relación entre el tiempo, el coste y la calidad (mayor calidad y mayor velocidad no tiene porqué implicar mayor coste).

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).

2.3.2. 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).

2.3.3. 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 tradicional se encuentra muy 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 acarrearán. 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.

2.4. MAPEO DE CADENAS DE VALOR

2.4.1. 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.

2.4.2. Mapeo de 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.

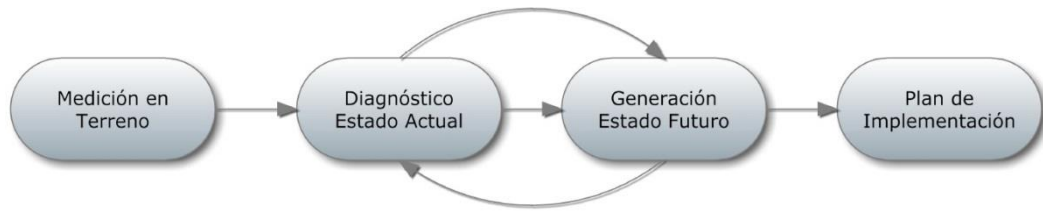


Fig. 2.2. Metodología del MCV (Rother y Shook, 1999).

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 debajo 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.

2.4.3. 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).

2.4.4. Incorporación de dimensiones medioambientales

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 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.

CAPITULO III

PLANEAMIENTO E IMPLEMENTACION DE MCV

3.1. ADAPTACIONES AL MCV

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.

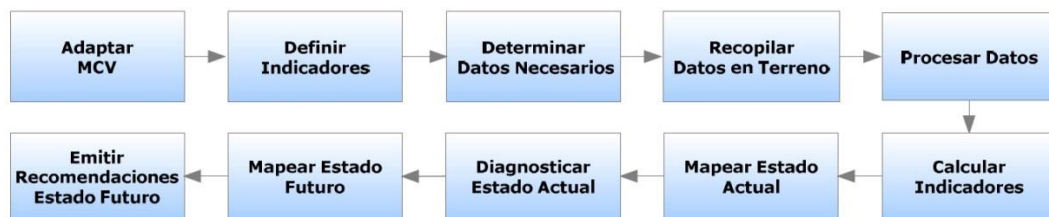


Fig. 3.1. Esquema de trabajo

Para lograr una adecuada implementación del MCV en la construcción es necesario realizar 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 3 familias de productos que corresponden a los elementos constructivos siguientes: columnas, muros y losas. 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 debe 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 acero, concreto y encofrado y el resto como secundarias. Se realiza esta distinción debido a que en las actividades principales es donde se invierte la mayor cantidad de tiempo y recursos, por esto se analizaron con mayor especificidad.

Tabla 3.1. Actividades por elemento.

Elementos	Actividades Principales	Actividades Secundarias
Losa	Encofrado de fondo de losa	Colocación de ladrillo de techo
	Colocación de acero	Colocación de recubrimientos e instalaciones especiales
	Vaciado de concreto	Curado de losa
Muros	Colocación de acero	Colocación de recubrimientos
	Colocación del encofrado	Retiro de encofrado
	Vaciado de concreto	Curado del concreto
Columnas	Colocación de acero	Colocación de recubrimientos
	Colocación del encofrado	Retiro del encofrado
	Vaciado de concreto	Curado del concreto

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 (m²) y en el caso de losas, metros cuadrados de superficie (m²).

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 3.2.

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 3.3.

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 3.4.

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 3.5.

3.2. FORMATO Y SIMBOLOGÍA

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 en conjunto en un grupo de estudios buscando mejoras en aplicaciones sobre Lean Construction. 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.

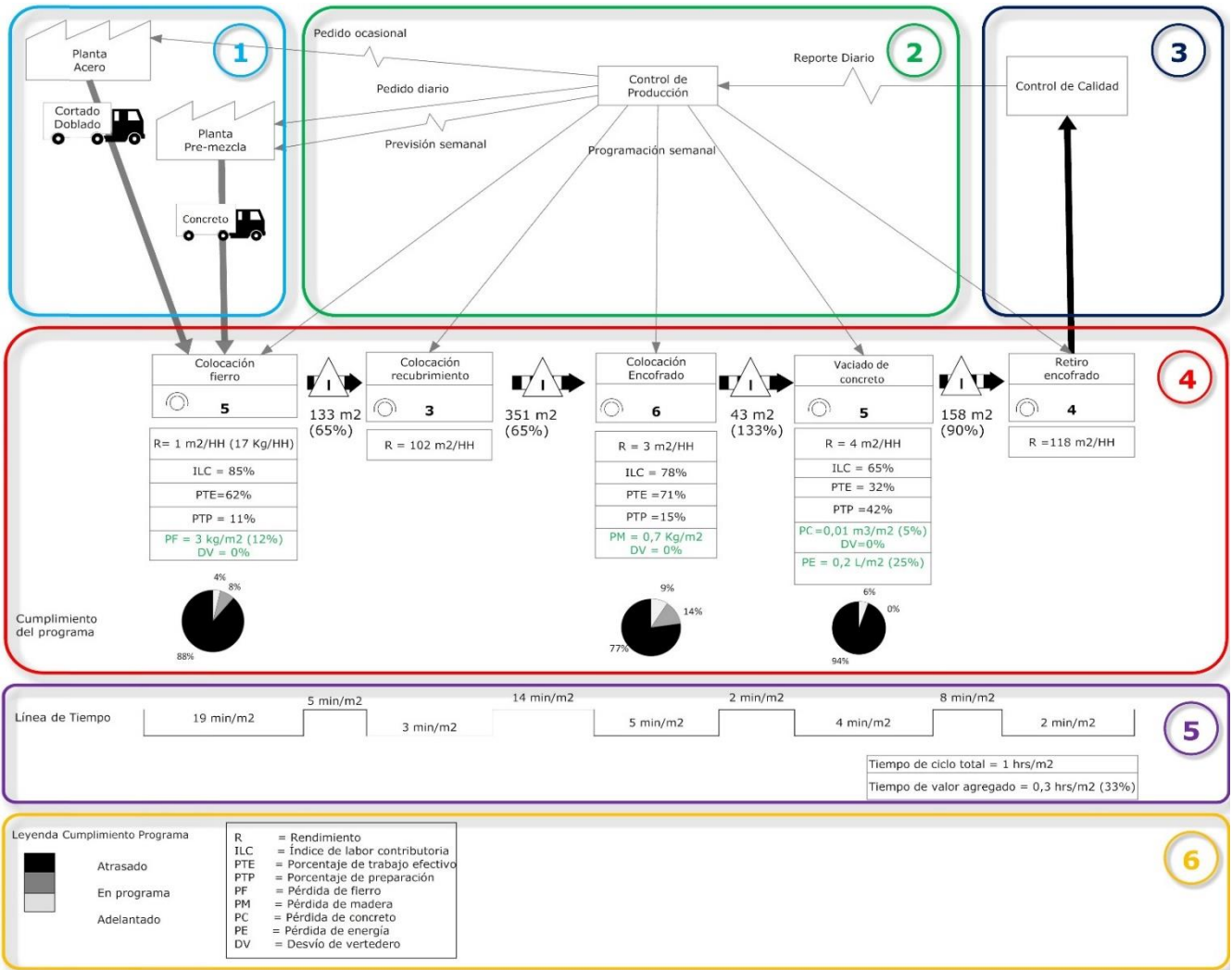



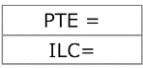



Tabla. 3.2 Simbología de los mapas.

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 de programa	Muestra en blanco el porcentaje de actividades terminando adelantadas respecto al programa, en gris las justo a tiempo y en negro las retrasadas.

3.3. DEFINICIONES DE INDICADORES

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 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 Siguiete	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 mixer destinados a vaciar los elementos.
Tiempo Encendido de la Bomba	TB	h:mm	Tiempo en que la bomba de vaciado es encendido.
Tiempo de Vaciado	TV	h:mm	Tiempo de inicio del vaciado del concreto.

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 contributoria	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 Concreto	PC	$\frac{Kg}{Dim.}$	Cantidad de concreto desperdiciado con respecto al necesario para llenar el elemento. Cuantifica el aprovechamiento de material.
Pérdida de Concreto Porcentual	PC%	%	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 concreto 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.

3.4. Obtención de datos de terreno

Los datos utilizados para la confección del estudio de caso fueron obtenidos en terreno en la obra "Viviendo Multifamiliar Sensara" como parte del staff profesional ejerciendo el trabajo de asistente de producción, comprendidos entre el 01 de abril y el 10 de junio. Dichas mediciones fueron realizadas por el mismo autor del trabajo. Los elementos constructivos observados en las mediciones fueron: Columnas, muros y losas. 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	3P - C14	-
FI	01-abr	dd-mm
FT	01-abr	dd-mm
TI	08:00	h:mm
TT	15:00	h:mm
TM	30	min
TE	0	min
TP	10	min
#O	5	und
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	5.6	ml
ST	1.15	m ²
H	2.22	ml
SC	12.43	m ²
V	2.55	m ³

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

Tabla 3.8. Casilla de datos de inventario.

Indicador	Valor	Unidad
FAS	01-abr	dd:mm
EI	0.90	días

Casilla de labor contributoria: Registra en intervalos de 5 minutos cuando los operarios no realizan trabajo contributorio 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 concreto: Registra la pérdida de concreto en las actividades de vertido de este.

Tabla 3.10. Casilla de pérdida de concreto.

ID	V (m3)	VC (m3)
3P - C14	2.20	7.0
3P - C15	3.53	7.0
3P - C16	1.24	6.0
3P - C11	3.53	-
3P - C5	1.36	-
3P - PL7	7.27	-
Total	19.13	20
Pérdida(m3)	0.86	-

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

Tabla 3.11. Casilla de pérdida energética.

Indicador	Valor	Unidad
TB	15:30	h:mm
TV	04:15	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. Se llevó el avance global de la obra por elemento y actividad realizando una suma ponderada entre el avance en cada sector 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 1 y 12. Para losas corresponde a la planta de losas del nivel 2 al 12.

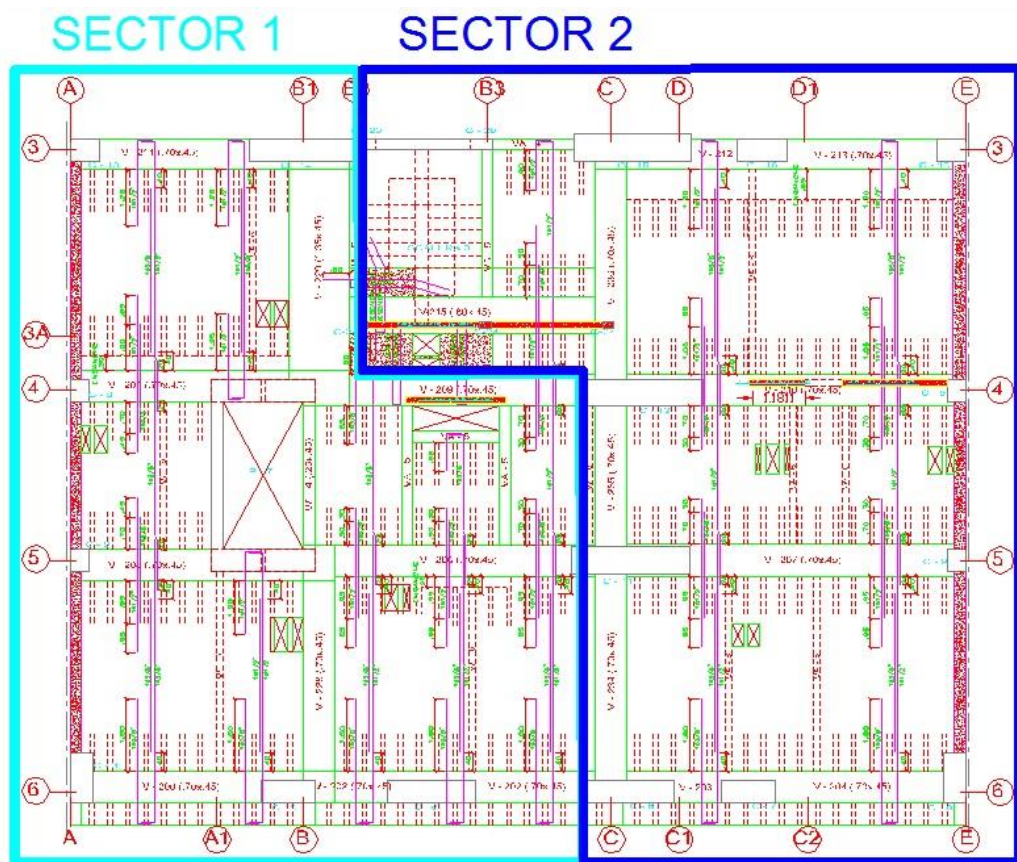


Figura 3.3. División por sectores en el segundo piso

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 desmonte con el fin de estimar la generación total de estos durante el periodo de toma de datos. Presenta en el fragmento de la tabla 3.12 un registro de ejemplo para una zona de acopio.

Tabla 3.12. Registro de residuos para la zona de acopio 1

Material	04-may	05-may	06-may	07-may	08-may
	m3				
Madera	10	0	0	0	0
Tierra/piedras	30	20	20	25	30
Concreto/Mortero	20	10	12	15	20
Plástico	2	0	0	0	5
Fierro	5	0	0	0	2
Papel/Cartón	5	0	0	0	2
Orgánicos	0	0	0	0	0
Ladrillos	5	0	0	0	1
Vidrios	0	0	0	0	0
Total	77	30	32	40	60
Retiro	1	-	-	-	-

Observar que el evento de retiro del desmonte 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 las 3 zonas de acopio 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 una zona de acopio el día 13 de julio.



Fig. 3.4. Registro de residuos

3.5. Procesamiento de datos

3.5.1. Metodología para el Cálculo de Indicadores de productividad

Se calcularon los distintos indicadores para cada elemento monitoreando 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 12:00 hrs. y 13:00 y 18:00 hrs. de los días hábiles.

Ejemplo: Si transcurren 9 horas y media 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:

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

Ejemplo: La colocación de fierro de la columna C14 transcurrió desde las 8:00 horas del día 14 de abril hasta las 18:00 del día 25 del mismo mes. Restando los días no hábiles nos queda entonces una duración de:

$$D= 10 \text{ días (5400 min.)}$$

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:

$$PTE = \left(1 - \frac{10}{55} - \frac{120}{5400} - \frac{6}{10}\right) \times 100 = 19.6\% \cong 20\%$$

Índice de labor Contributoria (ILC): Es un muestreo simplificado del trabajo para el MCV. Se identifican primeramente los operarios que integr4an la cuadrilla a cargo 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 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 casilla de ausencia.

El ILC se calcula con la siguiente fórmula:

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

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 3P A/34 se registró la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Registro de ILC para muro 3P A/34

O	Tiempo (min)													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	-	-
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:

$$ILC = \frac{(4 \times 11 - 2 - 6)}{4 \times 11 - 2} \times 100 = 85.72\% \cong 86\%$$

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 una 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	382.06
Muros	115.87
Losas	189.01

Observaciones:

- Las losas fueron construidas con un sistema de losa con viguetas pretensadas, se ha considerado en la estimación el peso del acero incluido en las viguetas.

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.

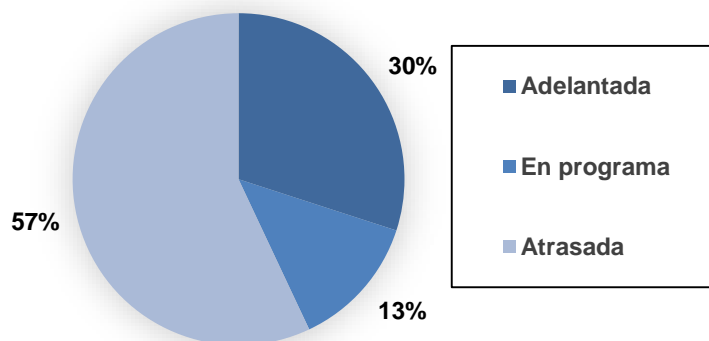


Fig. 3.5. CP para colocación de fierros en columnas.

3.5.2. 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 Hierro (PF): La pérdida de hierro 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 hierro depositado en las zonas de acopio 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 hierro dividido en los kilogramos totales de hierro colocados durante el periodo de medición. Conjuntamente, se presenta un PF para cada elemento constructivo que corresponde a los kilogramos de pérdida de hierro 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 hierro a través del volumen de los distintos elementos.

Pérdida de Concreto (PC): Se debe cubicar el elemento a vaciar y contrastar dicha cubicación con el registro de cubos de concreto destinados al elemento. Luego se calcula el indicador de PC porcentualmente respecto al total de metros cúbicos del elemento. Se muestra en la tabla 3.15 un registro para el vaciado de la losa N4 A1-12.

Tabla 3.15. Pérdida de concreto en losa N4 A1-12

ID	Volumen Cubicado (m3)	Mixer (m3)	Mixer (m3)
N4 A1-12	57.07	7.5	7.0
	-	7.5	7.0
	-	7.5	-
	-	7.5	-
	-	7.5	-
	-	7.5	-
Suma	57.07	59.0	
Pérdida (m3)	1.93		

Luego:

$$PH = \frac{1.93}{57.07} \times 100 = 3.4\%$$

Pérdida de Madera (PM): La pérdida de madera producto de las actividades de encofrado se estimó de manera similar a PF, al haber sido obtenida a partir de un total de metros cúbicos desechados como residuo en las zonas de acopio en obra. Sin embargo, la distribución de la pérdida no se realizó de manera uniforme entre los elementos constructivos. A los muros se le atribuyó una pérdida correspondiente al encofrado transversal (aquel cubriendo el espesor de muro), a losas una correspondiente a su superficie de contorno.

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 y losas se determinó una cuantía de metros cuadrados de madera utilizada por metros cuadrados de elemento. En cambio, para columnas y vigas, la cuantía CM se calculó en metros cúbicos de madera por metros cúbicos de vaciado.

Pérdida Energética (PE): Se cuantifica la pérdida energética de la bomba de concreto a través del registro de tiempo en que esta se encuentra encendida pero sin bombear concreto. Se registran los parámetros TB y TV. 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 fórmula siguiente:

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

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 concreto

Consumo	SP750	SP2000	UN.
Ralentí	3.20	6.1	GPH
Full Cap.	6.74	11.6	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 vaciado con la bomba SP750:

$$(Ec. 7) \quad PE = \frac{TPE \times 3.2}{(TPE \times 3.2 + (DT - TPE) \times 6.74)} \times 100$$

Ejemplo: El vaciado de concreto en un muro de 30 m² demoró un DT de 120 minutos. Se encendió la bomba a las 15:45 hrs y se comenzó a vaciar a las 16:00 hrs. Se registró además un TE de 5 minutos durante un TM de 30 minutos (debido a la demora del siguiente mixer), luego el TET será:

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

El TPE será:

$$TPE = (16:00 - 15:45) + 15 = 30 \text{ min.}$$

La pérdida energética unitaria PE será:

$$PE = \frac{30 \times 3.2}{30} \times \left(\frac{3.7854}{(60)} \right) = \frac{0.2L}{m^2}$$

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:

$$PE = \frac{30 \times 3.2}{(30 \times 3.2 + (120 - 30) \times 6.74)} \times 100 = 13.66\% \cong 14\%$$

Se debe comentar además, que el vaciado de concreto por bomba no fue el único método empleado en terreno, se usó conjuntamente el vaciado con grúa y capacho. No se hicieron indagaciones sobre la pérdida energética de la grúa y por tanto los elementos vaciados a través de este método se contabilizaron como pérdida energética cero. En el caso de columnas y muros, algunas de ellas fueron vaciadas a través de dicho método debido a un tema de sectorización y volumen, el cual fue constante durante la construcción del edificio. En vista de esto, se decidió no cuantificar la pérdida energética de las columnas en su totalidad y solo considerar los tipos de columnas que fueron vaciados con bomba constantemente. El caso de losas y vigas es opuesto, todos los elementos fueron vaciados por bomba.

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 limpieza. 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.

3.5.3. 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 3.5.1. 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.

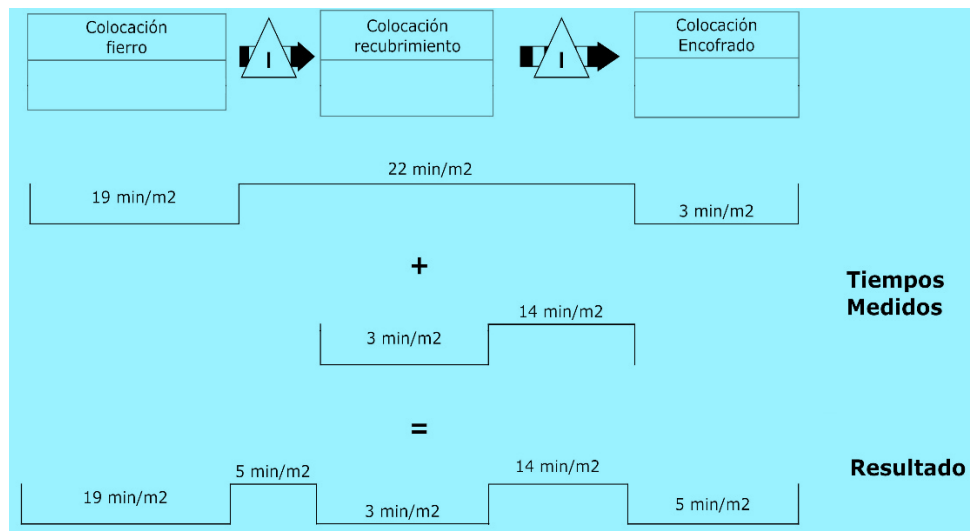


Fig.3.6. Cálculo de esperas en inventario para actividades secundarias.

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 ponderado por el tiempo de inventario.

Se presenta a continuación un ejemplo de 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 muestra en la tabla 3.17.

Tabla 3.17. Inventarios para columnas.

Fecha	13-abr	20-abr	27-abr	04-may	11-may	18-may	25-may	01-jun	08-jun	15-jun	22-jun	29-jun	06-jul	13-jul	20-jul
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	10.8	13.1	15.4	12.4	11.6	7.6	10.2	14.5	17.3	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 1 y 12 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 1 y 12 es de 480 m.

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

$$I = \frac{12}{100} \times 480 = 57.6 \text{ mL.}$$

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 57.6 ml, los cuales se repartieron entre colocación de fierro y recubrimientos ponderando por el EI respectivo. El 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 24 min/mL y la colocación de recubrimientos un EI de 18.6 min/mL, al distribuir el inventario total se estimaron 9.35 mL para fierro y 7.65 mL para recubrimiento, ponderando por el EI respectivo a cada actividad.

3.6. El estado actual de la Cadena de Valor

3.6.1. Generalidades

Se presentan en la siguiente sección, los mapas del estado actual de las cadenas de valor de los distintos elementos constructivos seleccionados, incluyendo un informe 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. Dichos síntomas acusan enfermedades mayores, relacionadas a la filosofía y visión de la producción.

3.6.2. Mapas de estado actual

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

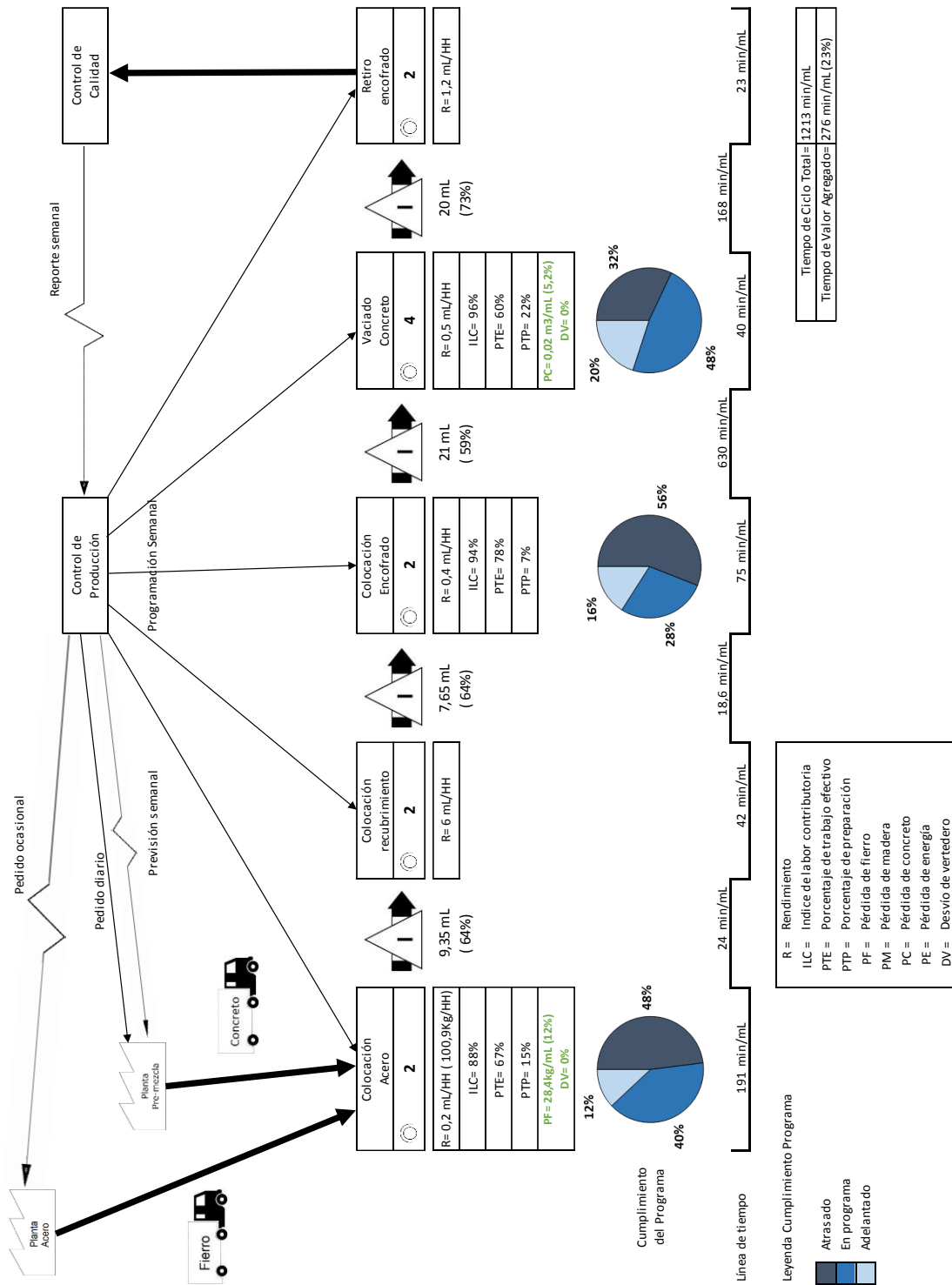


Fig. 3.7. Mapa del estado actual de la cadena de valor de columnas.

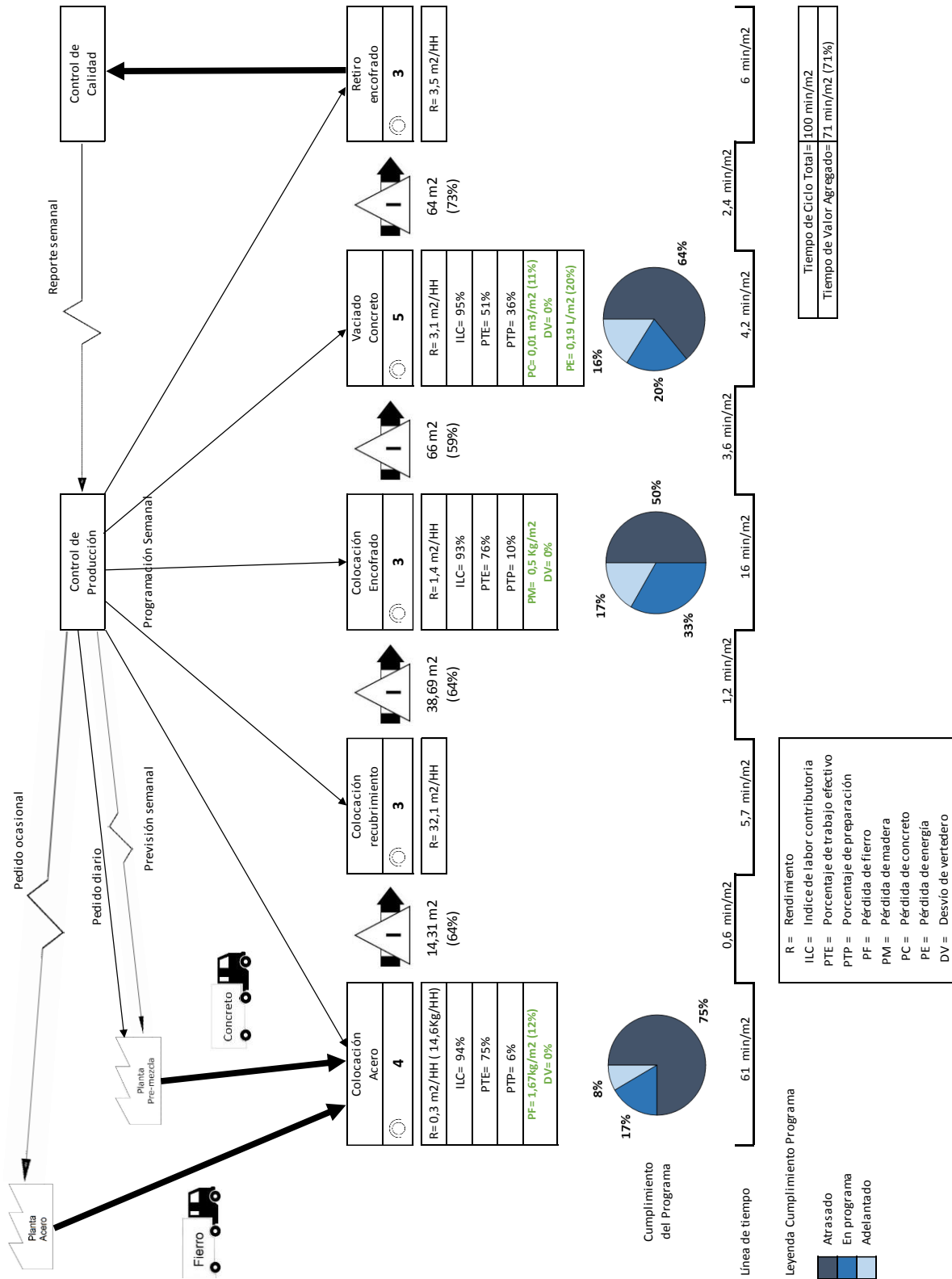


Fig. 3.8. Mapa del estado actual de la cadena de valor de muros.

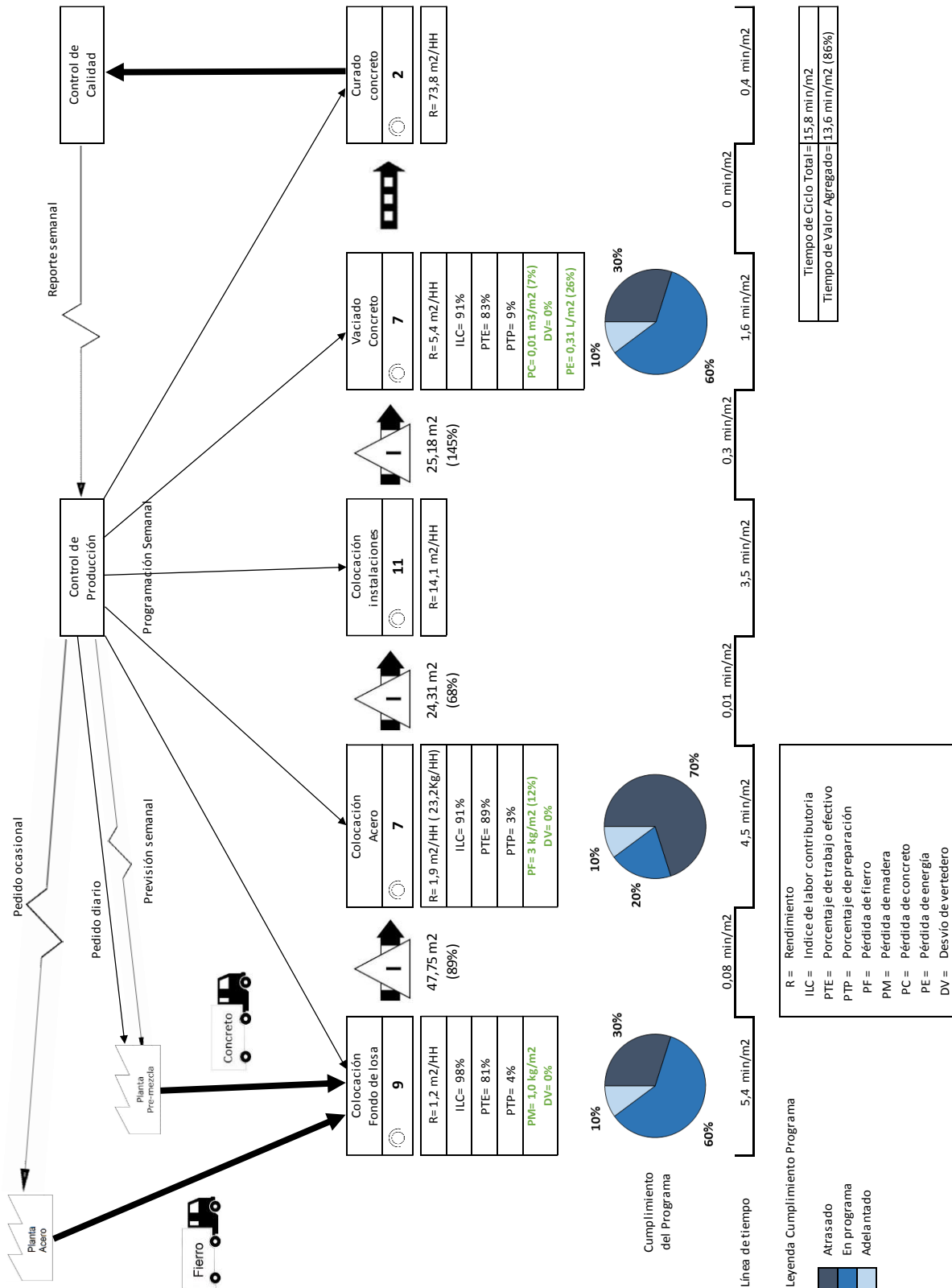


Fig. 3.9. Mapa del estado actual de la cadena de valor de losas

3.6.3. Diagnóstico

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 acero en columnas es 191 min/m² (ver fig. 3.7) su valor máximo es 428 min/m² y el mínimo 90 min/m². 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, hay eventos donde 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 quedar en espera por varios días 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; además parte de la producción como los vaciados de concreto no se consideraron debido a que se realizó usando Grúa Torre, esto distorsiona los indicadores de producción general. 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 51% 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 3.10 muestra una comparación del PTE para colocación de acero entre elementos.

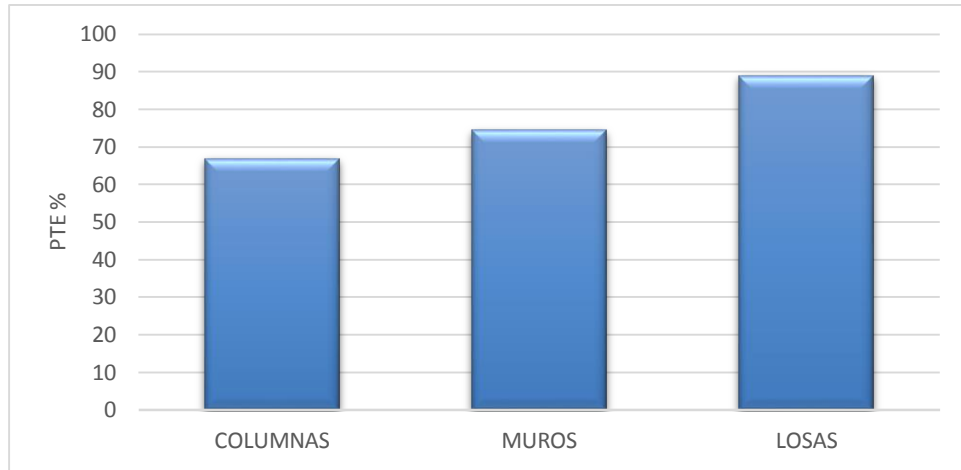


Fig. 3.10. Comparación PTE entre elementos.

Gestión de las cuadrillas: La observación evidencia que la gestión de cuadrillas es bastante buena, esto es respaldado por el índice de labor contributoria. Por ejemplo la colocación de acero en columnas (ver fig. 3.7) tiene un ILC de 88% y el vertido de hormigón sólo un 96%. Una 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 3.11 muestra la comparación de ILC entre columnas, muros y losas para las actividades de colocación de acero, encofrados y vertido del hormigón.

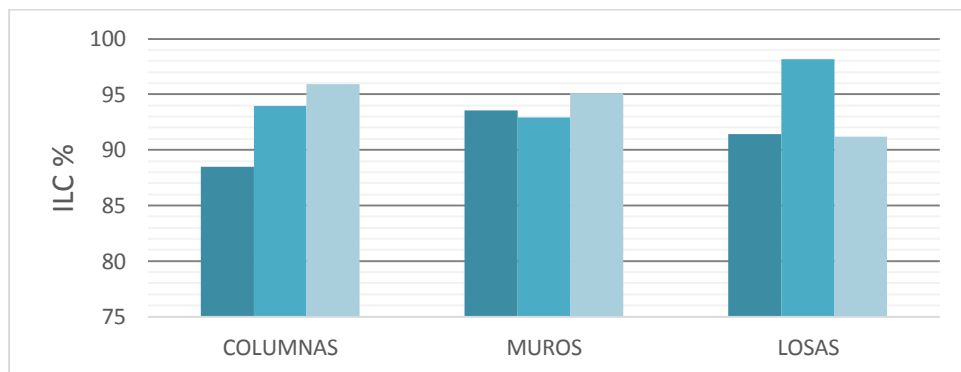


Fig. 3.11. ILC de columnas, muros y losas.

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 colocación del encofrado en los muros (ver fig. 3.8) admite un inventario promedio de 66 m². Dicho inventario al encontrarse en el mismo sitio de trabajo, es muy susceptible a daños y desplome debido a la alta actividad dentro del área de trabajo. 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. Por ejemplo en la cadena de valor de muros (fig. 3.8) se constata que la colocación de acero termina un 75% de las veces atrasada, la colocación de encofrados un 50% de las veces y el vertido de concreto un 64%. 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.

Una de las principales causas de no cumplimiento registradas es el atraso de las actividades predecesora (en la figura 3.15 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. Columnas exhibe un PVA de 23%, en cambio losas un 86% (la figura 3.12 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, 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.

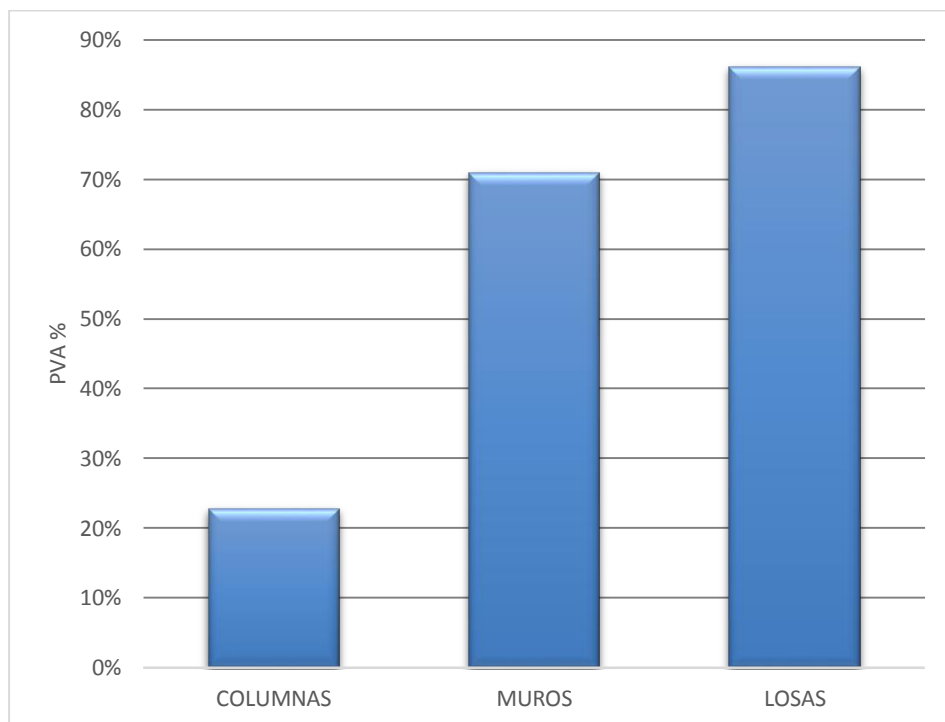


Fig. 3.12. Comparación PVA entre elementos.

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, la falta de material equivale a un 36% sobre las CNC.

Se realizó la compra del fierro al proveedor de acuerdo a la planificación, se buscaba tener abastecimiento para un piso extra, pero no se tenía 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 del proveedor de fierro traen cantidades de paquetes de acero etiquetados según el diámetro al que corresponden. Se evidenció en terreno que se privilegia minimizar la utilización de la grúa en asuntos de descarga y traslado del acero entregado, por sobre el orden y la recepción adecuada de este.

Muchas veces los paquetes de fierro se apilaron en un banco de fierro junto con el taller de fierros, el cual era una ubicación alejada detrás de la edificación, conforme aumentaba la altura de la edificación, más era la demora de su traslado, y luego llevado a la ubicación de su respectivo elemento constructivo.

Esto se traduce en manipulación innecesaria para llevar al fierro a su lugar correcto, extravío de paquetes y colocación de paquetes en otros elementos. Luego del cortado y doblado del acero, se observan despuntes y desperdicios en el sitio, además de pilas de piezas como estribos y trabas descartadas en las áreas de acopio 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 concreto: La situación del suministro de concreto es similar a la del fierro. Se efectúa un pedido semanal de concreto 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 mixers, esta situación ocasiona grandes demoras en el vaciado del concreto. EL ILC para el vaciado de concreto muestra para muros es de un 95%, para losas de 91% y para columnas de 96%, esto es debido a que se tomó medidas al inicio de la obra, solicitando el concreto antes de la hora de inicio planificada. En la mayoría de los casos, siempre se dejaba un frente de trabajo listo para vaciar mientras que se finalizaban los últimos detalles de los siguientes frentes.

Los pedidos diarios de concreto 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 vaciado de concreto y sobredimensionamiento al materializar los elementos. 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 concreto varía con cada elemento pero varía entre 5% y 11%. La figura 3.13 muestra una comparación de pérdida de hormigón entre elementos. Notar que en el caso de muros la pérdida es mayor. Esto se explica debido a que el volumen en muros es mucho menor y por tanto típicas pérdidas como los residuos de hormigón dentro del camión alcanzan un mayor peso porcentualmente.

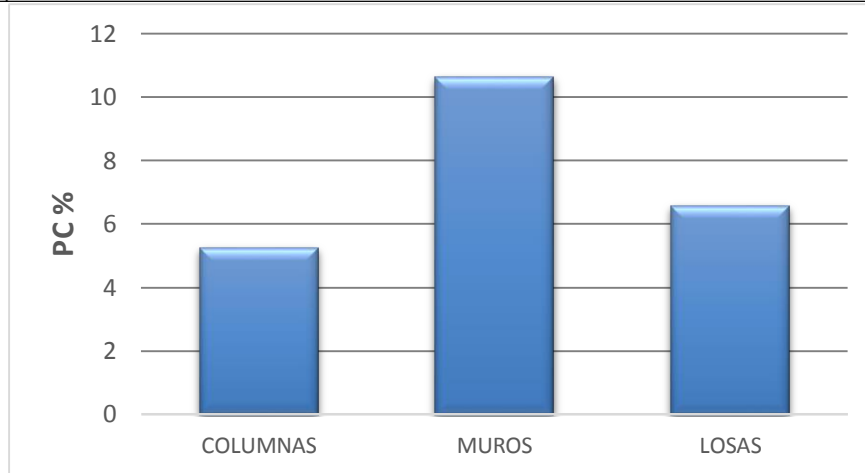


Fig. 3.13. Comparación de la pérdida de concreto entre elementos.

Planificación y control: Dentro de la gestión de la empresa se ha utilizado varias herramientas 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, 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, 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 la empresa a lo largo de la construcción en las figuras 3.14 y 3.15. 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.

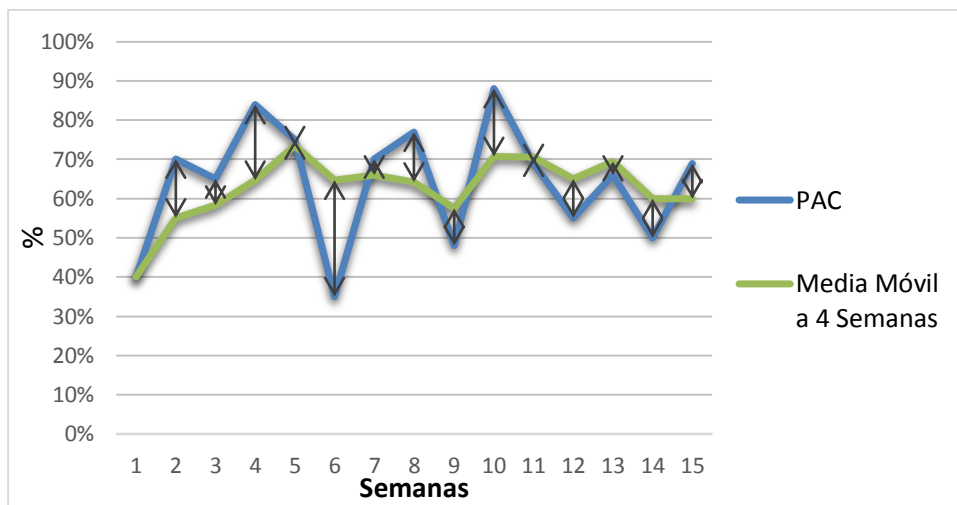


Fig. 3.14. PAC semanal.

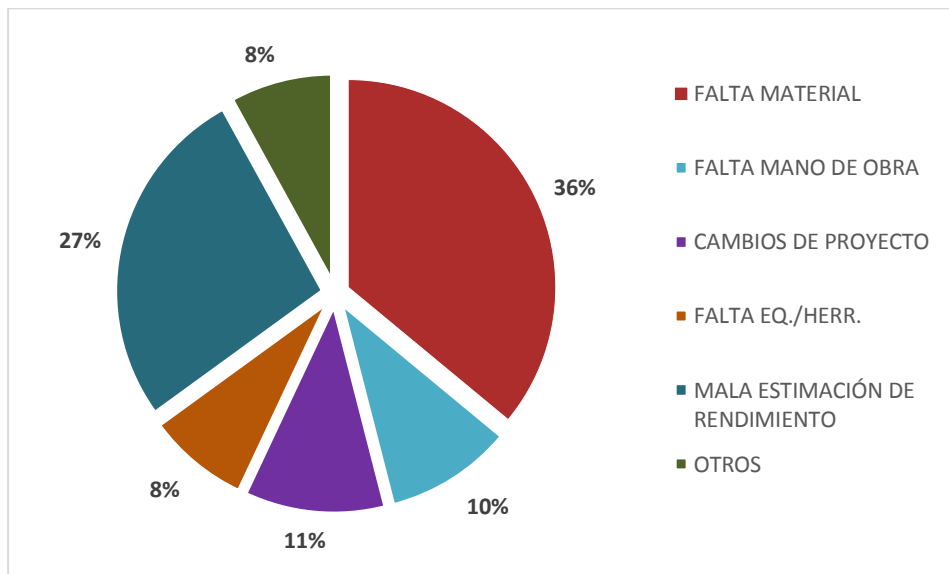


Fig. 3.15. CNC.

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 la empresa contratista.

3.6.4. 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 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 acero 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 14 a 23 Kg/HH. En muros se está obteniendo 14.6 Kg/HH y en losas 23.1 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, 0.6 min/m² para muros y 24 min/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 el 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 se saben que no habrá encofrados disponibles en un corto plazo se ordenó armar los elementos, 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 losas, donde la colocación de fierro exhibe un PTE de 89%. 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 re direccionadas 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 el concreto esta se genera debido a cubicaciones poco precisas y mala coordinación con los pedidos de mixers para el vaciado de otros elementos del mismo día, asciende a un 5.2% en columnas y 11% en muros, la gran pérdida en muros se explica debido a que los volúmenes de concreto frecuentemente descartados tienen un peso mucho mayor sobre los pequeños volúmenes necesarios para llenar tramos de muro pero nadie da cuenta de esto. La figura 3.13 muestra una comparación de la pérdida de hormigón entre elementos. La pérdida energética en muros es bastante grande en aquellos evento de vaciado a través de la bomba de concreto (26%), debido a las malas prácticas en la operación de esta, los indicadores acusan que gran parte del tiempo se encuentra encendida pero sin vaciar y por tanto consumiendo energía innecesariamente.

3.6.5. 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 (86%) 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 300 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.

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 la colocación de acero termina atrasado un 70% 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 de la colocación de acero en 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 comience con mucha anticipación y luego sea abandonado.

También existe alguna descoordinación entre los proveedores 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 proveedor de viguetas pretensadas de losas que no es capaz de descargar lo requerido en el tiempo requerido debido a que no se han retirado los elementos de encofrado, acero y otros.

La línea de producción genera pérdidas de material con potencial de reducción. En concreto (7%) esta se genera debido a cubicaciones poco precisas y mala coordinación con los pedidos de mixers para el vaciado de otros elementos del mismo día. La pérdida de madera (1.0 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 (26%) 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 vaciar y por tanto consumiendo energía innecesariamente.

3.7. EL ESTADO FUTURO DE LA CADENA DE VALOR

3.7.1. 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, que apoyaron en mi formación 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.

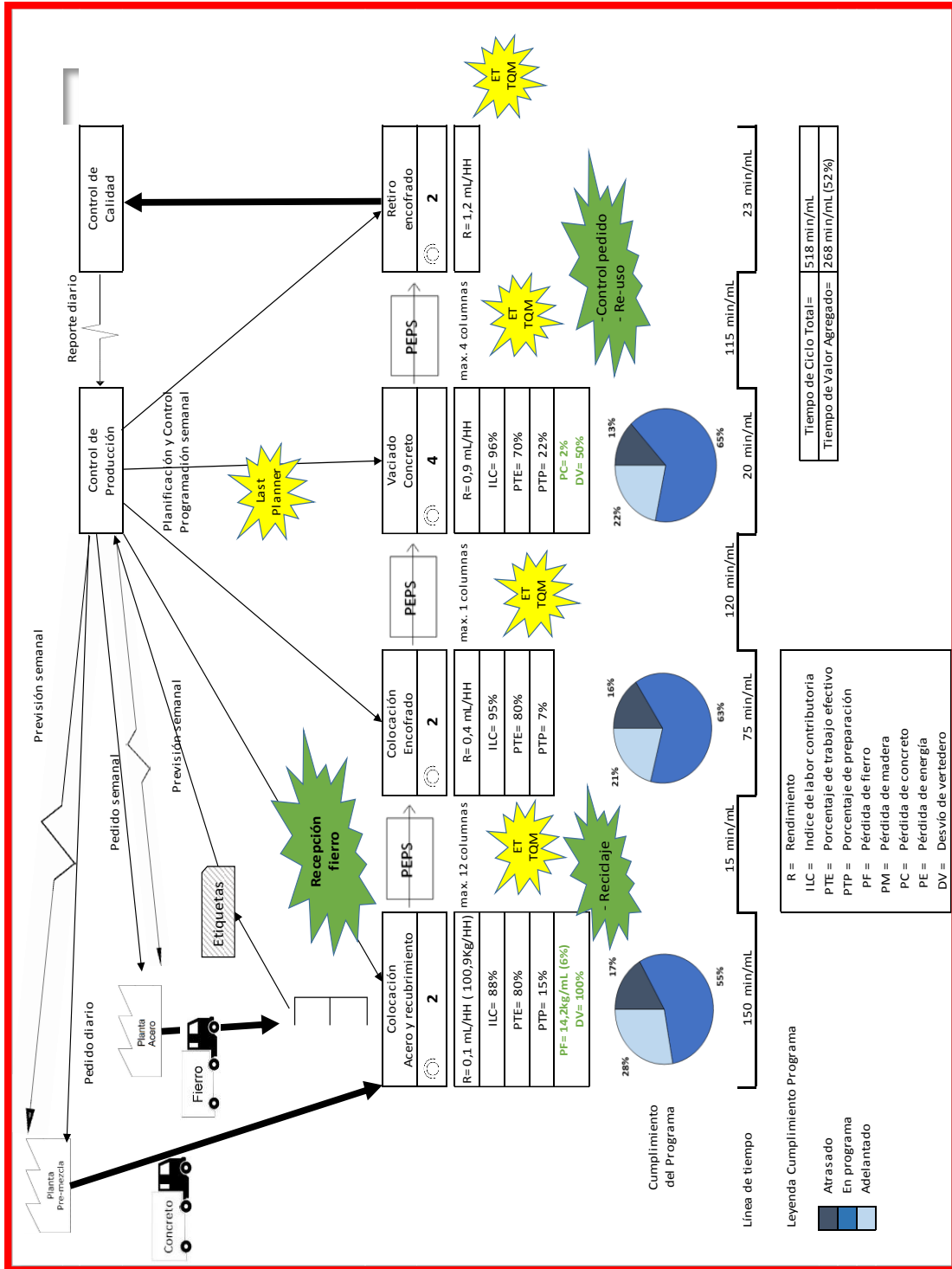
Dicha metodología de implementación se debe materializar a través de objetivos y metas claras de corto plazo que el control de producción debe ir definiendo a medida que sus recursos disponibles y tratos con proveedores le vayan permitiendo.

Es recomendable ir estableciendo periódicamente nuevos diagnósticos del estado actual con el fin de vislumbrar el correcto avance hacia el estado futuro.

3.7.2. Mapas del Estado Futuro de la cadena de valor

Los mapas del estado futuro se presentan en las figuras 3.16 al 3.18. Los valores modificados con respecto a los estados actuales se muestran con caracteres en negrita.

Fig. 3.16. Mapa del estado futuro de la cadena de valor de columnas.



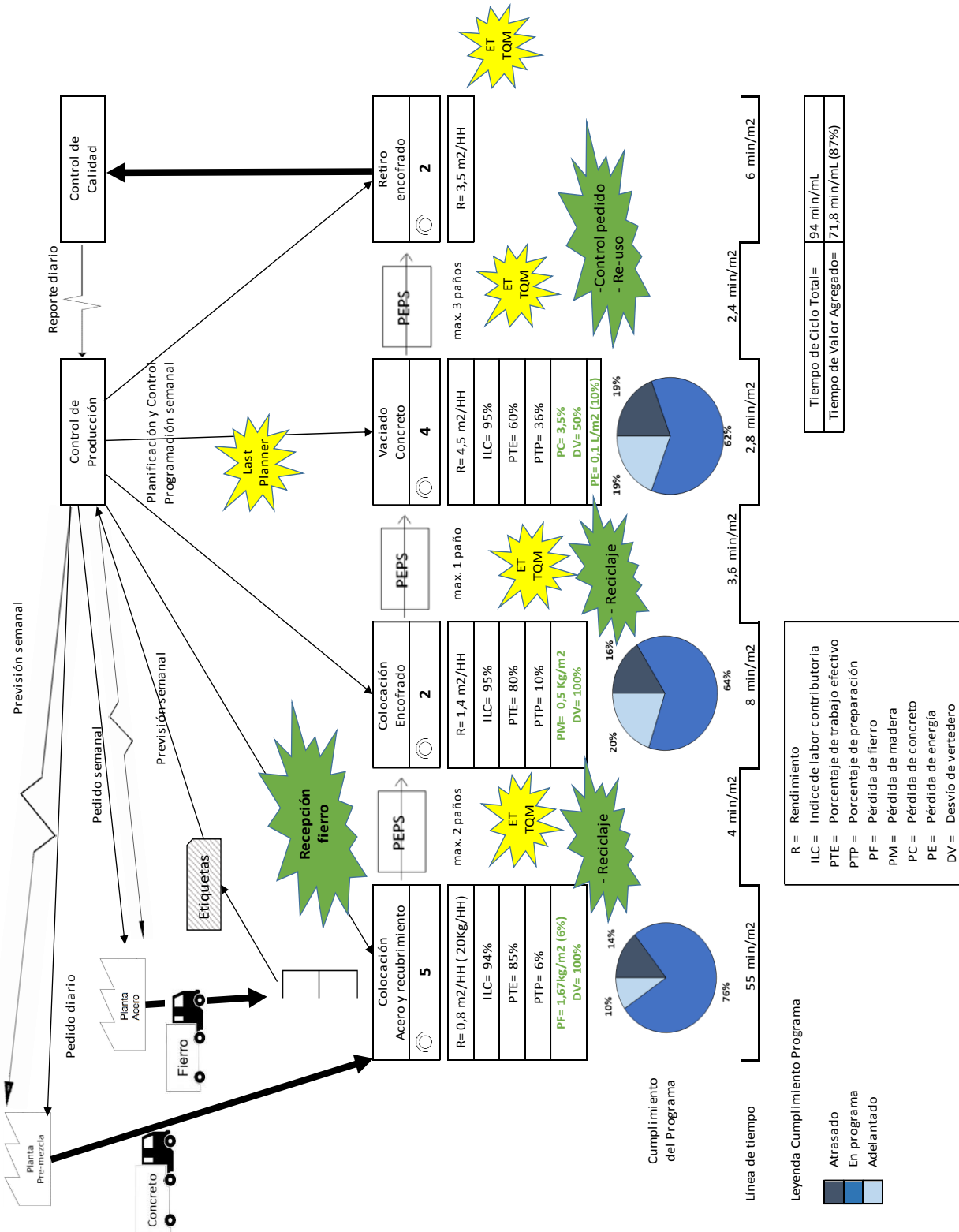


Fig. 3.17. Mapa del estado futuro de la cadena de valor de muros.

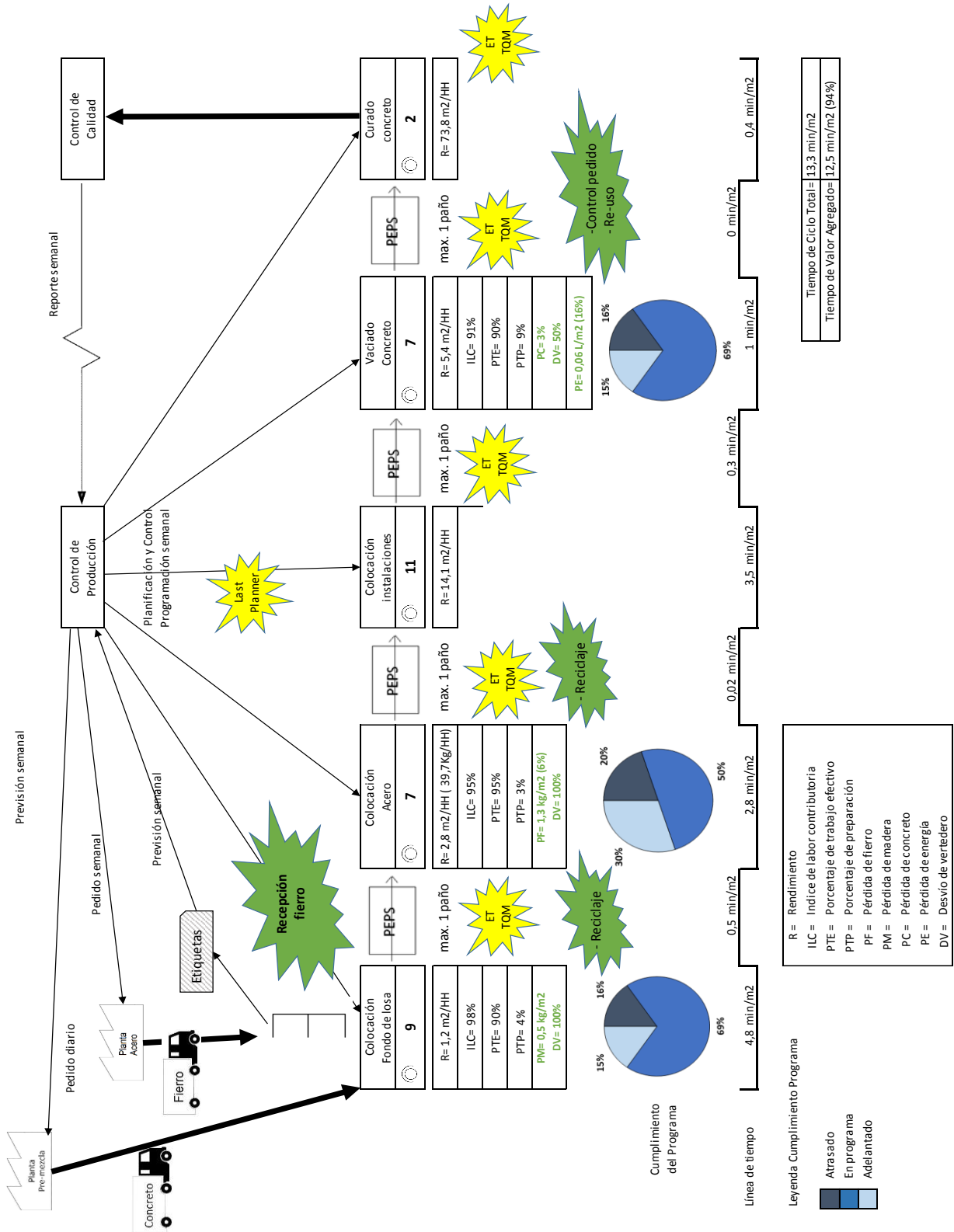


Fig. 3.18. Mapa del estado futuro de la cadena de valor de losas.

3.7.3. Mejoramiento general

- 1. Previsión mensual de acero:** 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 semana. 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. Supermercado de recepción de acero:** Los paquetes de fierro deben ser apropiadamente recepcionados a través 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.

- 3. Previsión semanal de concreto:** 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.

- 4. Pedido de concreto diario:** Se debe realizar el pedido diario de concreto de acuerdo a la cubicación detallada de los elementos a vaciar y al orden planificado. Los esfuerzos invertidos en el establecimiento de un pedido de concreto inteligente presentan un gran potencial para ahorros económicos y minimización de la pérdida del concreto.

El registro del arribo de mixers, su contenido cúbico, tipo de concreto y los elementos a vaciar con dicho contenido debe realizarse con el mayor detalle y orden. Conjuntamente se debe exigir a la planta de concreto una mayor confianza en los horarios de llegada de mixers, ya que de esto depende fundamentalmente las demoras en la actividad de vaciado de concreto.

5. 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.

6. Total Quality Management: Se debe exigir a los responsables de cada área, el chequeo inmediato de los trabajos completados por sus cuadrillas para constatar el cumplimiento de los estándares de calidad de trabajo.

7. 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 flujos a vaciar. 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 cada área. Los responsables de cada área 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 concreto.

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.

- 8. 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 encargados de cada área. 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 encargados 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.

9. 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 prerequisites de las actividades predecesoras. El ITE permite organizar y priorizar la planificación de las actividades ejecutables.

10. 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 es 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 y/o pagando al peso (como el caso del fierro), 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 3.19.

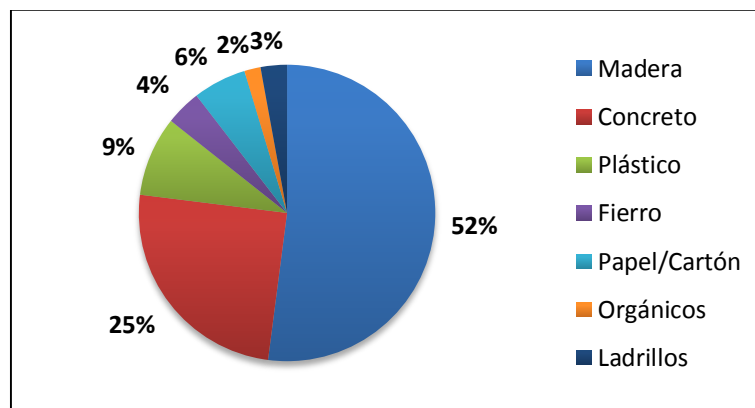


Fig. 3.19. Distribución de residuos de construcción por volumen.

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 12% 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 concreto 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 concreto 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 concreto como relleno o árido para drenajes dentro de la obra. Así, se considera que desviar un 50% del residuo correspondiente a concreto 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 25%. 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 concreto, necesita estar chipiada, o bien pagar un costo por su traslado a los puntos de reciclaje. En el caso de que la empresa 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 77% de desvió total de los residuos.

Al incluir la tierra y piedras que fueron trasladadas a vertedero durante el periodo de medición, el ahorro total ascendería a un 90%, sin mencionar el beneficio medioambiental.

3.7.4. Columnas y Muros

Los mapas de estados futuros para columnas y muros se presentan en las figuras 3.16 y 3.17 respectivamente. Se han establecido valores objetivos para los indicadores en los MCV dentro de los 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 días 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 encargado del área 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 cumplimientos 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 encargados del área por la utilización ordenada de los paquetes de fierro, evitando el despunte innecesario de material. La pérdida remanente deberá de ser reciclada en su totalidad.

2. Colocación de encofrado: Se establece como objetivo el aumento del ILC a un 95% 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 encargado del área de 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 vaciado, 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. En el caso de muros se requerirá de un leve aumento en el PTE a 80%, 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. Vaciado de concreto: Se establece la meta de un aumento del PTE a un 70% en el caso de columnas y a 60% en el caso de muro, 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 concreto premezclado sea capaz de cumplir con los horarios de llegada para los mixers 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 mixers de concreto podían presentar horas de demora, en las cuales la cuadrilla de vaciado 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 concreto disminuya debido al mejoramiento en los pedidos de concreto. Esto se debe complementar con el incentivo de los capataces hacia las cuadrilla de cuidar el material durante el vaciado de este. El capacho debe ser utilizado con mayor cuidado y no se debe vaciar sin un buzón para evitar los derrames.

3.7.5. Losas

El mapa de estado futuro para losas se presenta en la figura 3.18.

- 1. Colocación del fondo de losa:** El encargado del área deberá trabajar el fondeo de manera ordenada de acuerdo al paño de concreto que será vaciado y evitar dejar pequeños detalles pendientes. Minimizar los traslados de materiales, acopiándolos en lugares estratégicos. Se pretende aumentar a un 90% el PTE con el fin de disminuir la variabilidad y duración total de la actividad. Para esto se deben asignar cuadrillas específicamente dedicadas al fondeo 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.

La pérdida de madera en losas se asocia principalmente al encofrado de frisos de la losa y vigas. 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 tuberías e instalaciones en vez de parches y piezas pequeñas improvisadas. La pérdida remanente deberá ser reciclada.

2. Colocación de fierro: Se pretende aumentar también el ILC y PTE a un 95%. 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 lo indicado en planos y evitar cortar el material. La pérdida remanente se debe reciclar.

3. Vaciado de concreto: Se pretende aumentar el PTE a un 90%. 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 mixers de concreto. 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 concreto a través de mejorar los pedidos de concreto con cubicaciones de mayor precisión y considerando todos los elementos a vaciar durante el día. La pérdida energética se reducirá minimizando el tiempo de encendido innecesario de la bomba.

4. 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.

CONCLUSIONES

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, 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 60%. 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 86% y otros muy deficientes, como en columnas, donde se logra sólo un 23%. 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 (7%) y combustible (23%), 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 77% 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.

CONTRIBUCIONES AL CONOCIMIENTO

La principal contribución de la presente investigación es el proveer un análisis de sustentabilidad enfocado netamente en el periodo de construcción del proyecto y cuyas dimensiones de estudio comprenden tanto la productividad 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 de los 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 concreto que fue medida al contrastar el volumen de diseño de los elementos con el transportado por los mixers de concreto, 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 vaciado 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.

RELEVANCIA PRÁCTICA

El MCV con dimensiones productivas y medioambientales permitirá a los administrados 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.

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 hospitales, colegios o centro comercial, 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.

RECOMENDACIONES

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.

BIBLIOGRAFIA

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- Rother, M. y Shook, J. (1999), *Learning to see: Value stream mapping to create value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute, Brookline, MA, USA.

- Shingo, S. (1988), *Non-Stock Production: The Shingo System of Continuous Improvement (Most Detailed Examination of the Fundamentals of JIT)*. Productivity Press. Cambridge, USA.

- 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.

- Pons Achell, Juan. (2014), Introducción a Lean Construction. 1era Edición. Madrid – España.

- Ghio Castillo, Virgilio. (2001), Productividad en Obras de Construcción, Fondo editorial PUCP, Lima – Perú.

- Cement Sustainability Initiative. (2009), Reciclando concreto. Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible, Washington, D.C. USA.

ANEXOS

4.1. Anexo A: Datos Recopilados en Terreno

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

- Columnas: Colocación de acero

Tabla A.1. Datos colocación de acero en columnas.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	H	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m	min	min
1	2P-C13A	0,5	2	2	30	2,2	10	60
2	2P-C9A1	0,4	2	2	30	2,2	5	55
3	2P-C9A2	0,4	2	2	30	2,2	5	55
4	3P-C3A	0,5	2	2	30	2,2	15	80
5	3P-C14	0,8	2	3	40	2,2	5	60
6	3P-C5	0,6	2	2	30	2,2	0	20
7	4P-PL1	1,5	4	4	100	2,4	20	120
8	4P-C6B	0,6	2	2	40	2,2	0	30
9	4P-C15	1,2	2	4	40	2,4	5	50
10	5P-C12	1,9	2	4	70	2,4	10	90
11	5P-C11	1,9	2	4	70	2,4	10	90
12	5P-C6C	0,6	2	2	30	2,4	5	30
13	6P-C7	0,5	2	2	40	2,4	0	30
14	6P-C16	0,4	2	2	30	2,4	5	30
15	7P-C13E	0,5	2	3	30	2,4	5	60
16	7P-C9E1	0,4	2	3	30	2,4	5	55
17	7P-C9E2	0,4	2	3	30	2,4	5	55
18	7P-C8E	0,5	2	3	30	2,4	5	80
19	7P-C13A	0,5	2	2	50	2,2	15	60
20	8P-C9A1	0,4	2	2	50	2,2	15	55
21	8P-C9A2	0,4	2	2	50	2,2	15	55
22	8P-C3A	0,5	2	2	50	2,2	20	80
23	8P-C14	0,8	2	3	40	2,2	30	60
24	8P-C5	0,6	2	2	30	2,2	10	20
25	8P-PL1	1,5	2	4	115	2,4	20	120
Promedio		0,73	2,08	2,64	44,6	2,3	9,6	60
Max		1,9	4	4	115	2,4	30	120
Min		0,4	2	2	30	2,2	0	20

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

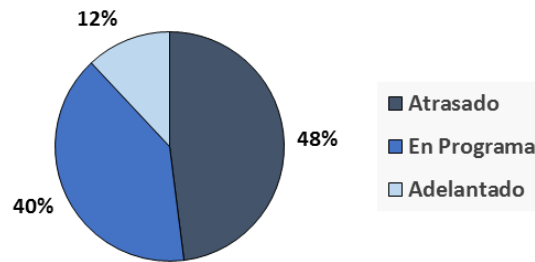


Fig. A.1.CP para colocación de acero en columnas.

- Columnas: Colocación de encofrado

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

Muestra	ID	D	O	TI	TM	H	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m	min	min
1	2P-C13A	0,4	2	0	30	2,2	5	10
2	2P-C9A1	0,4	2	0	30	2,2	5	10
3	2P-C9A2	0,4	2	0	30	2,2	5	10
4	3P-C3A	0,4	2	0	30	2,2	5	10
5	3P-C14	0,2	3	0	45	2,2	10	20
6	3P-C5	0,2	2	0	20	2,2	0	5
7	4P-PL1	0,5	4	0	90	2,4	15	30
8	4P-C6B	0,2	2	2	25	2,2	5	5
9	4P-C15	0,2	3	0	45	2,4	5	10
10	5P-C12	0,2	3	0	60	2,4	10	15
11	5P-C11	0,2	3	1	60	2,4	10	15
12	5P-C6C	0,2	2	1	20	2,4	5	5
13	6P-C7	0,2	2	2	20	2,4	0	5
14	6P-C16	0,2	2	2	30	2,4	5	10
15	7P-C13E	0,4	2	1	30	2,4	5	10
16	7P-C9E1	0,4	2	1	30	2,4	5	10
17	7P-C9E2	0,4	2	0	30	2,4	5	10
18	7P-C8E	0,4	2	0	30	2,4	5	10
19	7P-C13A	0,4	2	0	30	2,2	5	10
20	8P-C9A1	0,4	2	0	30	2,2	5	10
21	8P-C9A2	0,4	2	0	30	2,2	5	10
22	8P-C3A	0,4	2	0	30	2,2	5	10
23	8P-C14	0,2	2	0	45	2,2	5	20
24	8P-C5	0,2	2	0	20	2,2	0	5
25	8P-PL1	0,5	4	0	90	2,4	15	30
Promedio		0,32	2,32	0,4	37,2	2,3	5,8	11,8
Max		0,5	4	2	90	2,4	15	30
Min		0,2	2	0	20	2,2	0	5

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

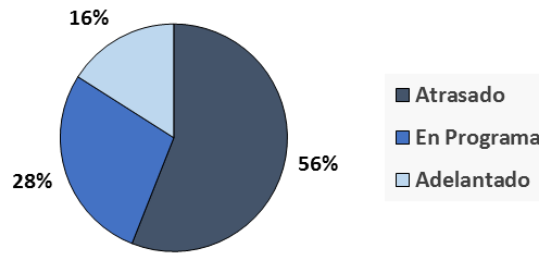


Fig. A.2.CP para colocación de encofrado en columnas.

– Columnas: Vaciado de concreto

Tabla B.3. Datos de vaciado de concreto en columnas.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	H	TE	TP	TG	PC
#	-	días	#	días	min	m	min	min	min	m3/m3
1	2P-C13A	0,2	4	0	60	2,2	15	20	20	0,5
2	2P-C9A1	0,2	4	0	60	2,2	15	20	5	0,5
3	2P-C9A2	0,2	4	0	60	2,2	15	20	5	0,5
4	3P-C3A	0,2	4	0	60	2,2	15	20	15	0,5
5	3P-C14	0,1	3	0	100	2,2	5	15	5	0,025
6	3P-C5	0,1	3	1	45	2,2	5	15	10	0,025
7	4P-PL1	0,3	4	0	150	2,4	20	40	45	0,01
8	4P-C6B	0,1	3	1	50	2,2	5	15	0	0,03
9	4P-C15	0,1	3	1	40	2,4	5	15	5	0,02
10	5P-C12	0,2	3	2	100	2,4	10	20	15	0,02
11	5P-C11	0,2	3	2	100	2,4	10	20	15	0,02
12	5P-C6C	0,1	3	1	45	2,4	5	15	0	0,01
13	6P-C7	0,1	3	1	45	2,4	5	15	0	0,01
14	6P-C16	0,1	3	1	45	2,4	5	15	15	0,03
15	7P-C13E	0,2	4	3	60	2,4	15	20	20	0,5
16	7P-C9E1	0,2	4	3	60	2,4	15	20	5	0,5
17	7P-C9E2	0,2	4	3	60	2,4	15	20	5	0,5
18	7P-C8E	0,2	4	3	60	2,4	15	20	15	0,35
19	7P-C13A	0,2	4	0	60	2,2	15	20	20	0,02
20	8P-C9A1	0,2	4	0	60	2,2	15	20	5	0,02
21	8P-C9A2	0,2	4	0	60	2,2	15	20	5	0,02
22	8P-C3A	0,2	4	0	60	2,2	15	20	15	0,02
23	8P-C14	0,1	3	0	60	2,2	5	15	5	0,02
24	8P-C5	0,1	3	1	45	2,2	5	15	10	0,02
25	8P-PL1	0,3	4	0	150	2,4	20	40	45	0
Promedio		0,17	3,56	0,92	67,8	2,3	11,4	19,8	12,2	0,1668
Max		0,3	4	3	150	2,4	20	40	45	0,5
Min		0,1	3	0	40	2,2	5	15	0	0

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

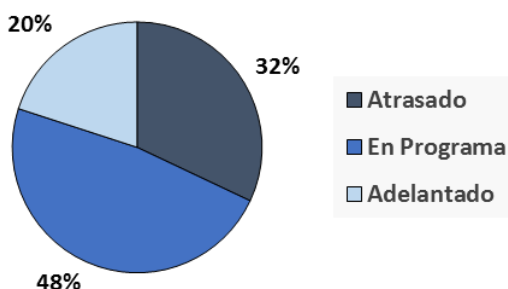


Fig. A.3.CP para vaciado de concreto en columnas.

- Columnas: Colocación de Recubrimiento

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

#	ID	FI	FT	TI	TT	D	O	H	FAS	EI
						min	#	ml		días
1	2P-C13A	14-abr	14-abr	15:00	15:40	40	2	2,2	15-abr	1
2	2P-C9A1	14-abr	14-abr	15:30	16:10	40	2	2,2	15-abr	1
3	2P-C9A2	14-abr	14-abr	15:30	16:10	40	2	2,2	15-abr	1
4	3P-C3A	15-abr	15-abr	15:30	16:10	40	2	2,2	16-abr	1
5	3P-C14	15-abr	15-abr	14:00	14:40	40	2	2,2	16-abr	1
6	3P-C5	15-abr	15-abr	14:00	14:40	40	2	2,2	16-abr	1
7	4P-PL1	02-may	02-may	15:30	17:10	100	2	2,4	05-may	3
8	4P-C6B	02-may	02-may	14:00	14:40	40	2	2,2	05-may	3
9	4P-C15	02-may	02-may	14:00	14:40	40	2	2,2	05-may	3
10	5P-C12	07-may	07-may	14:00	15:00	60	2	2,2	09-may	3
Promedio						48	2	2,22		1,8

- Columnas: Desencofrado

Tabla A.5. Datos de retiro de encofrado.

#	ID	FI	FT	TI	TT	D	O	H
						min	#	ml
1	2P-C13A	15-abr	15-abr	8:30	9:15	45	2	2,2
2	2P-C9A1	15-abr	15-abr	8:30	9:15	45	2	2,2
3	2P-C9A2	15-abr	15-abr	8:30	9:15	45	2	2,2
4	3P-C3A	16-abr	16-abr	8:30	9:15	45	2	2,2
5	3P-C14	16-abr	16-abr	8:30	9:15	45	2	2,2
6	3P-C5	16-abr	16-abr	8:30	9:15	45	2	2,2
7	4P-PL1	03-may	03-may	8:30	10:30	120	4	2,4
8	4P-C6B	03-may	03-may	8:30	9:15	45	2	2,2
9	4P-C15	03-may	03-may	8:30	9:15	45	2	2,2
10	5P-C12	08-may	08-may	8:30	9:15	45	2	2,2
Promedio						52,5	2,2	2,22

- Muros: Colocación de acero

Tabla A.6. Datos colocación de acero en muros.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	SC	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m2	min	min
1	2P-A/34	2,5	4	2	40	24,8	10	70
2	2P-A/45	2,0	3	2	30	17,3	5	60
3	2P-A/56	2,5	4	2	40	21,2	7	70
4	3P-E/34	2,5	4	5	40	24,8	10	85
5	3P-E/45	2,0	3	5	30	17,2	5	70
6	3P-E/56	2,5	4	5	40	20,8	7	80
7	4P-A/34	2,5	4	2	40	24,8	10	70
8	4P-A/45	2,0	3	2	30	17,3	5	60
9	4P-A/56	2,5	4	2	40	21,2	7	70
10	5P-E/34	2,5	4	5	40	24,8	10	85
11	5P-E/45	2,0	3	5	30	17,2	5	70
12	5P-E/56	2,5	4	5	40	20,8	7	80
13	6P-A/34	2,5	4	2	40	24,8	10	70
14	6P-A/45	2,0	3	2	30	17,3	5	60
15	6P-A/56	2,5	4	2	40	21,2	7	70
16	7P-E/34	2,5	4	5	40	24,8	10	85
17	7P-E/45	2,0	3	5	30	17,2	5	70
18	7P-E/56	2,5	4	5	40	20,8	7	80
19	8P-A/34	2,5	4	2	40	24,8	10	70
20	8P-A/45	2,0	3	2	30	17,3	5	60
21	8P-A/56	2,5	4	2	40	21,2	7	70
22	9P-E/34	2,5	4	5	40	24,8	10	85
23	9P-E/45	2,0	3	5	30	17,2	5	70
24	9P-E/56	2,5	4	5	40	20,8	7	80
Promedio		2,33	3,67	3,5	36,7	21	7,33	72,5
Max		2,5	4	5	40	24,8	10	85
Min		2	3	2	30	17,2	5	60

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

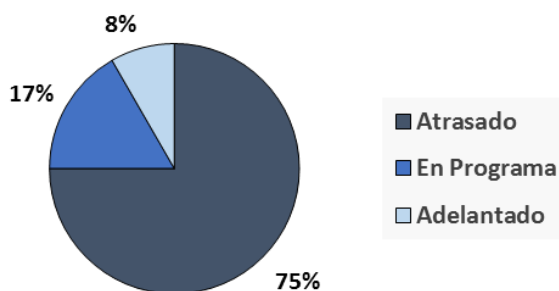


Fig. A.4.CP para colocación de acero en muros.

- Muros: Colocación de encofrado

Tabla A.7. Datos colocación de encofrado en muros.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	SC	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m2	min	min
1	2P-A/34	0,6	3	0	80	24,8	15	50
2	2P-A/45	0,6	3	0	80	17,3	20	30
3	2P-A/56	0,45	4	0	150	21,2	30	50
4	3P-E/34	0,8	2	1	50	24,8	5	30
5	3P-E/45	0,6	2	1	80	17,2	10	15
6	3P-E/56	0,6	3	1	75	20,8	0	10
7	4P-A/34	0,6	3	0	80	24,8	15	50
8	4P-A/45	0,6	3	0	80	17,3	20	30
9	4P-A/56	0,45	4	0	150	21,2	30	50
10	5P-E/34	0,8	2	1	50	24,8	5	30
11	5P-E/45	0,6	2	1	80	17,2	10	15
12	5P-E/56	0,6	3	1	75	20,8	0	10
13	6P-A/34	0,6	3	0	80	24,8	15	50
14	6P-A/45	0,6	3	0	80	17,3	20	30
15	6P-A/56	0,45	4	0	150	21,2	30	50
16	7P-E/34	0,8	2	1	50	24,8	5	30
17	7P-E/45	0,6	2	1	80	17,2	10	15
18	7P-E/56	0,6	3	1	75	20,8	0	10
19	8P-A/34	0,6	3	0	80	24,8	15	50
20	8P-A/45	0,6	3	0	80	17,3	20	30
21	8P-A/56	0,45	4	0	150	21,2	30	50
22	9P-E/34	0,8	2	1	50	24,8	5	30
23	9P-E/45	0,6	2	1	80	17,2	10	15
24	9P-E/56	0,6	3	1	75	20,8	0	10
Promedio		0,61	2,83	0,5	85,8	21	13,3	30,8
Max		0,8	4	1	150	24,8	30	50
Min		0,45	2	0	50	17,2	0	10

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

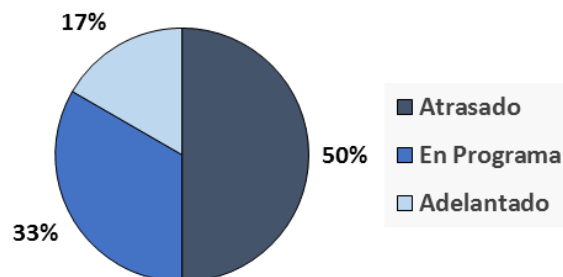


Fig. A.5. CP para colocación de encofrado en muros.

- Muros: Vaciado de concreto

Tabla A.8. Datos de vaciado con concreto en muros.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	SC	TE	TP	TG	PC
#	-	días	#	días	min	m2	min	min	min	m3/m3
1	2P-A/34	0,13	5	0	72	24,8	8	38,3	30	0,09
2	2P-A/45	0,15	5	0	83	17,3	10	23	30	0,13
3	2P-A/56	0,2	5	0	110	21,2	15	34,5	30	0,19
4	3P-E/34	0,13	5	1	72	24,8	3,33	38,3	10	0,03
5	3P-E/45	0,13	5	1	72	17,2	8	7,67	5	0,10
6	3P-E/56	0,22	5	1	55	20,8	15	42,2	5	0,11
7	4P-A/34	0,13	5	0	72	24,8	8	38,3	30	0,09
8	4P-A/45	0,15	5	0	83	17,3	10	23	30	0,13
9	4P-A/56	0,2	5	0	110	21,2	15	34,5	30	0,19
10	5P-E/34	0,13	5	1	72	24,8	3,33	38,3	10	0,03
11	5P-E/45	0,13	5	1	72	17,2	8	7,67	5	0,10
12	5P-E/56	0,22	5	1	55	20,8	15	42,2	5	0,11
13	6P-A/34	0,13	5	0	72	24,8	8	38,3	30	0,09
14	6P-A/45	0,15	5	0	83	17,3	10	23	30	0,13
15	6P-A/56	0,2	5	0	110	21,2	15	34,5	30	0,19
16	7P-E/34	0,13	5	1	72	24,8	3,33	38,3	10	0,03
17	7P-E/45	0,13	5	1	72	17,2	8	7,67	5	0,10
18	7P-E/56	0,22	5	1	55	20,8	15	42,2	5	0,11
19	8P-A/34	0,13	5	0	72	24,8	8	38,3	30	0,09
20	8P-A/45	0,15	5	0	83	17,3	10	23	30	0,13
21	8P-A/56	0,2	5	0	110	21,2	15	34,5	30	0,19
22	9P-E/34	0,13	5	1	72	24,8	3,33	38,3	10	0,03
23	9P-E/45	0,13	5	1	72	17,2	8	7,67	5	0,10
24	9P-E/56	0,22	5	1	55	20,8	15	42,2	5	0,11
Promedio		0,16	5	0,5	77,3	21	9,89	30,7	18,3	0,106
Max		0,22	5	1	110	24,8	15	42,2	30	0,188
Min		0,13	5	0	55	17,2	3,33	7,67	5	0,025

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

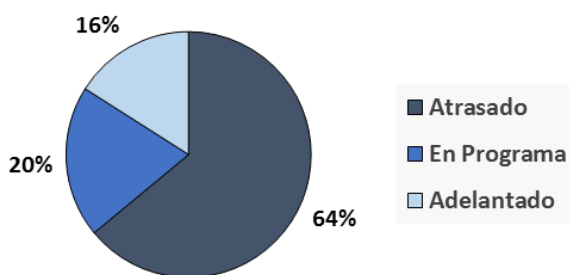


Fig. A.6. CP para vaciado de concreto en muros.

– Muros: Colocación de Recubrimiento

Tabla A.9. Datos colocación de recubrimiento en muros.

#	ID	FI	FT	TI	TT	D	O	SC	FAS	EI
						min	#	m2		días
1	2P-A/34	14-abr	14-abr	15:00	17:00	120	3	24,76	15-abr	1
2	2P-A/45	14-abr	14-abr	15:30	17:30	120	3	17,28	15-abr	1
3	2P-A/56	14-abr	14-abr	15:30	17:30	120	3	21,15	15-abr	1
4	3P-E/34	23-abr	23-abr	14:00	16:00	120	3	24,76	16-abr	2
5	3P-E/45	23-abr	23-abr	14:00	16:00	120	3	17,18	16-abr	2
6	3P-E/56	23-abr	23-abr	14:00	16:00	120	3	20,79	16-abr	2
7	4P-A/34	02-may	02-may	15:00	17:00	120	3	24,76	05-may	1
8	4P-A/45	02-may	02-may	15:30	17:30	120	3	17,28	05-may	1
9	4P-A/56	02-may	02-may	15:30	17:30	120	3	21,15	05-may	1
10	5P-E/34	07-may	07-may	14:00	16:00	120	3	24,76	09-may	2
Promedio						120	3	21,39		1,4

– Muros: Desencofrado

Tabla A.10. Datos de desencofrado en muros.

#	ID	FI	FT	TI	TT	D	O	SC
						min	#	m2
1	2P-A/34	15-abr	15-abr	8:30	9:15	120	3	24,76
2	2P-A/45	15-abr	15-abr	8:30	9:15	100	3	17,28
3	2P-A/56	15-abr	15-abr	8:30	9:15	100	3	21,15
4	3P-E/34	24-abr	24-abr	8:30	9:15	160	3	24,76
5	3P-E/45	24-abr	24-abr	8:30	9:15	150	3	17,18
6	3P-E/56	24-abr	24-abr	8:30	9:15	150	3	20,79
7	4P-A/34	03-may	03-may	8:30	10:30	120	3	24,76
8	4P-A/45	03-may	03-may	8:30	9:15	100	3	17,28
9	4P-A/56	03-may	03-may	8:30	9:15	100	3	21,15
10	5P-E/34	08-may	08-may	8:30	9:15	160	3	24,76
Promedio						126	3	21,39

- Losas: Colocación de acero

Tabla A.11. Datos colocación de acero en losas.

Muestra	ID	D	O	EI	TM	ST	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m2	min	min
1	N3-S1S2	2,4	7	2	120	297,49	15	40
2	N4-S1S2	2,4	7	2	120	297,49	10	45
3	N5-S1S2	2,4	7	2	120	295,31	5	35
4	N6-S1S2	2,5	7	2	120	295,31	5	50
5	N7-S1S2	2,6	7	2	120	295,31	15	35
6	N8-S1S2	2,5	7	2	120	295,31	10	45
7	N9-S1S2	2,4	7	2	120	295,31	12	25
8	N10-S1S2	2,4	7	2	120	295,31	8	40
9	N11-S1S2	2,4	7	2	120	295,31	15	30
10	N12-S1S2	2,6	7	2	120	289,48	5	25
Promedio		2,46	7	2	120	295,16	10	37
Max		2,6	7	2	120	297,49	15	50
Min		2,4	7	2	120	289,48	5	25

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

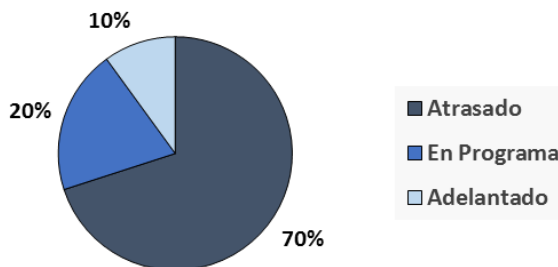


Fig. A.7.CP para colocación de acero en losas.

- Losas: Encofrado de fondo de losa

Tabla A.12. Datos de encofrado de fondo de losas.

Muestra	ID	D	O	TI	TM	ST	TE	TP
#	-	días	#	días	min	m2	min	min
1	N3-S1S2	3	9	0	120	297,49	15	40
2	N4-S1S2	2,8	9	0	120	297,49	10	60
3	N5-S1S2	3,1	9	0	120	295,31	15	50
4	N6-S1S2	2,5	9	0	120	295,31	15	40
5	N7-S1S2	3	9	0	120	295,31	20	70
6	N8-S1S2	3	9	0	120	295,31	15	65
7	N9-S1S2	3,2	9	0	120	295,31	30	80
8	N10-S1S2	3,3	9	0	120	295,31	30	120
9	N11-S1S2	2,8	9	0	120	295,31	15	50
10	N12-S1S2	3	9	0	120	289,48	20	60
Promedio		2,97	9	0	120	295,163	18,5	63,5
Max		3,3	9	0	120	297,49	30	120
Min		2,5	9	0	120	289,48	10	40

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

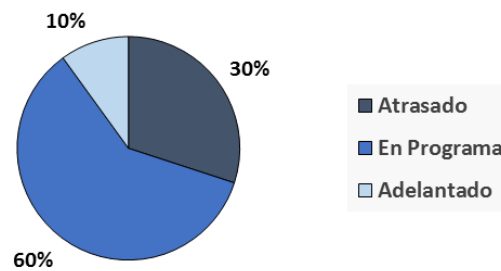


Fig. A.8.CP para encofrado de fondo de losas.

- Losas: Vaciado de concreto

Tabla A.13. Datos de vaciado de concreto en losas.

Muestra	ID	D	O	TM	ST	TE	TP	TG	PC
#	-	días	#	min	m2	min	min	min	m3/m3
1	N3-S1S2	0,89	7	360	297	40	50	120	0,09
2	N4-S1S2	0,74	7	360	297	45	40	135	0,091
3	N5-S1S2	1,09	7	360	295	30	45	160	0,1
4	N6-S1S2	0,76	7	360	295	15	50	90	0,007
5	N7-S1S2	0,77	7	360	295	50	35	100	0,04
6	N8-S1S2	0,82	7	360	295	20	45	110	0,077
7	N9-S1S2	0,94	7	360	295	18	50	160	0,048
8	N10-S1S2	0,95	7	360	295	20	25	140	0,09
9	N11-S1S2	0,96	7	360	295	35	30	150	0,05
10	N12-S1S2	0,89	7	360	289	15	40	140	0,064
Promedio		0,88	7	360	295	28,8	41	131	0,0657
Max		1,09	7	360	297	50	50	160	0,1
Min		0,74	7	360	289	15	25	90	0,007

El cumplimiento del programa se resume en la figura siguiente:

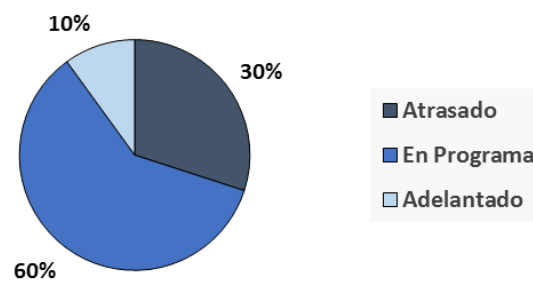


Fig. A.9.CP para vaciado de concreto en losas.

- Losas: Colocación de instalaciones y recubrimientos

Tabla A.14. Datos de colocación de instalaciones y recubrimiento en losas.

#	ID	FI	FT	TI	TT	D	O	ST	FAS	EI
						min	#	m2		días
1	N3-S1S2	17-abr	18-abr	13:00	17:30	1020	11	297,49	19-abr	0,1
2	N4-S1S2	26-abr	27-abr	13:00	17:30	1020	11	297,49	28-abr	0,1
3	N5-S1S2	05-may	06-may	13:00	17:30	1020	11	295,31	07-may	0,1
4	N6-S1S2	10-may	11-may	13:00	17:30	1035	11	295,31	12-may	0,1
5	N7-S1S2	15-may	16-may	13:00	17:30	1035	11	295,31	17-may	0,1
6	N8-S1S2	19-may	20-may	13:00	17:30	1020	11	295,31	21-may	0,1
7	N9-S1S2	24-may	25-may	13:00	17:30	1050	11	295,31	26-may	0,1
8	N10-S1S2	30-may	31-may	13:00	17:30	1050	11	295,31	01-jun	0,1
9	N11-S1S2	04-jun	05-jun	13:00	17:30	1020	11	295,31	06-jun	0,1
10	N12-S1S2	08-jun	09-jun	13:00	17:30	1020	11	289,48	10-jun	0,1
Promedio						1029	11	295,163		0,1

- Losas: Curado del concreto

Tabla A.15. Datos de curado del concreto en losas.

#	ID	FI	FT	TI	TT	D	O	ST
						min	#	m2
1	N3-S1S2	15-abr	15-abr	8:30	10:30	120	2	297,49
2	N4-S1S2	24-abr	24-abr	8:30	11:30	120	2	297,49
3	N5-S1S2	03-may	03-may	8:30	12:30	120	2	295,31
4	N6-S1S2	08-may	08-may	8:30	13:30	120	2	295,31
5	N7-S1S2	13-may	13-may	8:30	14:30	120	2	295,31
6	N8-S1S2	17-may	17-may	8:30	15:30	120	2	295,31
7	N9-S1S2	22-may	22-may	8:30	16:30	120	2	295,31
8	N10-S1S2	28-may	28-may	8:30	17:30	120	2	295,31
9	N11-S1S2	02-jun	02-jun	8:30	18:30	120	2	295,31
10	N12-S1S2	06-jun	06-jun	8:30	19:30	120	2	289,48
Promedio						120	2	295,163

- Columnas: Avance de colocación de acero

Tabla A.16. Avance de colocación de acero en columnas.

FECHA		14	17	20	23	26	29	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	1	4	7	10
		abr	abr	abr	abr	abr	abr	may	may	may	may	may	may	may	may	may	may	jun	jun	jun	jun
DÍA		0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
NVL	STR	%																			
3	1	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	2	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1	0	5	7	40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	2	0	0	8	25	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	1	0	0	0	5	20	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	2	0	0	0	0	6	15	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	1	0	0	0	0	2	20	39	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	2	0	0	0	0	0	0	4	32	65	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	1	0	0	0	0	0	0	0	15	40	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	45	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	35	68	100	100	100	100	100	100	100	100
8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	64	90	100	100	100	100	100	100	100
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	80	100	100	100	100	100	100	100
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	20	75	90	100	100	100	100	100
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	35	80	100	100	100	100	100
10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	65	85	100	100	100	100
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	40	75	100	100	100
11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	35	85	100	100
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	40	100	100
12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	60	85	100
TOTAL		4	10	11	14	21	25	31	36	41	46	52	57	65	72	78	82	86	94	99	100

- Columnas: Avance de colocación de encofrado

Tabla A.17. Avance de colocación de encofrado en columnas.

FECHA		14 abr	17 abr	20 abr	23 abr	26 abr	29 abr	2 may	5 may	8 may	11 may	14 may	17 may	20 may	23 may	26 may	29 may	1 jun	4 jun	7 jun	10 jun
DÍA		0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
NVL	STR	%																			
3	1	40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	2	5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1	0	0	5	50	75	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	2	0	0	0	15	35	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	1	0	0	0	0	5	20	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	2	0	0	0	0	0	15	65	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	1	0	0	0	0	0	0	50	70	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	2	0	0	0	0	0	0	0	10	30	65	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	20	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	30	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	65	100	100	100	100	100	100	100	100
8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	50	100	100	100	100	100	100	100
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	100	100	100	100	100	100	100
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	50	85	100	100	100	100	100
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	60	100	100	100	100	100
10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	40	100	100	100	100
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	85	100	100
11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	100	100
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100
12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	100
TOTAL		2	10	10	13	16	19	28	34	38	44	50	54	62	68	73	77	81	85	95	100

– Columnas: Avance de vaciado de concreto

Tabla A.18. Avance de vaciado de concreto en columnas.

FECHA		14	17	20	23	26	29	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	1	4	7	10
		abr	abr	abr	abr	abr	abr	may	may	may	may	may	may	may	may	may	may	jun	jun	jun	jun
DÍA		0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
NVL	STR	%																			
3	1	0	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	2	0	60	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	2	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	1	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	2	0	0	0	0	0	0	0	15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	70	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	100	100	100	100	100	100	100
8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	100	100	100	100	100	100	100
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	85	100	100	100	100	100
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	100	100	100	100	100
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	100	100	100	100	100
10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	100	100	100	100	100
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100	100
11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	100	100
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	100
12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
TOTAL		0	8	9	10	10	10	20	26	34	36	45	50	54	63	66	74	80	84	93	100

- Columnas: Avance de desencofrado

Tabla A.19. Avance de desencofrado en columnas.

FECHA		14	17	20	23	26	29	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	1	4	7	10
		abr	abr	abr	abr	abr	abr	may	may	may	may	may	may	may	may	may	may	jun	jun	jun	jun
DÍA		0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
NVL	STR	%																			
3	1	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	2	0	0	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	2	0	0	0	0	0	0	0	65	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	1	0	0	0	0	0	0	0	30	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	50	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	35	85	100	100	100	100	100	100	100
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100
7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	35	80	100	100	100	100	100	100
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	100	100	100	100	100	100	100
8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	75	100	100	100	100	100
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100	100	100	100	100	100
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	75	100	100	100
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	100	100	100	100
10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	80	100	100
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100	100
11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	75
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100
12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		0	0	9	10	10	10	10	20	27	32	39	41	50	59	64	70	75	83	89	94

– Muros: Avance de colocación de acero

Tabla A.20. Avance de colocación de acero en muros.

FECHA		14	17	20	23	26	29	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	1	4	7	10
		abr	abr	abr	abr	abr	abr	may	may	may	may	may	may	may	may	may	may	jun	jun	jun	jun
DÍA		0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
NVL	STR	%																			
3	1	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	2	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1	0	5	7	40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	2	0	0	8	25	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	1	0	0	0	5	20	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	2	0	0	0	0	6	15	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	1	0	0	0	0	2	20	39	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	2	0	0	0	0	0	0	4	32	65	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	1	0	0	0	0	0	0	0	15	40	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	45	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	35	68	100	100	100	100	100	100	100	100
8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	64	90	100	100	100	100	100	100	100
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	80	100	100	100	100	100	100	100
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	20	75	90	100	100	100	100	100
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	35	80	100	100	100	100	100
10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	65	85	100	100	100	100
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	40	75	100	100	100
11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	35	85	100	100
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	40	100	100
12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	60	85	100
TOTAL		4	10	11	14	21	25	31	36	41	46	52	57	65	72	78	82	86	94	99	100

– Muros: Avance de colocación de encofrado

Tabla A.21. Avance de colocación de encofrado en muros.

FECHA		14 abr	17 abr	20 abr	23 abr	26 abr	29 abr	2 may	5 may	8 may	11 may	14 may	17 may	20 may	23 may	26 may	29 may	1 jun	4 jun	7 jun	10 jun
DÍA		0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
NVL	STR	%																			
3	1	40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	2	5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1	0	0	5	50	75	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	2	0	0	0	15	35	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	1	0	0	0	0	5	20	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	2	0	0	0	0	0	15	65	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	1	0	0	0	0	0	0	50	70	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	2	0	0	0	0	0	0	0	10	30	65	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	20	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	30	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	65	100	100	100	100	100	100	100	100
8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	50	100	100	100	100	100	100	100
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	100	100	100	100	100	100	100
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	50	85	100	100	100	100	100
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	60	100	100	100	100	100
10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	40	100	100	100	100
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	85	100	100
11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	100	100
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100
12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	100
TOTAL		2	10	10	13	16	19	28	34	38	44	50	54	62	68	73	77	81	85	95	100

- Muros: Avance de vaciado de concreto

Tabla A.22. Avance de vaciado de concreto en muros.

FECHA		14	17	20	23	26	29	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	1	4	7	10
		abr	abr	abr	abr	abr	abr	may	may	may	may	may	may	may	may	may	may	jun	jun	jun	jun
DÍA		0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
NVL	STR	%																			
3	1	0	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	2	0	60	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	2	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	1	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	2	0	0	0	0	0	0	0	15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	70	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	100	100	100	100	100	100	100
8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	100	100	100	100	100	100	100
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	85	100	100	100	100	100
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	100	100	100	100	100
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	100	100	100	100	100
10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	100	100	100	100	100
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100	100
11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	100	100
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	100
12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
TOTAL		0	8	9	10	10	10	20	26	34	36	45	50	54	63	66	74	80	84	93	100

- Muros: Avance de desencofrado

Tabla A.23. Avance de desencofrado en muros.

FECHA		14 abr	17 abr	20 abr	23 abr	26 abr	29 abr	2 may	5 may	8 may	11 may	14 may	17 may	20 may	23 may	26 may	29 may	1 jun	4 jun	7 jun	10 jun
DÍA		0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
NVL	STR	%																			
3	1	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	2	0	0	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	2	0	0	0	0	0	0	0	65	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	1	0	0	0	0	0	0	0	30	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	50	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	35	85	100	100	100	100	100	100	100
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	80	100	100	100	100	100	100	100	100
7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	35	80	100	100	100	100	100	100
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	100	100	100	100	100	100	100
8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	75	100	100	100	100	100
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100	100	100	100	100	100
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	75	100	100	100
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	100	100	100	100
10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	80	100	100
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100	100
11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	75
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100
12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		0	0	9	10	10	10	10	20	27	32	39	41	50	59	64	70	75	83	89	94

- Losas: Avance de encofrado de fondo de losa

Tabla A.24. Avance de encofrado de fondo de losa.

FECHA		20 abr	24 abr	28 abr	2 may	6 may	10 may	14 may	18 may	22 may	26 may	30 may	3 jun	7 jun	11 jun	15 jun	19 jun	23 jun
DÍA		0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64
NVL	STR	%																
3	1-2	25	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1-2	0	0	50	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	1-2	0	0	0	0	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	1-2	0	0	0	0	0	35	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	1-2	0	0	0	0	0	0	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	1-2	0	0	0	0	0	0	0	25	90	100	100	100	100	100	100	100	100
9	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	95	100	100	100	100	100	100
10	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	100	100	100	100	100	100
11	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	100	100	100	100	100
12	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	95	100	100	100
TOTAL		3	10	15	20	26	34	45	53	59	68	74	83	93	100	100	100	100

- Losas: Avance de colocación de acero

Tabla A.25. Avance de colocación de acero en losa.

FECHA		20 abr	24 abr	28 abr	2 may	6 may	10 may	14 may	18 may	22 may	26 may	30 may	3 jun	7 jun	11 jun	15 jun	19 jun	23 jun	
DÍA		0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	
NVL	STR	%																	
3	1-2	10	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1-2	0	0	25	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	1-2	0	0	0	0	30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	1-2	0	0	0	0	0	15	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	1-2	0	0	0	0	0	0	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	1-2	0	0	0	0	0	0	0	25	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	90	100	100	100	100	100	100	100
10	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	100	100	100	100	100	100	100
11	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	90	100	100	100	100	100
12	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	100	100	100	100
TOTAL		1	8	13	18	23	32	42	53	59	63	71	82	89	99	100	100	100	100

- Losas: Avance de colocación de instalaciones y recubrimientos

Tabla A.26. Avance de colocación de instalaciones y recubrimientos en losa.

FECHA		20 abr	24 abr	28 abr	2 may	6 may	10 may	14 may	18 may	22 may	26 may	30 may	3 jun	7 jun	11 jun	15 jun	19 jun	23 jun	
DÍA		0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	
NVL	STR	%																	
3	1-2	5	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1-2	0	0	15	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	1-2	0	0	0	0	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	1-2	0	0	0	0	0	5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	1-2	0	0	0	0	0	0	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	1-2	0	0	0	0	0	0	0	15	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	95	100	100	100	100	100	100	100
10	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	100	100	100	100	100	100	100
11	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	95	100	100	100	100	100
12	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
TOTAL		1	9	12	19	25	31	41	52	60	62	71	81	90	100	100	100	100	100

- Losas: Avance de vaciado de concreto

Tabla A.27. Avance de vaciado de concreto en losas.

FECHA		20	24	28	2	6	10	14	18	22	26	30	3	7	11	15	19	23
		abr	abr	abr	may	may	may	may	may	may	may	may	jun	jun	jun	jun	jun	jun
DÍA		0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64
NVL	STR	%																
3	1-2	0	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1-2	0	0	0	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	1-2	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	1-2	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	1-2	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	90	100	100	100	100	100	100	100	100
9	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
10	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
11	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
12	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	100	100	100
TOTAL		0	9	10	19	20	30	40	50	59	60	70	80	90	99	100	100	100

- Losas: Avance de desencofrado

Tabla A.28. Avance de desencofrado en losas.

FECHA		20	24	28	2	6	10	14	18	22	26	30	3	7	11	15	19	23
		abr	abr	abr	may	may	may	may	may	may	may	may	jun	jun	jun	jun	jun	jun
DÍA		0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64
NVL	STR	%																
3	1-2	0	0	0	5	10	50	60	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	1-2	0	0	0	0	2	5	10	60	60	70	95	100	100	100	100	100	100
5	1-2	0	0	0	0	0	2	10	10	60	60	60	85	100	100	100	100	100
6	1-2	0	0	0	0	0	0	2	2	10	50	50	50	85	100	100	100	100
7	1-2	0	0	0	0	0	0	0	2	8	10	45	50	60	85	100	100	100
8	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	10	10	50	50	50	90	100
9	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10	10	50	50	60	85
10	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10	10	50	50	70
11	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	10	50	65
12	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	10	50
TOTAL		0	0	0	1	1	6	8	15	24	29	36	41	52	61	66	76	87

- Residuos de obra generados durante el periodo de observación

Tabla A.29. Residuos generados.

Material	V (m3)
Madera	70,6
Tierra/piedras	56,4
Concreto	33,8
Plástico	11,8
Fierro	5,24
Papel/Cartón	7,9

Orgánicos	2,4
Ladrillos	3,9
Vidrios	0
Total	192,04

4.2. Anexo B: Datos Procesados

- Columnas: Colocación de acero

Tabla B.1. Indicadores para colocación de acero en columnas.

MUESTRA	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	R	EI
#	-	min/ml	%	%	%	ml/HH	kg/HH	días/ml
1	2P-C13A	123	82	44	22	0,2	61,1	0,5
2	2P-C9A1	98	86	58	25	0,3	47,2	0,5
3	2P-C9A2	98	91	58	25	0,3	47,2	0,5
4	3P-C3A	123	73	43	7	0,2	103,6	0,5
5	3P-C14	196	95	74	14	0,2	114,6	0,7
6	3P-C5	147	91	94	6	0,2	94,1	0,5
7	4P-PL1	368	100	65	15	0,1	259,5	0,9
8	4P-C6B	147	95	91	9	0,2	129,5	0,5
9	4P-C15	270	91	80	8	0,1	122,4	0,8
10	5P-C12	428	82	77	9	0,1	77,3	0,8
11	5P-C11	428	91	77	9	0,1	77,3	0,8
12	5P-C6C	135	100	74	9	0,2	129,5	0,4
13	6P-C7	113	86	89	11	0,3	112,9	0,4
14	6P-C16	90	82	69	14	0,3	129,5	0,4
15	7P-C13E	113	82	61	22	0,3	61,1	0,6
16	7P-C9E1	90	68	58	25	0,3	47,2	0,6
17	7P-C9E2	90	95	58	25	0,3	47,2	0,6
18	7P-C8E	113	82	54	30	0,3	103,6	0,6
19	7P-C13A	123	91	48	22	0,2	61,1	0,5
20	8P-C9A1	98	100	45	25	0,3	47,2	0,5
21	8P-C9A2	98	91	45	25	0,3	47,2	0,5
22	8P-C3A	123	82	65	15	0,2	103,6	0,5
23	8P-C14	196	100	49	14	0,2	114,6	0,7
24	8P-C5	147	77	60	6	0,2	94,1	0,5
25	8P-PL1	368	82	68	15	0,1	259,5	0,9
26	9P-C6B	147	91	91	9	0,2	129,5	0,5
27	9P-C15	270	95	80	8	0,1	122,4	0,8
28	9P-C12	428	77	77	9	0,1	77,3	0,8
29	9P-C11	428	100	84	9	0,1	77,3	0,8
30	9P-C6C	135	95	74	9	0,2	129,5	0,4
PROMEDIO		191	88	67	15	0,2	100,9	0,6
MAX.		428	100	94	30	0,3	259,5	0,9
MIN.		90	68	43	6	0,1	47,2	0,4

- Columnas: Colocación de encofrado

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

MUESTRA	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	EI
#	-	min/ml	%	%	%	ml/HH	días/ml
1	2P-C13A	98	91	79	5	0,3	0,0
2	2P-C9A1	98	100	79	5	0,3	0,0
3	2P-C9A2	98	95	79	5	0,3	0,0
4	3P-C3A	98	82	79	5	0,3	0,0
5	3P-C14	49	97	59	19	0,4	0,0
6	3P-C5	49	91	95	5	0,6	0,0
7	4P-PL1	113	93	72	11	0,1	0,0
8	4P-C6B	49	95	75	5	0,6	0,9
9	4P-C15	45	100	80	9	0,4	0,0
10	5P-C12	45	97	69	14	0,4	0,0
11	5P-C11	45	94	69	14	0,4	0,4
12	5P-C6C	45	95	70	5	0,7	0,4
13	6P-C7	45	100	95	5	0,7	0,8
14	6P-C16	45	91	74	9	0,7	0,8
15	7P-C13E	90	86	79	5	0,3	0,4
16	7P-C9E1	90	82	79	5	0,3	0,4
17	7P-C9E2	90	95	79	5	0,3	0,0
18	7P-C8E	90	100	79	5	0,3	0,0
19	7P-C13A	98	91	79	5	0,3	0,0
20	8P-C9A1	98	95	79	5	0,3	0,0
21	8P-C9A2	98	100	79	5	0,3	0,0
22	8P-C3A	98	91	79	5	0,3	0,0
23	8P-C14	49	86	70	19	0,6	0,0
24	8P-C5	49	100	95	5	0,6	0,0
25	8P-PL1	113	100	72	11	0,1	0,0
PROMEDIO		75	94	78	7	0,4	0,2
MAX.		113	100	95	19	0,7	0,9
MIN.		45	82	59	5	0,1	0,0

- Columnas: Vaciado de concreto

Tabla B.3. Indicadores para vaciado de concreto en columnas.

MUESTRA	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	EI	PC	PC
#	-	min/ml	%	%	%	ml/HH	días/ml	m3/ml	%
1	2P-C13A	49	98	56	19	0,3	0,0	0,05	10,0
2	2P-C9A1	49	98	56	19	0,3	0,0	0,02	5,0
3	2P-C9A2	49	98	56	19	0,3	0,0	0,05	10,0
4	3P-C3A	49	98	56	19	0,3	0,0	0,05	10,0
5	3P-C14	25	100	67	28	0,8	0,0	0,01	2,5
6	3P-C5	25	100	61	28	0,8	0,5	0,01	2,5
7	4P-PL1	68	91	62	25	0,2	0,0	0,00	1,0
8	4P-C6B	25	94	62	28	0,8	0,5	0,01	3,0
9	4P-C15	23	91	60	28	0,9	0,4	0,01	2,0
10	5P-C12	45	97	71	19	0,4	0,8	0,01	2,0
11	5P-C11	45	97	71	19	0,4	0,8	0,01	2,0
12	5P-C6C	23	94	61	28	0,9	0,4	0,04	9,0
13	6P-C7	23	94	61	28	0,9	0,4	0,03	7,5
14	6P-C16	23	88	61	28	0,9	0,4	0,03	8,0
15	7P-C13E	45	98	56	19	0,3	1,3	0,04	10,0
16	7P-C9E1	45	98	56	19	0,3	1,3	0,04	9,5
17	7P-C9E2	45	93	56	19	0,3	1,3	0,06	15,0
18	7P-C8E	45	100	56	19	0,3	1,3	0,04	9,9
19	7P-C13A	49	95	56	19	0,3	0,0	0,01	2,0
20	8P-C9A1	49	98	56	19	0,3	0,0	0,01	2,0
21	8P-C9A2	49	98	56	19	0,3	0,0	0,01	2,0
22	8P-C3A	49	95	56	19	0,3	0,0	0,01	2,0
23	8P-C14	25	91	64	28	0,8	0,0	0,01	2,0
24	8P-C5	25	100	61	28	0,8	0,5	0,01	2,0
25	8P-PL1	68	95	62	25	0,2	0,0	0,00	0,0
PROMEDIO		40	96	60	22	0,5	0,4	0,0	5,2
MAX.		68	100	71	28	0,9	1,3	0,1	15,0
MIN.		23	88	56	19	0,2	0,0	0,0	0,0

- Columnas: Colocación de Recubrimiento

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

MUESTRA	ID	D	R	EI
#	-	min/ml	ml/HH	días/ml
1	2P-C13A	36	7,4	0,5
2	2P-C9A1	36	7,4	0,5
3	2P-C9A2	36	7,4	0,5
4	3P-C3A	36	7,4	0,5
5	3P-C14	36	5,0	0,5
6	3P-C5	36	7,4	0,5
7	4P-PL1	83	1,6	1,3
8	4P-C6B	36	7,4	1,4
9	4P-C15	33	5,4	1,3
10	5P-C12	50	3,6	1,3
PROMEDIO		42	6,0	0,8

- Columnas: Desencofrado

Tabla B.5. Indicadores para desencofrado en columnas.

MUESTRA	ID	D	R
#	-	min/ml	ml/HH
1	2P-C13A	20	1,5
2	2P-C9A1	20	1,5
3	2P-C9A2	20	1,5
4	3P-C3A	20	1,5
5	3P-C14	20	1,0
6	3P-C5	20	1,5
7	4P-PL1	50	0,3
8	4P-C6B	20	1,5
9	4P-C15	19	1,1
10	5P-C12	19	1,1
PROMEDIO		23	1,2

- Muros: Colocación de acero

Tabla B.6. Indicadores para colocación de acero en muros.

MUESTRA	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	R	EI
#	-	min/m ²	%	%	%	m ² /HH	kg/HH	días/m ²
1	2P-A/34	55	95	70	5	0,3	16,3	0,08
2	2P-A/45	63	94	78	6	0,3	13,9	0,12
3	2P-A/56	64	95	77	5	0,2	13,8	0,09
4	3P-E/34	55	93	69	6	0,3	16,3	0,20
5	3P-E/45	63	88	77	6	0,3	13,8	0,29
6	3P-E/56	65	95	77	6	0,2	13,5	0,24
7	4P-A/34	55	95	70	5	0,3	16,3	0,08
8	4P-A/45	63	94	78	6	0,3	13,9	0,12
9	4P-A/56	64	95	77	5	0,2	13,8	0,09
10	5P-E/34	55	93	69	6	0,3	16,3	0,20
11	5P-E/45	63	88	77	6	0,3	13,8	0,29
12	5P-E/56	65	95	77	6	0,2	13,5	0,24
13	6P-A/34	55	95	70	5	0,3	16,3	0,08
14	6P-A/45	63	94	78	6	0,3	13,9	0,12
15	6P-A/56	64	95	77	5	0,2	13,8	0,09
16	7P-E/34	55	93	69	6	0,3	16,3	0,20
17	7P-E/45	63	88	77	6	0,3	13,8	0,29
18	7P-E/56	65	95	77	6	0,2	13,5	0,24
19	8P-A/34	55	95	70	5	0,3	16,3	0,08
20	8P-A/45	63	94	78	6	0,3	13,9	0,12
21	8P-A/56	64	95	77	5	0,2	13,8	0,09
22	9P-E/34	55	93	69	6	0,3	16,3	0,20
23	9P-E/45	63	88	77	6	0,3	13,8	0,29
24	9P-E/56	65	95	77	6	0,2	13,5	0,24
PROMEDIO		61	94	75	6	0,3	14,6	0,17
MAX.		65	95	78	6	0,3	16,3	0,29
MIN.		55	88	69	5	0,2	13,5	0,08

- Muros: Colocación de encofrado

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

MUESTRA	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	EI	CM
#	-	min/m ²	%	%	%	m ² /HH	días/m ²	%
1	2P-A/34	13	94	66	15	1,5	0,0	2,0
2	2P-A/45	19	97	66	9	1,1	0,0	1,2
3	2P-A/56	11	100	59	21	1,3	0,0	1,4
4	3P-E/34	17	82	83	7	1,7	0,0	3,4
5	3P-E/45	19	91	83	5	1,6	0,1	4,0
6	3P-E/56	16	94	97	3	1,3	0,0	2,6
7	4P-A/34	13	94	66	15	1,5	0,0	2,0
8	4P-A/45	19	97	66	9	1,1	0,0	1,2
9	4P-A/56	11	100	59	21	1,3	0,0	1,4
10	5P-E/34	17	82	83	7	1,7	0,0	3,4
11	5P-E/45	19	91	83	5	1,6	0,1	4,0
12	5P-E/56	16	94	97	3	1,3	0,0	2,6
13	6P-A/34	13	94	66	15	1,5	0,0	2,0
14	6P-A/45	19	97	66	9	1,1	0,0	1,2
15	6P-A/56	11	100	59	21	1,3	0,0	1,4
16	7P-E/34	17	82	83	7	1,7	0,0	3,4
17	7P-E/45	19	91	83	5	1,6	0,1	4,0
18	7P-E/56	16	94	97	3	1,3	0,0	2,6
19	8P-A/34	13	94	66	15	1,5	0,0	2,0
20	8P-A/45	19	97	66	9	1,1	0,0	1,2
21	8P-A/56	11	100	59	21	1,3	0,0	1,4
22	9P-E/34	17	82	83	7	1,7	0,0	3,4
23	9P-E/45	19	91	83	5	1,6	0,1	4,0
24	9P-E/56	16	94	97	3	1,3	0,0	2,6
PROMEDIO		16	93	76	10	1,4	0,0	2,4
MAX.		19	100	97	21	1,7	0,1	4,0
MIN.		11	82	59	3	1,1	0,0	1,2

– Muros: Vaciado de concreto

Tabla B.8. Indicadores para vaciado de concreto en muros.

MUESTRA	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	EI	PC	PC	PE	PE
#	-	min/m2	%	%	%	m2/HH	días/m2	m3/m2	%	L/m2	%
1	2P-A/34	2,8	95	34	55	4,2	0,000	0,01	9	0,13	35
2	2P-A/45	4,7	94	60	28	2,6	0,000	0,02	13	0,09	31
3	2P-A/56	5,1	94	54	32	2,4	0,000	0,02	19	0,10	25
4	3P-E/34	2,8	97	41	55	4,2	0,040	0,00	3	0,38	10
5	3P-E/45	4,1	98	78	11	2,9	0,058	0,01	10	0,27	10
6	3P-E/56	5,8	92	38	35	2,1	0,048	0,01	11	0,16	12
7	4P-A/34	2,8	95	34	55	4,2	0,000	0,01	9	0,13	35
8	4P-A/45	4,7	94	60	28	2,6	0,000	0,02	13	0,09	31
9	4P-A/56	5,1	94	54	32	2,4	0,000	0,02	19	0,10	25
10	5P-E/34	2,8	97	41	55	4,2	0,040	0,00	3	0,38	10
11	5P-E/45	4,1	98	78	11	2,9	0,058	0,01	10	0,27	10
12	5P-E/56	5,8	92	38	35	2,1	0,048	0,01	11	0,16	12
13	6P-A/34	2,8	95	34	55	4,2	0,000	0,01	9	0,13	35
14	6P-A/45	4,7	94	60	28	2,6	0,000	0,02	13	0,09	31
15	6P-A/56	5,1	94	54	32	2,4	0,000	0,02	19	0,10	25
16	7P-E/34	2,8	97	41	55	4,2	0,040	0,00	3	0,38	10
17	7P-E/45	4,1	98	78	11	2,9	0,058	0,01	10	0,27	10
18	7P-E/56	5,8	92	38	35	2,1	0,048	0,01	11	0,16	12
19	8P-A/34	2,8	95	34	55	4,2	0,000	0,01	9	0,13	35
20	8P-A/45	4,7	94	60	28	2,6	0,000	0,02	13	0,09	31
21	8P-A/56	5,1	94	54	32	2,4	0,000	0,02	19	0,10	25
22	9P-E/34	2,8	97	41	55	4,2	0,040	0,00	3	0,38	10
23	9P-E/45	4,1	98	78	11	2,9	0,058	0,01	10	0,27	10
24	9P-E/56	5,8	92	38	35	2,1	0,048	0,01	11	0,16	12
PROMEDIO		4,2	95	51	36	3,1	0,024	0,01	11	0,19	20
MAX.		5,8	98	78	55	4,2	0,058	0,02	19	0,38	35
MIN.		2,8	92	34	11	2,1	0,000	0,00	3	0,09	10

– Muros: Colocación de Recubrimiento

Tabla B.9. Indicadores para colocación de recubrimientos en muros.

MUESTRA	ID	D	R	EI
#	-	min/m2	m2/HH	días/m2
1	2P-A/34	4,8	37,1	0,04
2	2P-A/45	6,9	25,9	0,06
3	2P-A/56	5,7	31,7	0,05
4	3P-E/34	4,8	37,1	0,08
5	3P-E/45	7,0	25,8	0,12
6	3P-E/56	5,8	31,2	0,10
7	4P-A/34	4,8	37,1	0,04
8	4P-A/45	6,9	25,9	0,06
9	4P-A/56	5,7	31,7	0,05
10	5P-E/34	4,8	37,1	0,08
PROMEDIO		5,7	32,1	0,07

- Muros: Desencofrado

Tabla B.10. Indicadores para desencofrado en muros.

MUESTRA	ID	D	R
#	-	min/m2	m2/HH
1	2P-A/34	4,8	4,1
2	2P-A/45	5,8	3,5
3	2P-A/56	4,7	4,2
4	3P-E/34	6,5	3,1
5	3P-E/45	8,7	2,3
6	3P-E/56	7,2	2,8
7	4P-A/34	4,8	4,1
8	4P-A/45	5,8	3,5
9	4P-A/56	4,7	4,2
10	5P-E/34	6,5	3,1
PROMEDIO		6,0	3,5

- Losas: Colocación de acero

Tabla B.11. Indicadores para colocación de acero en losas.

MUESTRA	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	R	EI
#	-	min/m2	%	%	%	m2/HH	kg/HH	días/m2
1	N3-S1S2	4,4	94	84	3	2,0	27,7	0,007
2	N4-S1S2	4,4	93	88	3	2,0	18,9	0,007
3	N5-S1S2	4,4	89	93	3	2,0	23,4	0,007
4	N6-S1S2	4,6	87	92	4	1,9	26,6	0,007
5	N7-S1S2	4,8	94	85	2	1,8	17,3	0,007
6	N8-S1S2	4,6	100	88	3	1,9	22,1	0,007
7	N9-S1S2	4,4	96	88	2	2,0	27,7	0,007
8	N10-S1S2	4,4	89	90	3	2,0	18,9	0,007
9	N11-S1S2	4,4	87	85	2	2,0	23,4	0,007
10	N12-S1S2	4,9	86	94	2	1,8	25,6	0,007
PROMEDIO		4,5	91	89	3	1,9	23,2	0,007
MAX.		4,9	100	94	4	2,0	27,7	0,007
MIN.		4,4	86	84	2	1,8	17,3	0,007

- Losas: Encofrado de fondo de losa

Tabla B.12. Indicadores para encofrado de fondo de losas.

MUESTRA	ID	D	ILC	PTE	PTP	R	EI	CM
#	-	min/m ²	%	%	%	m ² /HH	días/m ²	%
1	N3-S1S2	5,4	98	85	2	1,2	0,0	0,2
2	N4-S1S2	5,1	99	88	4	1,3	0,0	0,1
3	N5-S1S2	5,7	100	85	3	1,2	0,0	0,1
4	N6-S1S2	4,6	96	85	3	1,5	0,0	0,3
5	N7-S1S2	5,5	98	79	4	1,2	0,0	0,2
6	N8-S1S2	5,5	98	83	4	1,2	0,0	0,2
7	N9-S1S2	5,9	98	70	5	1,1	0,0	0,2
8	N10-S1S2	6,0	99	68	7	1,1	0,0	0,1
9	N11-S1S2	5,1	100	84	3	1,3	0,0	0,1
10	N12-S1S2	5,6	96	80	4	1,2	0,0	0,3
PROMEDIO		5,4	98	81	4	1,2	0,0	0,2
MAX.		6,0	100	88	7	1,5	0,0	0,3
MIN.		4,6	96	68	2	1,1	0,0	0,1

- Losas: Vaciado de concreto

Tabla B.13. Indicadores para vaciado de concreto en losas.

MUESTRA	ID	D	ILC	PT	PT	R	PC	PC	PE	PE
A	-	min/m ²	%	E	P	m ² /H	m ³ /m ²	%	L/m ²	%
#	-	2	%	%	%	H	2	%	2	%
1	N3-S1S2	1,6	91	78	10	5,3	0,02	9	0,30	25
2	N4-S1S2	1,3	90	77	10	6,4	0,02	9	0,31	31
3	N5-S1S2	2,0	90	84	8	4,3	0,02	10	0,20	32
4	N6-S1S2	1,4	90	84	12	6,2	0,00	1	0,51	16
5	N7-S1S2	1,4	92	78	8	6,1	0,01	4	0,36	24
6	N8-S1S2	1,5	91	84	10	5,7	0,01	8	0,38	20
7	N9-S1S2	1,7	90	85	10	5,0	0,01	5	0,24	30
8	N10-S1S2	1,7	92	90	5	4,9	0,02	9	0,27	26
9	N11-S1S2	1,8	93	84	6	4,9	0,01	5	0,24	31
10	N12-S1S2	1,7	91	88	8	5,2	0,01	6	0,29	26
PROMEDIO		1,6	91	83	9	5,4	0,01	7	0,31	26
MAX.		2,0	93	90	12	6,4	0,02	10	0,51	32
MIN.		1,3	90	77	5	4,3	0,00	1	0,20	16

- Losas: Colocación de instalaciones y recubrimientos

Tabla B.14. Indicadores para colocación de instalaciones y recubrimientos en losas.

MUESTRA	ID	D	R	EI
#	-	min/m ²	m ² /HH	días/m ²
1	N3-S1S2	3,4	14,3	0,0003
2	N4-S1S2	3,4	14,3	0,0003
3	N5-S1S2	3,5	14,2	0,0003
4	N6-S1S2	3,5	14,0	0,0003
5	N7-S1S2	3,5	14,0	0,0003
6	N8-S1S2	3,5	14,2	0,0003
7	N9-S1S2	3,6	13,8	0,0003
8	N10-S1S2	3,6	13,8	0,0003
9	N11-S1S2	3,5	14,2	0,0003
10	N12-S1S2	3,5	13,9	0,0003
PROMEDIO		3,5	14,1	0,0003

- Losas: Curado del concreto

Tabla B.15. Indicadores para curado de concreto en losas.

MUESTRA	ID	D	R
#	-	min/m ²	m ² /HH
1	N3-S1S2	0,4	74,4
2	N4-S1S2	0,4	74,4
3	N5-S1S2	0,4	73,8
4	N6-S1S2	0,4	73,8
5	N7-S1S2	0,4	73,8
6	N8-S1S2	0,4	73,8
7	N9-S1S2	0,4	73,8
8	N10-S1S2	0,4	73,8
9	N11-S1S2	0,4	73,8
10	N12-S1S2	0,4	72,4
PROMEDIO		0,4	73,8

- Pérdida de acero: Como se comentó anteriormente, la pérdida de acero alcanzó a los 5.24 m³ durante el periodo de observación en terreno. Para una densidad de 7800 Kg/m³ esto equivale a 40903 Kg de fierro instalado para el mismo periodo, por lo que se obtiene un 12% de pérdida de fierro general.

Tabla B.16. Pérdida de acero.

ELEMENTO	AVANCE	AVANCE	UND	CUANTÍA ACERO	ACERO COLOCADO	PF	PF	UND
	%	-	-	kg/m3	kg	kg	-	-
LOSAS	68	5644,64	m2	189,01	141285	16954	3	kg/m2
MUROS	62	1647,92	m2	115,87	22974	2757	1,67	kg/m2
COLUMNAS	61	745,2	ml	382,06	176596	21191	28,4	kg/ml

- Pérdida de madera: Los residuos de madera totales se cuantificaron en 70.6m3, o para una densidad de 500 Kg/m3 de 35300 Kg. Se estimó que un 73% de este residuo es atribuible a los elementos constructivos del edificio, que fueron el objetivo de medición.

Tabla B.17. Pérdida de madera por muros, losas y columnas.

ELEMENTO	CUANTÍA MADERA	AVANCE m2	MADERA m2	MADERA m3	PM kg/m2
LOSAS	10	4886,39	489	12	1,0
MUROS	9	2667,5	240	6	0,5
COLUMNAS	10	4158,5	416	10	0,8

El total de madera perdida atribuible a los elementos constructivos es de 51.5 m3 o 25769 Kg.

Líneas de Balance:

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

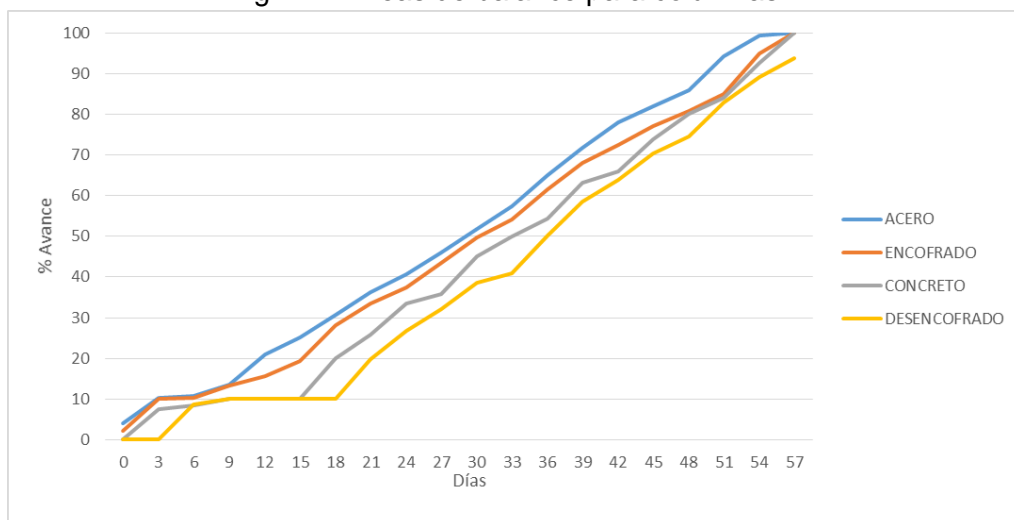


Tabla B.18. Inventario de Columnas.

Actividad	I (%)	I (ml)	σ (%)	cv (%)
ACERO	3,51	17	2,23	64%
ENCOFRADO	4,36	21	2,59	59%
CONCRETO	4,24	20	3,10	73%

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

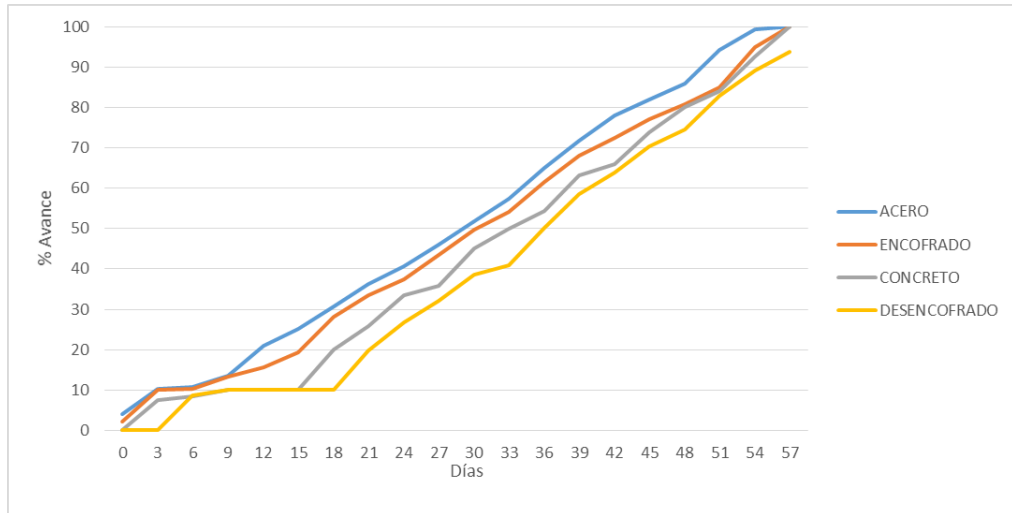


Tabla B.19. Inventario de Muros.

Actividad	I (%)	I (m2)	σ (%)	cv (%)
ACERO	3,51	53	2,23	64%
ENCOFRADO	4,36	66	2,59	59%
CONCRETO	4,24	64	3,10	73%

Fig. B.3. Líneas de balance para losas.

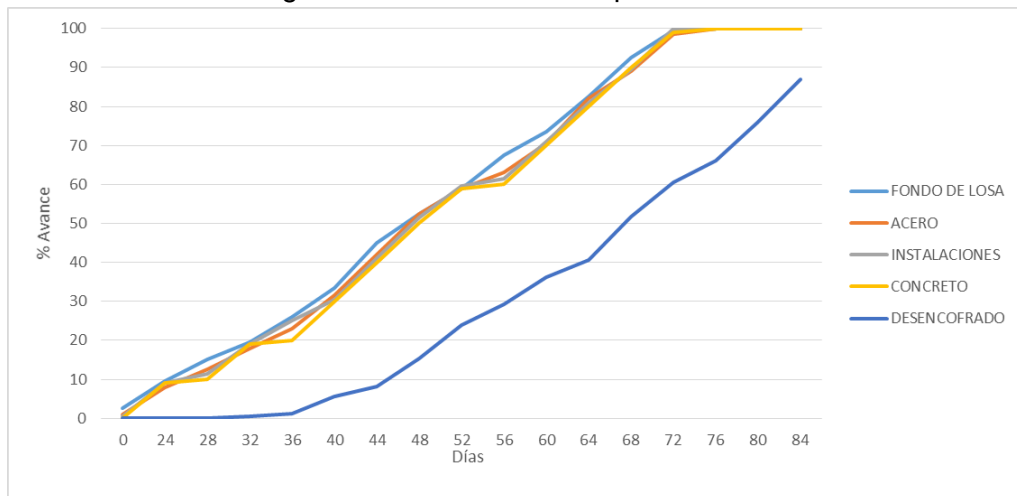


Tabla B.20. Inventario de Losas.

Actividad	I (%)	I (m2)	σ (%)	CV (%)
FONDO	1,62	48	1,44	89%
ACERO	0,82	24	0,56	68%
INSTALACIONES	0,85	25	1,23	145%
CONCRETO	25,50	753	12,04	47%

Tiempo de ciclo total y tiempo de valor agregado total:

Tabla B.21. TCT y TVA para columnas.

ACTIVIDAD	D	PTE	TET	I	EI
	mim/ml	%	min/ml	ml	hrs/ml
Acero	191,0	66,9	127,8	9,35	0,4
Recubrimiento	42,1	100,0	42,1	7,65	0,31
Encofrado	75,4	77,7	58,6	21	10,5
Concreto	40,4	60,1	24,3	20	2,8
Desencofrado	23,1	100,0	23,1	0	0
Subtotal (hrs/ml)	6,2		4,6		14,0
TVA (hrs/ml)	4,6				
TCT (hrs/ml)	20,2				
% PVA	23%				

Tabla B.22. TCT y TVA para muros.

ACTIVIDAD	D	PTE	TET	I	EI
	mim/m2	%	min/m2	m2	hrs/m2
Acero	60,5	74,5	45,1	14,31	0,01
Recubrimiento	5,7	100,0	5,7	38,69	0,02
Encofrado	15,9	75,6	12,0	66	0,06
Concreto	4,2	50,8	2,1	64	0,04
Desencofrado	6,0	100,0	6,0	0	0
Subtotal (hrs/m2)	1,5		1,2		0,1
TVA (hrs/m2)	1,2				
TCT (hrs/m2)	1,7				
% PVA	71%				

Tabla B.23. TCT y TVA para losas.

ACTIVIDAD	D	PTE	TET	I	EI
	mim/m2	%	min/m2	m2	min/m2
Fondo de losa	5,4	80,7	4,4	47,75	0,08
Acero	4,5	88,9	4,0	24,31	0,01
Instalaciones	3,5	100,0	3,5	25,18	0,3
Concreto	1,6	83,2	1,3	0	0
Curado	0,4	100,0	0,4	0	0
Subtotal (min/m2)	15,4		0,2		0,4
TVA (hrs/m2)	13,6				
TCT (hrs/m2)	15,8				
% PVA	86%				