

**Proceso para fortalecer el uso de  
Last Planner para el  
mejoramiento de procesos  
constructivos de SCALA.**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**  
**CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**Proceso para fortalecer el uso de Last Planner para el mejoramiento de procesos constructivos de SCALA**


Llevado a cabo por el estudiante:

Sandí Hering Sebastian

Carné: 2019056267

Proyecto de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el lunes 02 de octubre de 2023 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

 Firmado digitalmente por  
JOSE ANDRES ARAYA  
OBANDO (FIRMA)  
Fecha: 2023.10.02  
18:00:10 -06'00'

---

Dr. Ing. Andrés Araya Obando  
Director de la Escuela

MANUEL  
ANTONIO ALLAN  
ZUÑIGA (FIRMA) Firmado digitalmente por  
MANUEL ANTONIO  
ALLAN ZUÑIGA (FIRMA)  
Fecha: 2023.10.02  
10:17:48 -06'00'

---

Ing. Manuel Alán Zúñiga, MGP, MBA  
Profesor Guía

MILTON ANTONIO  
SANDOVAL  
QUIROS (FIRMA) Firmado digitalmente por  
MILTON ANTONIO  
SANDOVAL QUIROS (FIRMA)  
Fecha: 2023.10.02 09:27:46  
-06'00'

---

Ing Milton Sandoval Quirós MAE  
Profesor Lector

MIGUEL FRANCISCO  
ARTAVIA ALVARADO  
(FIRMA) Firmado digitalmente por  
MIGUEL FRANCISCO ARTAVIA  
ALVARADO (FIRMA)  
Fecha: 2023.10.02 11:14:17 -06'00'

---

Ing. Miguel Artavia Alvarado, MAP  
Profesor Observador

# Resumen

El presente trabajo consistió en el desarrollo de un proceso formal para el fortalecimiento del uso de Last Planner en la empresa SCALA, como metodología para planificar y controlar la ejecución de proyectos especializados en acabados. Por ende, se dividió en tres fases principales: la primera consistía en profundizar acerca de los lineamientos que establece la filosofía Lean de modo que se generara un informe diagnóstico comparando el accionar de la empresa en este tema con los conocimientos teóricos para poder identificar los puntos de mejora. La segunda fase consistió en la implementación de un plan piloto basado en los en dichos puntos, para subsanarlos y generar una planificación efectiva que redujera desperdicios en todos los ámbitos de la construcción. Finalmente, la tercera etapa consistió en registrar la productividad de la obra, partiendo de la premisa de que, con una apropiada planificación, el personal no tiene impedimentos para generar un trabajo productivo de acuerdo con las expectativas de la empresa.

Dentro de las principales conclusiones del trabajo, se determinó exitoso el plan piloto, lo cual permitió generar un instructivo para el apropiado uso de la metodología Lean Construction en la empresa. Asimismo, se presentan los resultados de tiempos productivos obtenidos que validan el logro del propósito del trabajo.

**Palabras clave:** Lean Construction, Last Planner System, planificación, control de ejecución.

# Abstract

The present work consisted in the development of a formal process for the fortification of the use of the Last Planner System in the construction company SCALA, as a methodology to plan and control the execution of projects with specialized finishes. Therefore, it was divided into three main phases: the first consisted of delving into the guidelines established by the Lean philosophy so that a diagnostic report could be generated comparing the company's actions on this subject with the theoretical knowledge in order to identify specific points of improvement. The second phase consisted of the execution of a pilot plan according to these points, to correct them and generate an effective planning that would reduce waste in all the ambits of the construction. Finally, as a validation method, the third stage consisted of recording the productivity of the workforce, based on the premise that, with proper planning, the staff has no impediments to generate productive work in accordance with the expectations of the company.

Among the main conclusions of the work, the pilot plan will be successfully developed, which helped generate a guide for the appropriate use of the Lean Construction methodology in the company. Likewise, the results of productive times obtained validated the accomplishment of this work's purpose.

**Keywords:** Lean Construction, Last Planner System, planning, execution control.

# **Proceso para fortalecer el uso de Last Planner para el mejoramiento de procesos constructivos de SCALA.**

SEBASTIÁN SANDÍ HERING

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Agosto del 2023

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Resumen ejecutivo .....	3
Introducción .....	5
Capítulo 1: Marco teórico .....	8
Capítulo 2: Marco metodológico.....	14
Capítulo 3: Resultados .....	31
Capítulo 4: Análisis de resultados .....	75
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones ..	81
Referencias bibliográficas .....	83
Apéndices .....	85



# Resumen ejecutivo

El presente trabajo consistió en el fortalecimiento del uso de Last Planner en la empresa SCALA, como metodología para planificar y controlar la ejecución de proyectos especializados en acabados. Para ello, se dividió en tres fases principales: la primera consistía en profundizar acerca de los lineamientos que establece la filosofía Lean y el Last Planner de modo que se generara un informe diagnóstico comparando el accionar de la empresa en este tema con los conocimientos teóricos para identificar los puntos de mejora. La segunda fase consistió en la implementación de un plan piloto basado en dichos puntos, para subsanarlos y generar una planificación efectiva que redujera desperdicios en todos los ámbitos de la construcción. Finalmente, como método de validación, la tercera etapa consistió en registrar la productividad de la obra, partiendo de la premisa de que, con una apropiada planificación, el personal no tiene impedimentos para generar un trabajo productivo de acuerdo con las expectativas de la empresa.

Previo a la ejecución de este proyecto, la empresa no contaba con instrumentos de medición con el alcance, o la capacidad de producir resultados que podrían generarse al implementar el Last Planner System. Es por ello que se identificó esto como una oportunidad de mejora para la empresa, de modo que se generarán instrumentos que sí alcancen los estándares de la empresa y produzcan los resultados esperados.

Por otra parte, la importancia que este proyecto representa para la Escuela de Ingeniería en Construcción corresponde a que demuestra que los temas impartidos en la carrera tienen relevancia genuina y actual en el mercado laboral y son capaces de hacer que inclusive empresas tan bien posicionadas y de renombre como SCALA mejoren sus condiciones al incorporar estos conocimientos. Los conocimientos básicos adquiridos acerca de Lean Construction y Last Planner durante la carrera constituyeron las bases para generar este proyecto y principalmente ayudaron a identificar esta oportunidad de mejora para la empresa.

Como parte de los objetivos que persiguió este trabajo, se buscó a nivel general fortalecer el uso del Last Planner para el mejoramiento de los procesos constructivos de SCALA. Esto se logró con objetivos específicos tales como un diagnóstico de los procedimientos anteriores de la empresa con relación a la planificación y control de la ejecución de la obra. Es aquí donde se determina que SCALA cuenta con ciertos elementos similares a aquellos propuestos por la filosofía, pues planifican sus proyectos con cronogramas generales y planes de tres semanas principalmente. Asimismo, se encontró en esta sección que los ingenieros de proyectos poseen cierto conocimiento de la filosofía Lean y por su parte, están dispuestos a continuar aprendiendo sobre ella e incorporarla en sus quehaceres diarios.

Una vez que se observó cómo la empresa llevaba a cabo las obras en materia de planificación, se procedió a confeccionar un análisis de brecha entre las mejoras prácticas de la filosofía según el diagnóstico del objetivo anterior para generar una propuesta de acciones de mejora, descrita más adelante. Este análisis dio como resultado principal las áreas carentes de la empresa con relación a la filosofía y al sistema Last Planner, por ejemplo, en cuanto a trazabilidad para evaluar lo planeado no se contaba con una herramienta pertinente, mientras que el LPS cuenta con el Plan Semanal de Evaluación. Asimismo, SCALA planificaba sus trabajos únicamente para la semana actual y dos venideras, mientras que el LPS sugiere considerar como mínimo la semana actual y tres futuras. Dentro de estos resultados se determinó que el análisis de restricciones también se omitía por parte de la empresa y que esto provocaba que estas se atendieran conforme se suscitaban; entre otros.

Basado en lo anterior, se desarrolló los procedimientos, técnicas y herramientas que conformaron la guía de implementación de la filosofía dentro de la empresa. Algunas de las acciones de mejora propuestas constituyen a la ejecución de un análisis semanal de restricciones para su apropiada resolución, también extender la cantidad de semanas planeadas en el Plan Intermedio como mínimo a cuatro semanas y la más importante, efectuar planes semanales de evaluación con el fin de obtener calificaciones objetivas con respecto a la calidad de la planeación y lo ejecutado en obra semana a semana. Estas acciones se aplicaron en un proyecto piloto con el nombre de Shockwave Medical y para la validación de los beneficios esperados se utilizó medidas de productividad del personal para verificar que su trabajo fuera lo más efectivo posible.

Para identificar como SCALA planificaba y controlaba sus proyectos, se generaron entrevistas a diversos ingenieros de la empresa, incluido el Gerente Técnico. También se les consultó por empresas de magnitudes similares en las que laboraron previamente para entender la situación del mercado y en qué posición se encontraba SCALA comparada con la competencia. Con la información recolectada fue posible generar un informe de brecha cualitativa entre las prácticas de SCALA y las establecidas por Lean Construction y Last Planner. Este paso fue fundamental, pues fue la base para establecer el plan piloto donde se buscó subsanar los puntos de mejora encontrados de la guía. Algunos de los puntos nuevos que se incorporaron a la metodología de SCALA correspondían a los análisis de restricciones, designaciones de responsables, planes de 4 semanas y planes semanales de evaluación.

Todos esos puntos fueron incorporados exitosamente dentro del proyecto piloto llevado a cabo en Shockwave Medical. Dicho proyecto demostró que era posible mejorar los métodos con los que SCALA planeaba sus proyectos durante su ejecución. Con el fin de verificar que se cumplió con el propósito del trabajo y además, verificar que el tiempo fuese lo aprovechado mediante los esfuerzos de planificación realizados, se obtuvieron mediciones de tiempo productivo mediante la técnica "Five Minutes Sampling", cuyos resultados estuvieron acorde con la métrica establecida para SCALA. En este ámbito, únicamente se incumplió con la métrica de tiempo improductivo, pues ninguna actividad fue capaz de llegar al resultado establecido por la empresa.

Basado en los resultados obtenidos, se concluyó que de incorporar Lean Construction tal y como se especifica en el instructivo generado para la empresa, los resultados en los proyectos podrían mejorar con creces al obtener planificaciones más acertadas mediante un sistema riguroso como el LPS, tal y como demostró el proyecto piloto y que respaldaron las mediciones de productividad. También se concluyó que las métricas de tiempo improductivo eran considerablemente inflexibles y se sugirió modificarlas ligeramente para que se apegaran a la realidad de la construcción.

# Introducción

El presente Trabajo Final de Graduación se desarrolló en SCALA, empresa fundada por EDICA Ltda. en el año 2015, con el fin de brindarles a los clientes una división especializada en acabados de máxima excelencia para oficinas, industria médica, tecnología y hospitalidad. De acuerdo con lo comentado con Marco Santos, Gerente de Proyectos Asociado de la empresa, esta cuenta con ciertas metodologías de control de productividad, sin embargo, actualmente buscan implementar la metodología LEAN Construction para el mejoramiento de sus procesos constructivos, principalmente debido a que sus proyectos abordan temas de construcción especializada, así como de amplia extensión. Esto debido a que la filosofía LEAN atiende un aumento de la productividad mediante la medición e implementación de diversas herramientas para procesos constructivos particulares.

Como se menciona anteriormente, la empresa cuenta con sistemas de medición y control de productividad. Sin embargo, estos sistemas no cuentan con el alcance, ni producen los resultados que podrían generarse al implementar la filosofía LEAN Construction mediante un fortalecimiento del uso del LPS. Por lo tanto, el problema consiste en que la empresa actualmente utiliza sistemas de medición y control de productividad que no generan los resultados deseados ni le permite alcanzar la capacidad total de la cual la empresa es capaz, contrario a que si se utilizara un sistema tan integral y eficiente como LPS completo para dicho fin. Este problema actual implica un desaprovechamiento parcial de los recursos y el potencial que puede llegar a ofrecer la empresa si se subsanase esta situación.

Asimismo, la oportunidad que aborda el presente proyecto consiste en fortalecer el uso de la herramienta Last Planner. Lo anterior debido a que, de acuerdo con Díaz, Rivera y Guerra (2014), el objetivo de LEAN Construction es crear mejores sistemas de producción, que permitan la optimización, reducción o eliminación de flujos, para mejorar tiempos de entrega, así como para disminuir los desperdicios durante el proceso productivo. Por lo tanto, los efectos que justifican la necesidad de la implementación de la presente guía corresponden a una búsqueda en la mejora continua de los procesos productivos de la empresa, de tal forma que lo que se busca como resultado de esta es un aumento en las utilidades de la empresa, mediante menores desperdicios, así como una mejoría en los tiempos de entrega, mediante un aumento en la productividad de los procesos de la construcción.

Con relación a la justificación de la elaboración de la presente guía de procedimientos para el fortalecimiento del uso del Last Planner, se pretende hacer uso de las múltiples herramientas que componen la filosofía, tales como la planeación colaborativa entre las partes, así como el uso del sistema Last Planner. Asimismo, la intención de la guía consiste en fabricar machotes de la herramienta, que puedan ser reproducidos en proyectos venideros de la empresa. Adicionalmente, dentro de los beneficios destacables del presente proyecto, resalta el beneficio económico al disminuir los desperdicios, lo que se traduce en un aumento de la utilidad. También se destaca el beneficio social, pues mediante un aumento de la productividad y el evitar los reprocesos, por ejemplo, se logrará mejores tiempos de entrega en los proyectos. Por último, al reducir los desperdicios de materiales, mediante la eliminación de la sobreproducción, se espera obtener beneficios ambientales, pues disminuirán los desechos de la construcción.

Como respaldo a lo estipulado anteriormente, es necesario identificar casos en donde proyectos constructivos se hayan visto altamente beneficiados por la implementación de la filosofía LEAN. Tal es el caso de Picado Marchena (2015), quien elaboró su Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción titulado como “Aplicación de la filosofía LEAN en la construcción del centro comercial Zona Centro”. En dicho proyecto se concluye que la empresa con la que se trabajó mejoró sus resultados durante la ejecución de los proyectos una vez implementadas las herramientas de control de planeación y productividad de la mano de obra, como “Last Planner”, por ejemplo.

Adicionalmente, Alpízar Ávalos (2017) concluye en su trabajo, “Aplicación de Lean Construction a través de la metodología Last Planner a proyectos de vivienda social de FUPROVI”, que parte de la importancia y la eficacia de dichas herramientas se centra en gran parte en la capacidad de seguimiento de las capacitaciones para los profesionales involucrados en el proceso constructivo, así como en las reuniones semanales para la evaluación de resultados y planificación de las distintas partes. Por último, con relación al tema y en materia internacional, específicamente Colombia, Botero Botero y Álvarez Villa (2004), mediante su trabajo “Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento)”, determinan que la implementación del sistema de planificación y control “Last Planner” aumenta la confiabilidad del sistema de planificación de las empresas que lo utilizan. Por lo tanto, se reitera que el problema u oportunidad que atiende el presente proyecto es la de maximizar las utilidades de la empresa SCALA, mediante una disminución de desperdicios y un aumento de la productividad, al implementar la presente filosofía.

## Objetivos

Los siguientes fueron los objetivos del trabajo efectuado.

### Objetivo general

- Desarrollar una propuesta para fortalecer el uso de Last Planner para el mejoramiento de procesos constructivos de SCALA.

### Objetivos específicos

- Diagnosticar los procedimientos actuales de la empresa con relación a la planificación y control de la ejecución de la obra.
- Realizar un análisis de brecha entre las mejoras prácticas de la filosofía según el diagnóstico del objetivo anterior para la propuesta de las acciones de mejora.
- Desarrollar los procedimientos, técnicas y herramientas que van a conformar el proceso de implementación de la filosofía.
- Aplicar las acciones de mejora incluidas en la guía de implementación en un proyecto piloto para la validación de los beneficios esperados.

## Alcance y Limitaciones

Dentro de la empresa SCALA, el alcance de este trabajo abarca únicamente aquellas tareas comprendidas dentro de la planeación y control de ejecución de los procesos constructivos. Por lo tanto, para el análisis de la brecha cualitativa, al momento de comparar a la empresa contra lo estipulado por la filosofía Lean Construction y la herramienta Last Planner, así como con otras empresas, meramente se hizo bajo este alcance establecido, sin incluir ningún otro ámbito administrativo o financiero que pudiera de los procesos involucrados. Además, se limitó a materia principalmente de cronograma de obra y su control.

Además, el plan piloto se apegó al alcance mencionado. El alcance se limita a generar una guía de procedimiento pertinentes a la metodología según las brechas identificadas del primer y segundo objetivo específico. Por último, el alcance del cuarto objetivo específico contempla mediciones de productividad para

determinar los tiempos productivos en las tres tareas altamente representativas del proyecto donde se implementó el plan piloto. No incluye rendimientos de ningún tipo, pues dicha métrica se sale del interés del estudio de este proyecto.

La principal limitación de este proyecto consistió en la complejidad y requerimientos de tiempo necesarios para poder apegarse a lo establecido por la teoría. Aplicar lo indicado por la filosofía y la herramienta de manera estricta involucra una cantidad sustancial de tiempo y considerando la magnitud de trabajo que realiza un ingeniero de SCALA, fue altamente complejo dedicarle el tiempo requerido semana a semana. De ahí parte la recomendación efectuada al final del trabajo que sugiere implementar a un ingeniero completamente encargado de la parte Lean en los proyectos.

## Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios, pues ha tenido la bondad y misericordia de dotarme con las cualidades necesarias para llegar hasta este punto. Entiendo que con Él velando sobre mí es posible alcanzar cualquier objetivo propuesto, y en su proclamo que así será.

Asimismo, agradezco profundamente a mis padres, Ethel Hering Alfaro y Jorge Sandí Bogantes, pues he recibido su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida. Gracias por criarme con el carácter y la disciplina suficiente para poder culminar mi licenciatura en tan solo cuatro años y medio. Esto se los atribuyo a ustedes, quienes han velado porque no me falte nada para mis estudios y formación. Ethel, gracias especiales por la cantidad de tiempo que has invertido en mí. Natación, trompeta de la Sinfónica Nacional, Jiu Jitsu brasileño, inglés avanzado y alemán del Instituto Goethe son algunas de las muchas habilidades que adquirí gracias a tu paciencia y dedicación conmigo. Es por eso por lo que siempre te voy a amar, mamá.

En mi vida universitaria agradezco a dos personas sumamente especiales. Leonardo Lobo fue uno de los primeros amigos que hice en la universidad y fue un apoyo indescriptible para culminar la carrera. Prácticamente llevamos todos los cursos de carrera juntos y no podría haber pedido un mejor compañero. Es una persona de enormes capacidades intelectuales y aún mayores valores morales. Estoy seguro de que llegará hasta donde se lo proponga y aún más lejos. Siempre vas a tener mi apoyo y mis mejores deseos.

La segunda persona es mi novia, Pamela Duarte. Pamela ha demostrado ser la persona más dedicada, especial, amorosa y atenta que he conocido. Además de ser un apoyo gigantesco dentro de mi vida universitaria, lo fuiste aún más a nivel emocional en mi vida. Siempre disfruté de la universidad, pero en el momento en que empezamos nuestra relación, todo se volvió mil veces mejor. Te admiro profundamente y nada me alegra más que compartir este logro contigo. Te amo y en manos de Dios pongo esta relación para que, al igual que nuestras carreras, sea lo más fructífera y duradera.

En el ámbito laboral no tengo palabras suficientes para agradecer a Marcela Amén. Durante mi etapa en SCALA, ha sido la persona de quien más he aprendido y a quien más he llegado a admirar. Agradezco que cada vez que tengo una pregunta se tome el tiempo de explicarme hasta con dibujos con el fin de que me quede lo más claro posible. Marcela, más que una jefa, es una líder a quien gustosamente espero poder seguir durante mi tiempo en esta empresa. Gracias por ser una persona tan motivante y agradable. Shockwave ha sido la mejor experiencia de toda mi carrera y definitivamente es atribuible a un equipo de trabajo sinigual.

# Capítulo 1: Marco teórico

El presente capítulo pretende desarrollar los conceptos necesarios para la comprensión por parte del lector con respecto al tema en estudio del actual proyecto.

## Lean Construction

De acuerdo con Orihuela (2011), Lean Construction constituye una forma de producción relativamente reciente que pretende minimizar desperdicios de los recursos utilizados en los proyectos de construcción. Esto lo efectúa mediante una apropiada gestión y organización de los recursos para optimizarlos lo máximo posible a la hora de construir un proyecto.

Algunos de los recursos contemplados por Lean Construction son los equipos y herramientas; los materiales y la mano de obra o recurso humano. Lo innovador de esta filosofía corresponde a su consideración de las personas como un recurso y cómo este es utilizado y administrado, pues una parte sustancial de los presupuestos constructivos va dirigido a pago de mano de obra, por lo que un uso apropiado de este es vital a la hora de construir con la menor cantidad de desperdicios posibles.

## Ventajas

Díaz, Rivera y Guerra (2014) establecen que dentro de las ventajas de esta filosofía se incluyen un incremento de las utilidades de la empresa, mediante un mejor manejo de los recursos, mejora en los tiempos de entrega a través de la disminución de los reprocesos. Adicionalmente, se destaca una mejor planeación y comunicación en los proyectos debido a las múltiples herramientas con las que cuenta la filosofía, las cuales permiten identificar restricciones para las actividades constructivas previas a su ejecución, lo cual permite tomar acciones correctivas en tiempos apropiados para liberarlas.

## Planeación de proyectos de construcción

Picado Marchena (2015) definió la planeación en su Proyecto Final de Graduación como la determinación anticipada de las actividades por realizar mediante la definición de objetivos, procedimientos, restricciones e imprevistos. Su fin es lograr satisfactoriamente un objetivo en específico con los recursos y tiempo disponibles.

Esta herramienta es fundamental cuando se trata de construir, pues incorpora todos los recursos y conocimientos a disposición del ingeniero para que el proceso

constructivo sea lo más eficiente posible. Una correcta planeación, disminuye el riesgo de retrasos por falta de materiales, restricciones, imprevistos y cualquier otro factor que perjudique la construcción. Adicionalmente, planear apropiadamente involucra un ahorro de dinero considerable, debido al aprovechamiento mencionado anteriormente.

Una planeación adecuada requiere de varios análisis multifactoriales, así como de una amplia experiencia para ser capaz de contemplar la mayor cantidad de necesidades posibles. Por lo tanto, es primordial conocer las tareas y recursos específicos que componen los procesos de una construcción, así como deben ser gestionados de la mejor manera posible. Es por ello que resulta de gran importancia definir los recursos que componen a una construcción, de acuerdo con lo establecido por Rojas Chacón (2022):

- **Mano de obra o Recurso humano:** constituido por todas las personas participantes en la construcción, desde la etapa de planeación hasta su materialización tangible.
- **Materiales o materia prima:** insumos físicos suficientes, al mejor precio, en el momento oportuno y con los requerimientos necesarios para la construcción.
- **Maquinaria y equipo:** instrumentos usados de acuerdo con el tipo y frecuencia requerido por proyecto. Se manejan por medio de arriendo, leasing o compra.

A pesar de clasificarse en categorías distintas, es primordial entender la interrelación entre estos tres recursos, pues los tres hacen uso de sí mutuamente durante todas las etapas del proceso constructivo. El recurso humano requiere de maquinaria, equipo y materiales para poder efectuar su labor de manera oportuna, así como también, de manera viceversa, se requiere del recurso humano para transformar estos materiales y el trabajo de los equipos en un producto tangible.

Por lo tanto, alcanzar un apropiado equilibrio entre estos tres recursos implica su utilización de la forma más productiva posible. Un ejemplo de un desbalance perjudicial para una construcción constituiría a un exceso de material en un proyecto, pero poca mano de obra para utilizarlo. Este material se apilaría y quitaría espacio disponible dentro de la obra, mientras que el recurso humano no daría abasto para hacer uso total del mismo.

Es por ello por lo que Picado Marchena (2015) enlista los principales factores que pueden afectar al proceso constructivo, en caso de que la planeación resulte insuficiente:

- **Órdenes de cambio:** Cambios o variantes por parte del cliente que no son contemplables durante la etapa de planeación inicial del proyecto. Estas pueden generar incidencias tanto en el plazo de la obra como en su costo. Por lo tanto, requerirá de una minuciosa planeación para mitigar sus efectos, principalmente a nivel contractual, pero también en otros aspectos del proyecto.
- **Proveedores:** Los proveedores pueden presentar múltiples inconvenientes, como largos plazos de entrega para un material o altos costos. Es importante realizar un estudio de proveedores disponibles con el fin de determinar cuáles características del producto, costos y plazos de entrega se ajustan mejor de acuerdo con las necesidades específicas del proyecto.
- **Imprevistos:** Constituye a todos los eventos que no pudieron ser contemplados durante la etapa de planeación. Un ejemplo de ello podría ser el retraso de un pedido de acero debido a que el camión del proveedor sufrió un desperfecto. La cantidad de imprevistos que se pueden dar dentro de una construcción es enorme, por lo que se recomienda manejar tiempos de holgura en las tareas y también considerar un monto destinado a ellos dentro del presupuesto, con el fin de mitigar sus consecuencias.
- **Aspectos sociales:** Estos aspectos constituyen las consideraciones necesarias que se deben contemplar con relación a las consecuencias que un determinado proyecto pueda tener a nivel del social y ambiental. Por ejemplo, el apropiado desecho de los residuos o también la afectación vehicular que pueda generar un proyecto en una zona de alto tránsito. Por lo tanto, esto debe tratarse con cautela para evitar detener la obra por incumplimiento de alguna normativa vigente o queja relacionada a este tema.
- **Retrabajos:** Factor ligado a la calidad de una tarea en particular, o bien, la coordinación que se dé previo a esta tarea. Involucra la necesidad de repetir una tarea debido a un problema encontrado en el producto de esta. Esto implica invertir una mayor cantidad de recursos para una misma tarea, afectando plazos y presupuestos.

## Last Planner System

Rojas Quesada (2021) define el Last Planner System como una metodología de programación, seguimiento y control de proyecto, cuyo foco principal es la ejecución de la obra, además de contar con componentes de planificación inicial. Esta herramienta presenta un amplio alcance y puede ser utilizada no solo en el control

de plazos de la obra, sino que su utilidad puede ser extrapolada hacia el control de productividad, costos y demás elementos de la construcción.

Entre las principales ventajas de esta metodología se encuentra que presenta una Planificación Maestra o Plan Maestro, el cual es tan detallado como el programador sea capaz de efectuarlo y se procura que sea lo más adaptado a la realidad posible; comprende una gestión de restricciones para un mejor cumplimiento del cronograma, mayor involucramiento y consciencia de proyecto por parte de los participantes; además, busca el desarrollo de una cultura de planificación para la identificación y resolución anticipada de restricciones y cumplimiento de plazos establecidos mediante todas las ventajas anteriores.

Asimismo, al ser una herramienta tan completa, el LPS se compone de múltiples elementos cuyo fin es dar seguimiento y asegurar un apropiado control de la obra (Gutiérrez, 2021).

## Plan Maestro

Fase de planificación previo al inicio de la obra, donde se identifican las actividades y tareas de cada proceso constructivo. Se debe incluir fecha de inicio y finalización de la obra. Rubio y Pons (2019) indican que debe contener los siguientes elementos:

- Definición del alcance
- Análisis de partes interesadas
- Definición de la estructura de desglose del trabajo
- Análisis de riesgos
- Identificación de hitos y recursos críticos

## Planificación intermedia (*Look Ahead*)

Se refiere al estudio de las actividades de acuerdo con el plan maestro actualizado. Procura que las actividades inicien según el periodo previsto. Involucra una amplitud de estudio que contempla entre 4 y 12 semanas, mas no debe variar a lo largo del proyecto. Para efectos del presente proyecto, se pretende utilizar un periodo de 4 semanas.

Adicionalmente, contempla un estudio de restricciones, cuyo fin es liberarlas al momento del inicio de la actividad. Por ende, su principal fin es aterrizar las actividades que realmente son ejecutables dentro del período propuesto. Debido a que el producto más importante son las restricciones para cada actividad, es primordial que su análisis se haga con conocimiento y experiencia, además de ser discutido con todas las partes involucradas. Para ello, se recomienda entregar una impresión del *Look Ahead* a cada involucrado directo. Una vez que la mayoría de las restricciones se encuentren liberadas, se podrá obtener el inventario de trabajo ejecutable (Gutiérrez, 2021).

## Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE)

Constituye una diferenciación entre las tareas que se deben realizar, según el Plan Maestro, y aquellas que se pueden realizar. La principal diferencia entre estas dos constituye las restricciones persistentes después de ejecutar el *Look Ahead*. Gutiérrez (2021) indica que durante esta etapa se crea un inventario que clasifica las tareas en tres diferentes tiempos:

- Actividades con restricciones liberadas que pertenecen al ITE de la semana en curso que no pudieron ser ejecutadas
- Actividades con restricciones liberadas que pertenecen a la primera semana futura que se desea planificar

- Actividades con restricciones liberadas con dos o más semanas futuras (situación ideal del planificador)

## Plan Semanal

Alpizar Ávalos (2017) expone que el plan semanal consiste en la definición de las actividades que se realizarán la semana entrante, basándose en los objetivos cumplidos de la planificación semanal finalizada o previa; compuesta por lo proyectado en la programación intermedia, el ITE y restricciones existentes. En esta sección se deberá involucrar desde el gerente de proyectos, hasta los maestros de obra y bodegueros.

Adicionalmente, se recomienda establecer una reunión semanal con las partes involucradas, ya sea al final o al inicio de la semana. En esta reunión, se analizará los objetivos incumplidos en la semana anterior, así como las causas de no cumplimiento.

Posteriormente, con base en el análisis anterior, se efectúa la planificación de la semana entrante con las tareas que se deben y serán ejecutadas. Su principal ventaja y propósito es el ataque sistemático a las causas de no cumplimiento. Esto genera un proceso iterativo cuyo producto es una constante retroalimentación para subsanar debilidades.

## Porcentaje de Actividades Completadas (PAC)

Porras et al. (2014) indican que el propósito del PAC es conocer porcentualmente cuál fue el número de actividades programadas que realmente fueron ejecutadas. Por lo tanto, su propósito es dar a conocer la efectividad de la planificación semanal. En otras palabras, es una herramienta de trazabilidad para la planificación efectuada. Para determinarlo, se debe utilizar la siguiente ecuación

$$PAC = \frac{\# \text{ act ejecutadas}}{\# \text{ act programadas}} * 100 \text{ (ecuación 1)}$$

Como parámetros para determinar la calidad del PAC, Botero Botero y Álvarez Villa (2004) determinaron que un desempeño aceptable era aquel igual o superior al 80 %, mientras que uno pobre era aquel inferior al 60 %. Por otro lado, Alpizar Ávalos (2017) expone que el PAC mínimo debe ser de un 70 % y el recomendado por encima de 90 %.

## Causas de No Cumplimiento (CNC)

Las causas de no cumplimiento corresponden a aquellas restricciones que generaron un incumplimiento del PAC (Alpizar, 2017). Su objetivo es dar a conocer estadísticamente las razones por las cuales no se completaron los trabajos, con el fin de tomar medidas correctivas de urgencia. Entre las CNC más comunes y de mayor peso en la construcción se encuentran:

- Daño de equipo
- Falta de material
- Afectación del clima
- Mala ejecución
- Falta de mano de obra
- Accidentes laborales

- Mal despacho de materiales

# Productividad

Picado Marchena (2015) define la productividad como “la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción y los recursos utilizados para obtenerlo”. Tal y como se ha mencionado en reiteradas ocasiones dentro de este mismo trabajo, los recursos contemplan mano de obra, materiales, equipo y hasta el capital, entre otros varios más.

Dentro de la construcción, el tema de productividad resulta altamente delicado, pues esta industria es una con los más altos desperdicios de recursos. Por lo tanto, controlar la productividad y determinar maneras de mejorarla, resulta fundamental para la filosofía Lean Construction.

Figura 1. Relación entre eficiencia, efectividad y productividad.

UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS		
Pobre	Alta	
<b>EFFECTIVO PERO INEFICIENTE</b>	<b>EFFECTIVO Y EFICIENTE <u>ÁREA DE ALTA PRODUCTIVIDAD</u></b>	Alto
<b>INEFFECTIVO E INEFICIENTE</b>	<b>EFICIENTE PERO INEFFECTIVO</b>	Bajo
		<b>OBTENCIÓN DE LAS METAS</b>

Fuente: Botero Botero y Álvarez Villa, 2004.

## Medidas de productividad

De acuerdo con Botero Botero y Álvarez Villa (2004), existen tres tipos de tiempos productivos. El primero es el Tiempo productivo (TP), que constituye al tiempo utilizado para las actividades que aportan valor directo al proyecto. El segundo es el Tiempo Contributivo (TC), que es aquel en donde se realizan labores de soporte necesarios para efectuar el TP. Por último, se tiene el Tiempo No Contributivo (TNC), que constituye a pérdidas de tiempo o actividades que no agregan valor a la obra.

De acuerdo con la información suministrada por SCALA, existen porcentajes de valores categorizados como aceptables para cada uno de los tiempos de productividad, los cuales se estipulan en el Cuadro 1. Por otro lado, en el cuadro 2 se estipulan valores que, de acuerdo con Picado Marchena (2015), son valores meta para la empresa EDIFICAR, cuya magnitud de proyectos se asemeja considerablemente a aquellos desarrollados por SCALA, por lo cual se considera un parámetro apto de comparación.

**Cuadro 1.** Valores meta para los tiempos productivos de SCALA y contratistas.

Clasificación	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo
Valor meta	70 %	25 %	5 %

Fuente: Autoría propia, adaptado de los valores meta de SCALA.

**Cuadro 2.** Valores meta promedio para los tiempos productivos en construcción.

Clasificación	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo No Contributivo
Valor meta	60 %	25 %	15 %

Fuente: Esquivel, 2015, como se citó en Picado Marchena, 2015.

## Five Minutes Rating

Corresponde a una técnica efectiva para valorar el trabajo específico de una cuadrilla que se encuentra realizando una tarea determinada. Se basa en observaciones obtenidas directamente de campo, en las cuales se clasifica el tipo de tiempo, mencionados anteriormente, que invierten las cuadrillas durante intervalos de cinco minutos. Por recomendación general de la técnica, se considera prudente un mínimo de 72 mediciones de 5 minutos, para un total de 6 horas por tarea. Mediante esta técnica se logra medir apropiadamente los porcentajes de tiempos productivos que presentan las cuadrillas en la construcción (Mahendra Sutar, 2009, como se citó en Picado Marchena, 2015).

## Factores que afectan la productividad

Semejante a lo que sucede con el Last Planner System, ciertas restricciones tienen un impacto directo sobre las tareas o bien, sobre los tiempos productivos. A pesar de ser muy similares, es importante establecer cuáles factores afectan específicamente la productividad en una obra (Botero Botero y Álvarez Villa, 2004):

- **Accidentes:** Eventos inesperados que afectan la ejecución de la obra y pueden presentar repercusiones en la salud de los involucrados o daños a la obra. Normalmente producen una detención en la ejecución de las tareas y acarrear consigo costos monetarios.
- **Falta de información o inexperiencia:** Mala comunicación o falta de experiencia provoca que los trabajos no se realicen con la calidad necesaria, por lo que a menudo implican retrabajos.
- **Falta de materiales:** Produce el cese de las actividades pertinentes debido a falta de insumos transformables para el producto final. Produce retrasos en el cronograma.
- **Tiempo del día:** El tiempo del día juega un rol importante en la productividad, pues el cansancio y la fatiga disminuyen el rendimiento del recurso humano. Es por ello por lo que se puede observar un mejor desempeño en horas de la mañana que a las horas cercanas a la salida.

# Capítulo 2: Marco metodológico

El presente capítulo abarca el tipo de investigación que se realiza para la ejecución del proyecto en desarrollo. Seguidamente, aborda los sujetos y fuentes de información, donde se detalla las fuentes primarias y secundarias, así como la población de estudio. Finalmente, se muestran las técnicas de recopilación de información, así como el uso de su instrumentación respectiva.

## Tipos de investigación

El elemento fundamental de la investigación es la objetividad y la obtención de datos y resultados que se ajusten de manera apropiada a la realidad. Este es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un problema (Hernández Sampieri et al., 2018).

El enfoque de la investigación determinará el tipo que se requiere emplear. Entre los tipos de investigación existe la práctica, cuantitativa, cualitativa, descriptiva, experimental y correlacional. Para este proyecto, se utilizará la investigación práctica, cualitativa y descriptiva, sobre las cuales se desarrollará más a continuación.

## Investigación aplicada

De acuerdo con Vargas Cordero (2009), la investigación aplicada pretende resolver problemas. Por lo tanto, este será el propósito de investigación del presente trabajo, pues es precisamente lo que tiene como fin; dar la solución a un problema práctico asociado a la administración y planificación de proyectos constructivos a partir de los conocimientos adquiridos.

Otro aspecto relevante de este tipo de investigación es que es aplicable en diagnósticos, lo que constituye uno de los objetivos del presente trabajo. Además, responden con propuestas relacionadas a la producción, tales como la definición de lineamientos y reglas, lo cual también es otra meta.

## Investigación cuantitativa

Hernández Sampieri et al. (2018) mencionan que, en la investigación cuantitativa, el investigador plantea un problema de estudio delimitado y concreto. Una vez delimitado dicho problema, se procede a revisar la literatura respecto al tema y efectuar el marco teórico, lo cual es precisamente lo que se ha efectuado para este caso. Adicionalmente, este trabajo dependerá de los datos obtenidos producto de las mediciones realizadas, los cuales serán analizados con múltiples métodos estadísticos; esta característica también es propia de la investigación cuantitativa.

Debido a que este proyecto cumple las características principales de una investigación cuantitativa, se procede a clasificar de esa manera como su enfoque principal. Basándose en esto, los resultados esperados serán presentados en tablas y figuras que harán relaciones de variables; mientras que el reporte de estos será de carácter objetivo y sin tendencias.

## Investigación experimental

El primer requisito es la manipulación intencional de una o más variables independientes. Además, esta investigación se basa en el involucramiento del investigador (Hernández Sampieri et al., 2018). Para este proyecto, donde se propone un plan piloto que pretende cambiar la logística actual de planificación y control de productividad de la empresa, la investigación experimental se ajusta apropiadamente a dicho fin.

La variable que se busca manipular es la forma de planificar los proyectos, con el propósito de comparar si la hipótesis que afirma que Lean Construction tendrá un impacto positivo dentro de SCALA se comprueba. Adicionalmente, este experimento será llevado a cabo semana a semana para el seguimiento de este.

## Sujetos y fuentes de información

La presente sección muestra las fuentes, tanto primarias como secundarias, así como los sujetos mediante los cuales se recolectará toda la información necesaria para la ejecución del proyecto. Cabe destacar que las fuentes de información empleadas, tanto primarias como secundarias, serán aplicables a cada uno de los objetivos.

### Sujetos de información

Los sujetos de información se refieren a individuos, organizaciones o entidades que son el objeto de análisis o que suministran datos en un estudio o investigación. En el ámbito de la investigación científica, los sujetos de información pueden ser participantes en experimentos, entrevistados, entrevistados, expertos en un tema o incluso documentos o registros (Hernández Sampieri et al., 2018). Los sujetos de información utilizados en este proyecto serán:

**Cuadro 3.** Sujetos de información.

Sujeto de información	Puesto en la empresa	Información que proporciona
Ing. Silvia Barahona	Ingeniera residente	Métodos de planeación y control de ejecución de la empresa, disposición para integrar Lean Construction dentro de SCALA y conocimiento respecto al tema. Adicionalmente, se hace uso de su experiencia en otras empresas para entender la posición de SCALA respecto a otras empresas del mercado con relación a Lean Construction.
Ing. Marco Santos	Gerente técnico	Métodos de planeación y control de ejecución de la empresa, disposición para integrar Lean Construction dentro de SCALA y conocimiento respecto al tema. Información general de la empresa, así como trayectoria. Adicionalmente, se hace uso de su experiencia en otras empresas para entender la posición de SCALA respecto a otras empresas del mercado con relación a Lean Construction.
Ing. Wándal Chacón	Ingeniero residente	Métodos de planeación y control de ejecución de la empresa, disposición para integrar Lean Construction dentro de SCALA y conocimiento respecto al tema. Adicionalmente, se hace uso de su experiencia en otras empresas para entender la posición de SCALA respecto a otras empresas del mercado con relación a Lean Construction.

## Fuentes primarias

Hernández Sampieri et al. (2018) definen las fuentes primarias de información como fuentes de primera mano para la obtención de datos. Ejemplos de estos documentos corresponden a los libros, artículos, revistas, monografías, tesis, disertaciones, documentos oficiales, reportes de asociaciones, trabajos presentados en conferencias o seminarios, testimonios de expertos, páginas web, artículos en línea y otros.

Para este trabajo, las fuentes primarias de información que se utilizarán serán:

- Tesis e investigaciones académicas del tema de planificación de “Lean Construction”. Algunas de los principales fuentes en esta tipo corresponden a:
  - Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción escrito por Días, Rivera y Guerra.

- Metodología para la aplicación de Last Planner System desarrollada por Gutiérrez para el Tecnológico de Costa Rica.
- Lean Construction en el Perú elaborado por Orihuela.
- Testimonios de ingenieros involucrados en el proceso constructivo. Para este trabajo, los testimonios se toman de los sujetos de información mencionados en el Cuadro 3; Marco Santos, Silvia Barahona y Wándal Chacón.

## Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias de información son aquellas que proporcionan una interpretación o análisis de la información ya existente en fuentes primarias. Ejemplos de fuentes secundarias son los libros de texto, los artículos de revisión y los informes de investigación que se basan en datos previamente publicados (Coll Morales, 2022).

Para este trabajo, las fuentes secundarias de información que se utilizarán serán Trabajos Finales de Graduación cuyo fin fue generar guías de implementación de Lean Construction o Last Planner System en distintas empresas. Ejemplo de las fuentes secundarias de este trabajo son:

- Aplicación de Lean Construction a través de la metodología Last Planner a proyectos de vivienda social de FUPROVI elaborado por Alpízar Ávalos.
- Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento) escrito por Botero Botero.
- Metodología de planificación basada en la filosofía “Last Planner” en la empresa CIVIL Desarrollo e Ingeniería de Rojas Quesada.

## Técnicas e instrumentos de recolección de información y datos

Se procede a definir las técnicas para la recolección y análisis de la información requerida, basándose en las fuentes y los sujetos de información seleccionados. Se procede a desarrollar el concepto de cada una de ellas.

### Revisión documental

Según Franco (2019), la revisión documental es una técnica de investigación que permite recopilar información sobre un tema específico a partir de fuentes documentales. Este autor destaca que esta técnica es útil para la obtención de información ya existente, para conocer el estado del arte de un tema, para identificar las principales tendencias y enfoques teóricos y para establecer comparaciones y contrastes entre diferentes estudios.

Para efectos de la presente investigación, se contemplará como pertinente cualquier fuente primaria y secundaria, tales como libros escritos por expertos y tesis de graduación que traten los temas de “Lean Construction”, “Last Planner System” y productividad; aplicados dentro de proyectos constructivos. Lo anterior con el propósito de satisfacer el sustento teórico que demandan los objetivos del actual trabajo. Así mismo, se consideran pertinentes todos aquellos insumos de la empresa que contribuyen a entender el estado de la empresa con relación a las prácticas de la filosofía, tales como herramientas de planificación, instrumentos

para el control de obra y demás documentos. Un ejemplo de esto es la revisión de los Planes de 3 Semanas de la empresa para la ejecución de los proyectos o los programas generales de trabajos ejecutados durante la planeación de estos.

## Observaciones

La observación es una técnica útil para obtener datos que no pueden ser obtenidos mediante otras técnicas, para verificar la validez de otras fuentes de información y para obtener información detallada sobre los procesos sociales (Hernández Sampieri et al., 2014).

Para el presente proyecto, la observación será de gran utilidad para diagnosticar el estado de la empresa con respecto al control de productividad y planeación, así como para la toma de datos una vez que se implemente el proyecto piloto para aplicar Lean Construction dentro de la misma. Para poder obtener datos mediante la observación, se acudió al Sistema Integrado de Gestión de SCALA, con el fin de recolectar la información acerca de la metodología e instrumentos de planificación usados por la empresa. Por ejemplo, se determinó que SCALA utilizaba programas generales de obra mediante el uso de Microsoft Project® del cual se profundiza adelante.

Adicionalmente, se utilizó la observación para determinar los porcentajes de avance en obra y así completar los datos necesarios del Plan de Evaluación Semanal del LPS. Los instrumentos desarrollados para recolectar información en este ámbito se corresponden al Cuadro 7.

También se utilizó la observación en campo para obtener los datos correspondientes a las mediciones de productividad del “Five Minute Sampling”, pues fue necesario tomar esta medida en campo según lo indica la técnica. El instrumento desarrollado para recolectar la información de productividad corresponde al Cuadro 10.

## Entrevista

Según Peláez et al. (2013), una entrevista estructurada es una técnica de recolección de información que utiliza un guion preestablecido, secuenciado y dirigido mediante preguntas cerradas. Es una herramienta útil para la recolección de datos cuantitativos en investigaciones sociales, ya que permiten obtener información sobre actitudes, opiniones, comportamientos y características de la población objetivo. El autor destaca que las entrevistas no son flexibles y buscan respuestas determinadas con poca posibilidad de salirse del guion.

La utilidad actual de la entrevista será aportar información respecto al nivel de involucramiento de los entrevistados con la filosofía Lean Construction, incluyendo su experiencia laboral en SCALA, así como en otras empresas de magnitud similar. Además, también tiene como fin dar a conocer el nivel de disposición de los entrevistados para aplicar estas prácticas. Las preguntas y herramientas desarrolladas para esta entrevista se ubican en el Apéndice 1 del presente trabajo y los resultados de la misma se encuentran en el capítulo correspondiente.

## Software

Los programas computacionales desempeñan un rol fundamental en el quehacer del ingeniero actual. Es mediante ellos que se registran datos, se efectúan trámites y se ejecuta la planeación, entre un sinnúmero más de funciones. Por lo tanto, como parte de los instrumentos utilizados en la recolección y procesamiento de la información, se procede a enlistar los principales programas que se utilizarán para el presente trabajo:

- **Microsoft Project®:** Constituye a una herramienta de planeación y control de cronogramas para proyectos. Actualmente, es utilizado por SCALA para ejecutar la programación y el control del avance de los proyectos. Dentro de sus principales ventajas se incluye su capacidad para asignar recursos a las tareas, utilizar herramientas gráficas como diagramas de Gantt para control de la programación,

asignar el costo de los recursos, entre muchas otras más. Para el presente proyecto, se seguirá utilizando Project como herramienta secundaria para llevar el control del avance de la obra, contra lo programado originalmente. Como se menciona anteriormente, esta herramienta es útil para observar y recolectar información respecto a la forma en la que SCALA programa sus proyectos de construcción de forma general.

- **Microsoft Excel®:** Esta herramienta es indispensable debido a su versatilidad. Funciona a través de matrices de celdas, las cuales son programables. Entre las múltiples funciones que tuvo la herramienta para recolectar información fue la formulación de cuadros y tablas que constituyen, por ejemplo, a las plantillas del Last Planner System. También se utilizó en la programación de variables, la generación de elementos estadísticos tales como gráficos, la asignación de fórmulas predeterminadas y otras más. Esta herramienta es la principal empleada para la toma y el análisis de los datos, pues es utilizada para registrar los resultados necesarios de aquellos datos obtenidos mediante la observación en campo. Adicionalmente, se utiliza para la fabricación de todas aquellas tablas y cuadros que se adjuntan en el proyecto. Los cuadros mostrados a continuación fueron enteramente desarrollados con esta herramienta.

## Desarrollo de los instrumentos

A continuación, se procede a desarrollar todos los instrumentos que se utiliza para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

### Entrevista

aportar información respecto al nivel de involucramiento de los entrevistados con la filosofía Lean Construction, incluyendo su experiencia laboral en SCALA, así como en otras empresas de magnitud similar. Además, también tiene como fin dar a conocer el nivel de disposición de los entrevistados para aplicar estas prácticas. El formato de esta se adjunta en el Apéndice 1. Será ejecutada únicamente al inicio del proyecto. Con esto, se pretende construir el análisis de brecha cualitativa de la empresa, al comparar lo que actualmente hacen los entrevistas dentro de SCALA, con lo que hacían en empresas anteriores y con lo expuesto por la filosofía.

### Herramientas del Last Planner System

La herramienta se desarrolla en una serie de cuadros, cuyo fin es el control tanto de la planeación como la ejecución del proyecto. Se hará uso de esta herramienta a lo largo de todo el desarrollo del presente proyecto, pues este será el foco de atención para el cumplimiento de los objetivos. Se procede a aclarar de qué manera serán usadas cada una de las partes que componen el LPS.

### Plan Maestro

Según se menciona en el Marco Teórico, corresponde a la fase de planificación previa al inicio de la obra, donde se identifican las actividades y tareas de cada proceso constructivo. Representa el periodo de ejecución de las tareas mediante diagramas de Gantt. El Plan Maestro será ejecutado previo al inicio de la

obra y deberá ser actualizado conforme avanza la misma. La plantilla que se procede a utilizar se muestra en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Plantilla de Plan Maestro.

Actividad		Semana																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
ID	Descripción	27-feb	06-mar	13-mar	20-mar	27-mar	03-abr	10-abr	17-abr	24-abr	01-may	08-may	15-may	22-may	29-may	05-jun	12-jun	19-jun	26-jun	03-jul	10-jul	17-jul	24-jul	31-jul	07-ago	14-ago
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										

### Designación de responsables

La designación de responsables corresponde a un único paso donde la propia empresa, así como cada subcontratista designará a un encargado de liberar las restricciones que puedan generarse en la etapa de planificación. Es importante designar a esta persona de antemano, pues esta persona deberá responder directamente a la gerente de proyectos y rendir cuentas acerca de las actividades completadas.



## Plan Semanal

Dentro del Plan Semanal se evalúa el porcentaje de actividades completado, comparado con el propuesto al inicio de la semana dentro del 4 Weeks Ahead, identificando las restricciones que se dieron a lo largo de la misma. Este sistema es binario, por lo que si el avance ejecutado iguala o supera el avance meta, la actividad recibirá un puntaje de 1 y la celda se torna verde. Caso contrario, recibirá un puntaje de 0, con una celda roja. Finalmente, se obtiene el PAC mediante la ecuación 1. El criterio de evaluación para el PAC obtenido es el recomendado en el Marco Teórico y se resumen en el Cuadro 8.

**Cuadro 7. Plantilla del Plan Semanal.**

Actividad			Causas de No Cumplimiento (CNC)													Control semanal				
ID	Descripción	Encargado de liberar restricción	Semana 1					Actividad predecesora	Falta material	Falta mano de obra	Falta equipo	Falta diseño	Subcontratista	Rendimiento MO	Clima	Causas externas	Otros	% Avance meta	% Avance ejecutado	Condición
			27-feb	28-feb	01-mar	02-mar	03-mar													
							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	100%	1
							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90%	80%	0
							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	PAC	90.0%	

**Cuadro 8. Criterio de evaluación del PAC**

Evaluación del PAC	
PAC ≥ 90 %	Satisfactorio
90 % > PAC ≥ 70 %	Aceptable
PAC < 70 %	Insatisfactorio

## Registro de PAC semanal

Finalmente, se obtiene como producto final un registro semanal de las actividades completadas, sintetizando el desempeño de todas las semanas de estudio en un solo cuadro.

**Cuadro 9.** Registro de PAC semanal.

Semana	Fecha	PAC Real	PAC Recomendado	PAC Mínimo
1	27/02/2023	0%	90%	70%
2	06/03/2023	0%	90%	70%
3	13/03/2023	0%	90%	70%
4	20/03/2023	0%	90%	70%
5	27/03/2023	0%	90%	70%
6	03/04/2023	0%	90%	70%
7	10/04/2023	0%	90%	70%
8	17/04/2023	0%	90%	70%

## Plantilla de registro de productividad

Ya se mencionó previamente que, para el estudio de la productividad, se procede a utilizar la técnica del Five Minutes Rating. Para el fin de desarrollarla, se procede a utilizar la plantilla establecida en el Cuadro 8. Esta técnica no solo contemplará los tres tipos de tiempo de trabajo, sino que desglosa el tiempo contributivo, así como el tiempo no contributivo en las distintas actividades asociables a cada uno de ellos.

Esta técnica permitirá conocer específicamente en qué actividad es que los trabajadores invierten su tiempo y la duración de este, además de que se puede desglosar para peones, operarios y ayudantes.

**Cuadro 10.** Plantilla de registro de productividad

Intervalo de 5 minutos	Trabajo No Productivo					Trabajo contributivo					Trabajo productivo	
	Esperas	Viaje	Fumado	Ocio	Ausente	Limpieza	Descargar equipo	Ordena EPP	Acarreo materiales	Armado de andamios		
0:00												
0:05												
0:10												
0:15												
0:20												
0:25												
0:30												
0:35												
0:40												
0:45												
0:50												
0:55												
1:00												

# Análisis y Procesamiento de la información

## Presentación de los resultados

Se procede a generar una descripción de la forma en la que serán presentados los resultados para cada una de las herramientas utilizadas.

### Entrevista

Para este caso, se utiliza diagramas de barras, efectuados mediante el programa Excel, con el propósito de tener una visualización gráfica del comportamiento de los datos obtenidos de la misma. Al tratarse de preguntas fijas en la mayoría de las opciones de la entrevista, esta herramienta será de fácil comprensión para el lector, pues así se evaluará el comportamiento de los datos de una mejor manera.

**Figura 2.** Ejemplo de diagrama de barras para resultados de entrevista.



Fuente: Rojas Quesada, 2021.

## Last Planner System

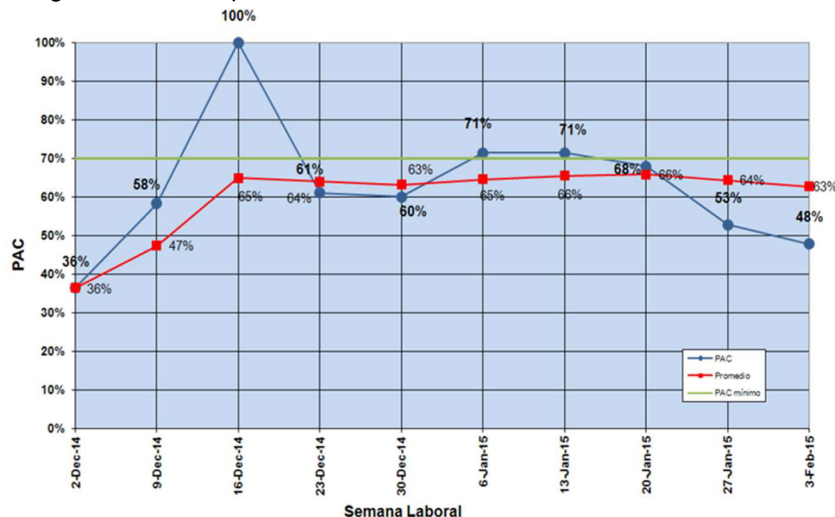
Para este caso, se pretende generar gráficos pastel específicamente para la visualización de las Causas de No Cumplimiento obtenidas del Plan Semanal. Adicionalmente, se utilizará una gráfica para la representación visual del Registro del PAC Semanal. Para los demás elementos del LPS, se presentará semanalmente las plantillas llenadas con los datos correspondientes a cada una de las semanas.

**Figura 3.** Ejemplo de diagrama de pastel para las CNC.



Fuente: Rojas Quesada, 2021.

**Figura 4.** Ejemplo de gráfica de PAC para semanas de estudio.

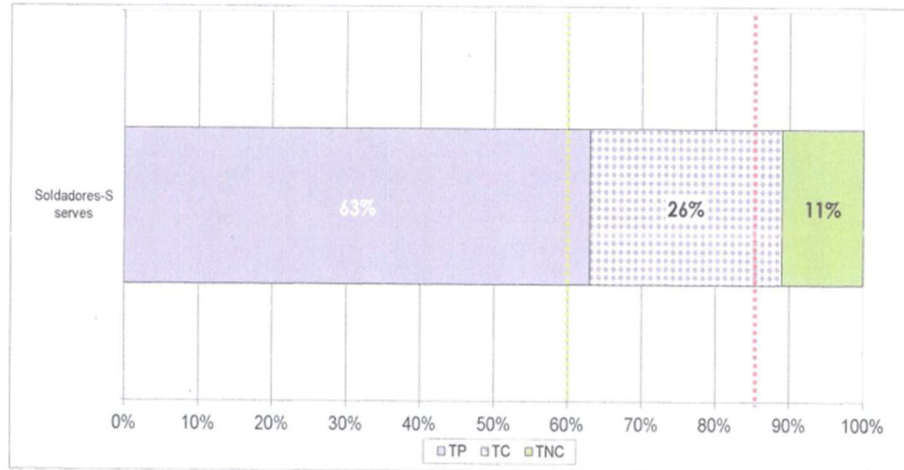


Fuente: Rojas Quesada, 2021

## Productividad

Los datos de productividad serán plasmados y presentados en la plantilla propuesta en el apartado anterior. Por otro lado, gráficamente, también será representada mediante gráficos de barras y gráficos pastel, los cuales evidenciarán los porcentajes y tipos de tiempos que se tiene en la construcción de este proyecto en particular.

**Figura 5.** Ejemplo de gráfica de tiempos de productividad.



Fuente: Picado Marchena, 2015.

# Descripción del proceso de análisis

A continuación, se procede a describir el método para realizar el análisis. Se detalla en los productos esperados, así como la forma en la que ellos ayudarán a completar cada uno de los objetivos del trabajo. Para una mejor visualización del proceso de análisis y la sucesión de tareas a ejecutar, se presenta el siguiente flujograma.

Figura 6. Flujograma del proceso de análisis de datos.



## Diagnóstico

Mediante la entrevista, así como con la observación realizada en los quehaceres diarios de los ingenieros de la empresa durante la ejecución del proyecto y la recolección de los múltiples instrumentos de la empresa para planificar el desarrollo de un proyecto de construcción, todos métodos de recolección de información; además de investigación relacionada a Lean Construction donde se usó fuentes primarias y secundarias, se obtiene como producto un informe diagnóstico acerca de la situación actual de la empresa.

Los datos cuantitativos, como aquellos obtenidos mediante la entrevista, son analizados de forma porcentual y haciendo usos de las herramientas respectivas, descritas extensivamente en apartados anteriores. Con ello se mide porcentualmente la situación de todos los entrevistados con respecto al tema. Con relación a datos cualitativos obtenidos mediante la observación del funcionamiento de la empresa, se contrastarán directamente contra lo estipulado por la literatura referente a Lean Construction consultada. Lo mismo con la parte de la entrevista relacionada con la experiencia de los entrevistados en empresas anteriores con respecto al tema.

Este producto procura detallar específicamente aspectos convergentes y divergentes con relación a Lean Construction y específicamente a Last Planner System. Asimismo, se hace énfasis en aquellos aspectos que se consideren más críticos como, por ejemplo, el tema de la trazabilidad de la planificación mediante una cuantificación objetiva del cumplimiento de esta semana a semana.

Este producto atiende al objetivo general, pues al pretender fortalecer el uso del Last Planner, es primordial conocer la situación de la empresa respecto a sus métodos de planificación y control de ejecución de proyectos, pues sin esta información, se carece de un punto de partida y el punto de llegada tampoco sería claro. Además, atiende a los primeros dos objetivos específicos, debido a que dicho diagnóstico incluye un estudio y un análisis tanto de Lean Construction, como de las prácticas actuales de SCALA.

## Last Planner System

Mediante el informe de brecha cualitativa generado en el apartado anterior, se confecciona como producto una guía de implementación de la herramienta Last Planner System como método de planificación y control de proyectos. Para ello, se ponen en práctica los pasos descritos en esta guía y se recopila los resultados de 8 semanas de estudio en un proyecto piloto. Estos resultados son analizados mediante el uso de la misma herramienta, la cual incluye información como el Registro de PAC Semanal, la cual ofrece visibilidad con relación al cumplimiento de las actividades propuestas, además de que la metodología por sí solo ofrece los parámetros de aceptación para el PAC de cada semana. Por lo tanto, el análisis corresponde a determinar si los datos obtenidos se ajustan a lo aceptable de la filosofía o si no son satisfactorios para la misma.

Esta guía corresponde a un informe escrito que explica paso a paso cada uno de los pasos que se siguen al implementar el LPS como herramienta de Lean Construction. Irá acompañado de todas las plantillas necesarias para la implementación de este, así como un archivo en Excel programado con capacidad de generar los datos para analizar automáticamente.

Este producto atiende directamente al objetivo general, pues consiste en alterar la planificación general usada por la empresa y sustituirla por el LPS. También atiende al tercer objetivo específico pues desarrollará los procedimientos y técnicas necesarios para hacer un uso efectivo de la herramienta. Por último, atiende al cuarto objetivo específico en cuanto pone en práctica las pautas dadas por la guía en un proyecto piloto de la empresa.

## Análisis de productividad

Esta fase del trabajo genera una serie de datos cuantitativos, los cuales se analizan al compararlos directamente con los valores meta establecidos en el marco teórico. En el caso de igualar o superar dichos valores, se determina exitoso el plan piloto, pues se favorecen los tiempos productivos de la empresa gracias

al éxito en la planificación de las tareas, cumpliendo con el propósito principal de Lean que es reducir los desperdicios (de tiempo en este caso).

El producto es un informe de productividad que sintetiza los datos obtenidos. Este contiene todas las herramientas gráficas mencionadas anteriormente, así como una respectiva conclusión acerca de los efectos del proyecto piloto con respecto a el fortalecimiento del uso del Last Planner.

Esto atiende al objetivo general pues da visibilidad del impacto que tiene el cambio en la metodología de planificación y la empresa puede comprender con mayor facilidad los beneficios de aplicar este sistema de manera regular en los proyectos. El cuarto objetivo específico también es completado, pues se busca cumplir con el propósito último del proyecto piloto.

# Capítulo 3: Resultados

Este capítulo constituye a la toma de datos efectuada durante la ejecución del proyecto. Se compilan datos obtenidos mediante la observación, entrevistas y cuantificación de procesos completados. Cada uno de los presentes resultados atiende la ejecución de los objetivos específicos, ya sea de forma individual, es decir, un resultado en concreto atiende a un solo objetivo específico, o de manera conjunta; múltiples objetivos específicos son atendidos con una serie de resultados de una sección.

## Identificación de los procesos actuales de planificación de la empresa

El presente apartado contiene las observaciones realizadas con respecto a cómo la empresa planifica sus proyectos, qué herramientas utiliza y cómo controla su respectivo cumplimiento. Esto atiende el objetivo específico primero y segundo del presente trabajo. Este apartado constituye al primer objetivo específico.

Adicionalmente, se construyó haciendo uso de los sujetos de información especificados, quienes fueron un elemento fundamental para la recolección de la información. El ingeniero Marco Santos Espinoza, es egresado de la Universidad Isaac Newton, de la carrera de Ingeniería Civil. Cuenta con 30 años de experiencia de los cuales, los últimos 11 años ha laborado en EDICA, donde actualmente desempeña el rol de Gerente Técnico de SCALA. Adicionalmente, ha trabajado en Constructora Kirebe, Meltzer, Construcciones CPM, ADITEC y BILT. Dentro de sus proyectos más destacables se encuentran el Museo del Jade y las múltiples obras dentro del Aeropuerto Juan Santa María que ha efectuado EDICA.

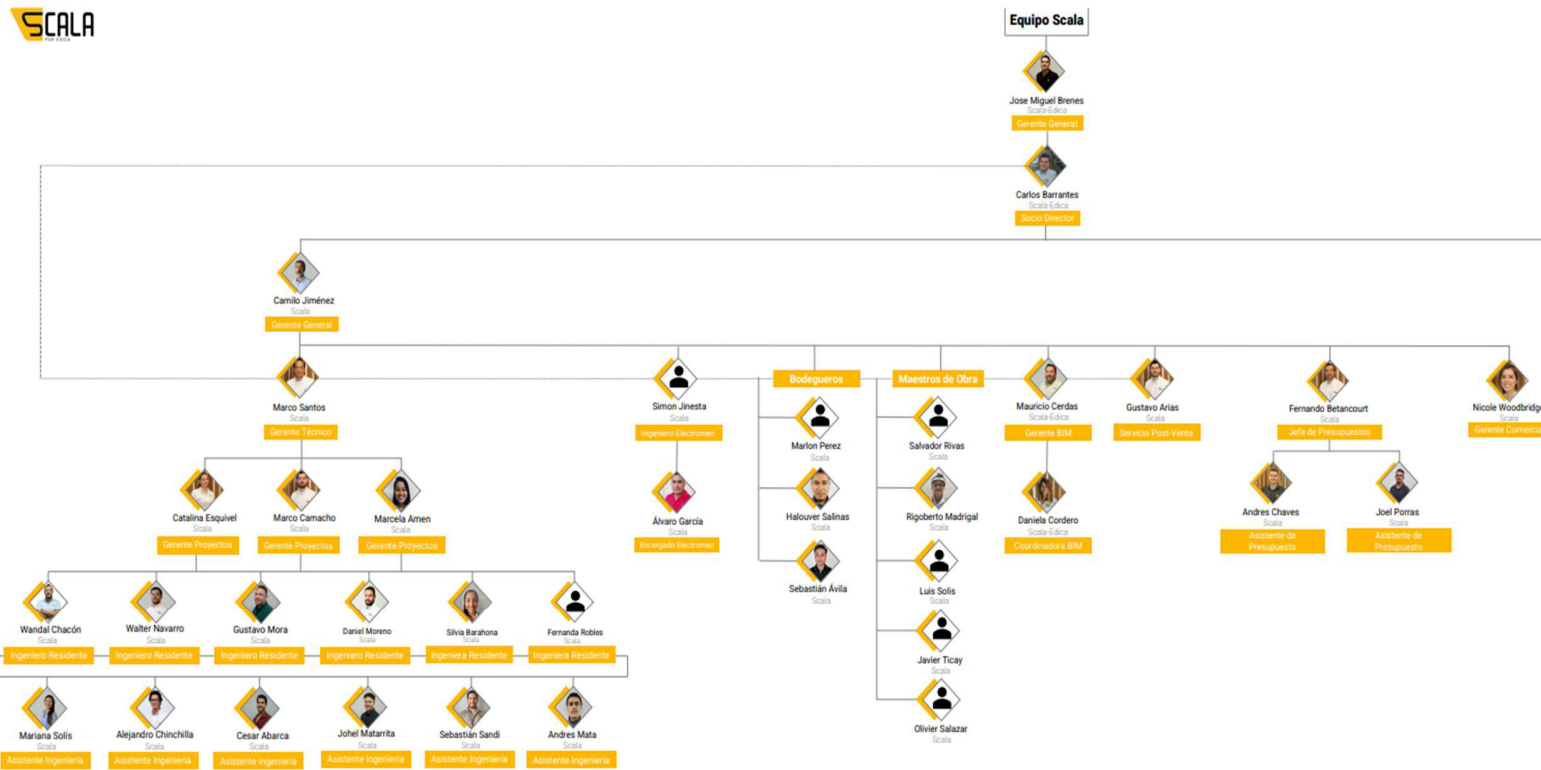
El ingeniero Wándal Chacón es egresado del ITCR, de la carrera de Ingeniería en Construcción. Actualmente cuenta con aproximadamente seis años de experiencia, en donde ha desempeñado sus funciones como ingeniero tanto en Volio y Trejos (2 años), como en EDICA (4 años). Algunos de sus proyectos más destacables fueron el Centro de Convenciones Edwards y la expansión de la rampa remota y Terminal Doméstica en el aeropuerto Juan Santamaría. Actualmente es ingeniero residente del proyecto en desarrollo Shockwave Medical dentro de la zona franca Coyo Free Zone.

La ingeniera Silvia Barahona es egresada de la Universidad de Costa Rica, de la carrera de Ingeniería Civil. Cuenta con cuatro años de experiencia, de los cuales tres años y medio han sido efectuados con Grupo LEUMI y medio año ha sido efectuado con SCALA. Dentro de sus proyectos más destacables se encuentran LEUMI Business Center y Atmos Campus de Negocios. Actualmente, desarrolla labores de ingeniera residente en Shockwave Medical.

## Procedimiento actual de la planificación de los proyectos

Una correcta comprensión de cómo funciona SCALA comienza con una apropiada visualización de su estructura interna. Para ello, se estipula el organigrama de la empresa en la Figura 7.

Figura 7. Organigrama de SCALA



Fuente: SCALA, 2023.

Para realizar la planificación de los proyectos de SCALA, se parte del estudio del alcance. El alcance del proyecto se obtiene del cartel de licitación emitido por el cliente, el cual cubrirá todas las partes que se desee que se abarquen dentro del proyecto de construcción, siendo esto normalmente, acabados y mejoras internas, pues esta es la especialidad de la empresa. Las partes involucradas en este proceso son Camilo Jiménez, Marco Santos y Fernando Betancourt.

Este alcance del proyecto en cuestión es abarcado y desglosado por el departamento de presupuestos de la empresa, encabezado por Fernando Betancourt. Esta etapa corresponde a la conformación de un presupuesto detallado, contemplando todo lo abarcado o solicitado de parte de la empresa contratista general por parte del cliente. Esta fase también incluye una parte importante de adendas y aclaraciones de alcance, las cuales se ejecutan mediante "Request for Information" (RFI) hacia el cliente mediante correos electrónicos. Es fundamental que se efectúen la mayor cantidad de aclaraciones posibles con el fin de minimizar la cantidad de áreas grises del alcance del proyecto, pues de no hacer esto de forma detallada, se puede generar un presupuesto con errores que perjudique la utilidad del proyecto. La mayor parte de esta etapa es ejecutada haciendo uso de cuatro herramientas: el cartel, los planos constructivos y Excel®, donde se construye todo el presupuesto del proyecto y el SharePoint® donde éste se publica en conjunto con todas las aclaraciones. De modo que sea accesible por todos los participantes del proyecto tanto en etapas de planeación, como durante su ejecución. Esta etapa culmina una vez que, mediante el presupuesto detallado de la obra, se le presenta una oferta al cliente, de modo que se compite en afán de ganar la licitación y que el proyecto sea adjudicado.

Asumiendo que SCALA gane dicha adjudicación, o bien el cliente acuda a la empresa directamente para el desarrollo de su proyecto, es preciso definir un equipo de trabajo. Tal y como se observa en el organigrama, los equipos de trabajo dentro de los proyectos de la empresa se componen por un gerente de proyecto, uno o dos ingenieros residentes y uno o dos asistentes de ingeniería. El gerente técnico, Marco Santos, es el encargado de construir los equipos y asignarlos a los respectivos proyectos. Para esto, se toma en consideración diversos factores, como el conocimiento en acabados específicos u obra gris, conocimientos en cuartos limpios u oficinas o bien, si se tiene dominio del inglés, pues algunos de los clientes de la empresa son estadounidenses, como es el caso del proyecto Shockwave Medical.

Completada la etapa anterior y haciendo uso del presupuesto detallado, así como los planos constructivos, se obtienen cada parte de la obra que la empresa deberá ejecutar. Con base en esto se procede a establecer la planeación de las actividades. Esto se da mediante un cronograma general ejecutado con Microsoft Project®, donde el ingeniero residente asignado al proyecto deberá distribuir cada una de estas actividades en un plazo determinado, ya sea que se especificar previamente en el cartel, o bien, que haya sido propuesto por la empresa. Este cronograma general de trabajo sigue la metodología de Ruta Crítica y en sus inicios, se pretende que sea relativamente general, tal y como se muestra en la Figura 9, más adelante. Para culminar esta etapa, el cronograma y las fechas establecidas deben ser revisadas y aprobadas por los ambos gerentes; Marco Santos y Camilo Jiménez.

El proceso de planificación culmina con la ejecución y firma del contrato. De todo el proceso, esta es una de las partes más delicadas, pues es donde se definen todas las cláusulas y adendas que pueden tanto beneficiar o afectar a ambas partes. Quien lidera este parte es el gerente general, Camilo Jiménez y, además, participan Marco Santos, Nicole Woodbridge y el gerente de proyectos asignado para la obra. Adicionalmente, es aquí donde se definen todo tipo de multas por incumplimientos, formas de pago, tipo de contrato, fechas de inicio y de fin y partes involucradas. El contrato es construido en conjunto entre la empresa constructora y el cliente, y una vez que es completado, se firma primero por SCALA y finalmente por el cliente; pactando todos los deberes y responsabilidades de los involucrados.

## Procedimiento actual del control de planificación

Esta parte compete a control de la planificación de los proyectos, tomando como línea base el Plan Maestro o cronograma general de la obra. Una vez iniciada la obra, es parte de las responsabilidades principales del ingeniero residente velar por el cumplimiento de los hitos establecidos en dicho cronograma. Para ello, se hace uso de múltiples mecanismo, procedimientos y herramientas que se discutirán a continuación.

La programación detallada de las actividades toma lugar semana a semana durante el tiempo de ejecución de la obra y también se construye a partir del cronograma general, objetivo que la empresa actualmente realiza mediante un Plan de Tres Semanas con el formato mostrado en la Figura 8. Este cual cumple el mismo propósito que los planes de la metodología Lean explicados en el marco teórico de este trabajo. No obstante, no se cumple con la cantidad de semanas mínimas recomendadas por la metodología Lean, el cual es de cuatro. Este plan es elaborado tanto por SCALA, como por todos sus subcontratistas, los cuales tienen dentro de sus responsabilidades contractuales actualizarlo semanalmente para poner al día sus planificaciones.

Dentro de las principales observaciones con respecto a la metodología del Plan de Tres Semanas, se detalla que su principal deficiencia o limitación es la dificultad de que el subcontratista entregue semanalmente esta programación. A pesar de ser un compromiso contractual, SCALA no aplica multas en caso de que éste no sea entregado por algún subcontratista, además de que ejerce poco esfuerzo para velar por su entrega. Otra de las limitaciones observadas hasta el momento es el poco compromiso o estudio que hace el subcontratista en materia de restricciones, pues en múltiples ocasiones se observa el retraso de actividades por causa de restricciones que pudieron haberse prevenido de haber efectuado una programación consciente.

Posteriormente, se solicita una reunión semanal con los subcontratistas la cual es dirigida por el ingeniero residente. Las partes que participan en esta reunión son únicamente los ingenieros residentes, asistentes de ingeniería y gerentes de proyectos; tanto del contratista general que es SCALA, como de todos los subcontratistas. La reunión tiene como objetivo evaluar el cumplimiento de cada una de las actividades propuestas en el Plan de 3 Semanas y analizar las restricciones que se tengan para completar las actividades, tal y como propone la metodología Lean. No obstante, se han identificado dos principales diferencias con lo propuesto por la metodología. La primera, es que dentro del plan utilizado no se determinan las restricciones que se puedan presentar para las actividades, sino que únicamente son comentadas dentro de la reunión. Esto genera que no se establezca un registro escrito ni un seguimiento, pues al no incluir la restricción, tampoco se incluye una designación de responsables para la liberación de esta.

La segunda diferencia identificada es la falta de trazabilidad de las actividades. El plan semanal usado actualmente no contempla porcentajes de avance, ni porcentajes meta, ni Causas de No Cumplimiento. Esto quiere decir, que no se posee un apropiado registro de la calidad de planeación y ejecución de los procesos por parte de los subcontratistas, por lo que actualmente no es posible conocer de una manera objetiva sus respectivos desempeños.

Reforzando el punto anterior, se denota una tercera diferencia que vale la pena destacar. Dentro de las reuniones de subcontratistas, no participan los encargados de los subcontratistas. Esto también corresponde a una divergencia con aquello estipulado en la teoría de Lean, pues estas partes representan una parte importante del proceso constructivo y el no involucramiento de ellas durante la planeación y revisión del cronograma detallado representa, en la actualidad, una limitación que produce afectaciones en la programación de las obras de la empresa.

Al finalizar la reunión, cada parte tiene la responsabilidad de informar a sus respectivos encargados de las fechas y actividades acordadas durante esta y se procede con las demás labores respectivos. Asimismo, con el avance discutido en esta misma reunión, el ingeniero residente debe actualizar también el cronograma general dentro del Project®. El problema observado con este procedimiento nuevamente es la falta de trazabilidad, pues la programación intermedia o detallada no es revisada a lo largo de la semana, y a menudo las restricciones no se solucionan con suficiente prontitud, ya que se discute el cumplimiento o incumplimiento de las actividades propuestas hasta la reunión de la semana siguiente.

Por último, todo lo acontecido debe registrarse semanalmente en la nube de la empresa: SharePoint®. Esto incluye la minuta de las reuniones y las programaciones intermedias actualizadas cada semana. También se considera una buena práctica incluir estos documentos en el PROCORE®, mas no es un requisito como tal. A continuación, se hace una breve descripción de los activos digitales de la empresa destinados a controlar la planificación de la obra.

# Herramientas y activos de la empresa

Para la construcción y control de planificación de proyectos, SCALA cuenta tanto con licencias de PROCORE®, así como con el Sistema Integrado de Gestión (SIG) de EDICA Ltda. Ambos cuentan con una enorme utilidad y múltiples funciones y herramientas por sí solas, por lo que se cubrirá aquellas más relevantes para este apartado en particular.

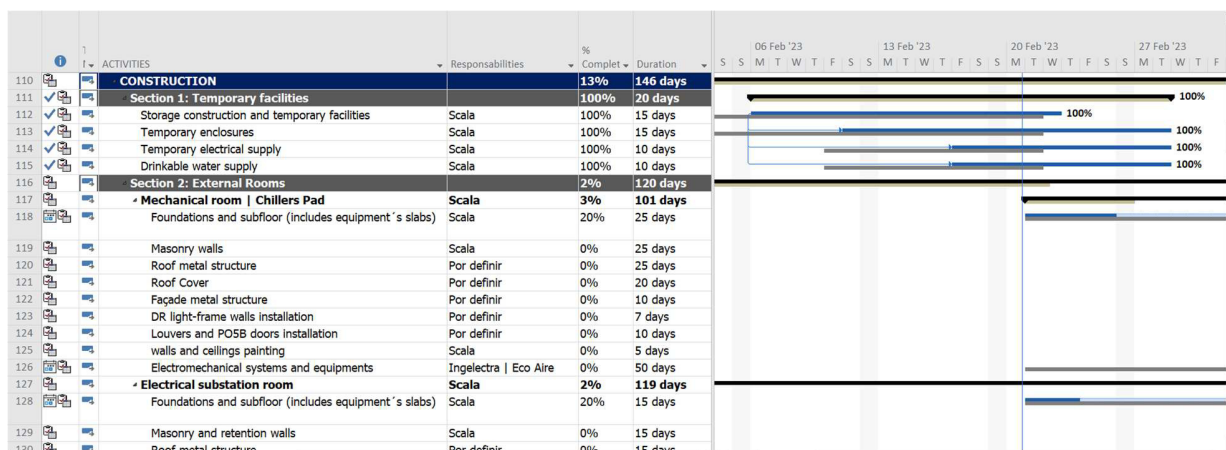
Con relación a la planificación, los cronogramas de trabajo son elaborados utilizando el programa de Microsoft Project®. Los planes de 3 semanas son efectuados mediante el programa de Microsoft Excel®. Ambos son almacenados y accesibles por los miembros del proyecto dentro del SIG. El formato para ellos se observa en la Figura 8 y 9.

Figura 8. Plan de Tres Semanas, proyecto Multitenant 2-3.

EMPRESA		ACTIVIDAD	OBSERVACIÓN/RESTRICCIÓN	FECHA DE INICIO ACTIVIDAD	FECHA FIN ACTIVIDAD	SEMANA ANTERIOR		SEMANA ACTUAL					SEMANA PROYECTADA 1					SEMANA PROYECTADA 2															
						D	L	K	M	J	V	S	D	L	K	M	J	V	S	D	L	K	M	J	V	S	D	L	K	M	J	V	S
SCALA		MT2																															
ICELMEC		Instalación de Garrafas	OK	16/02/2023	25/02/2023																												
ICELMEC		Canalización de aleros bloque este	OK	20/02/2023	25/02/2023																												
ICELMEC		Cableado de aleros bloque este	OK	25/02/2023	01/03/2023																												
ICELMEC		Instalación de cable desnudo de bajante de pararrayos en techo	OK	22/02/2023	28/02/2023																												
ICELMEC		Instalación de base de mastil y vientos de pararrayos	OK	22/02/2023	01/03/2023																												
ICELMEC		Instalación de masill	OK	24/02/2023	01/03/2023																												
ICELMEC		Instalación de bajantes aleros	OK	22/02/2023	01/03/2023																												
ICELMEC		Instalación de Gallinas	OK	20/02/2023	01/03/2023																												
ICELMEC		Instalación de cable desnudo de bajante de pararrayos en paneles de concreto	OK	24/02/2023	01/03/2023																												
ICELMEC		Cableado telecomunicaciones Semaforos	OK																														

Fuente: SCALA, 2023.

Figura 9. Cronograma de trabajo, proyecto Shockwave Medical.



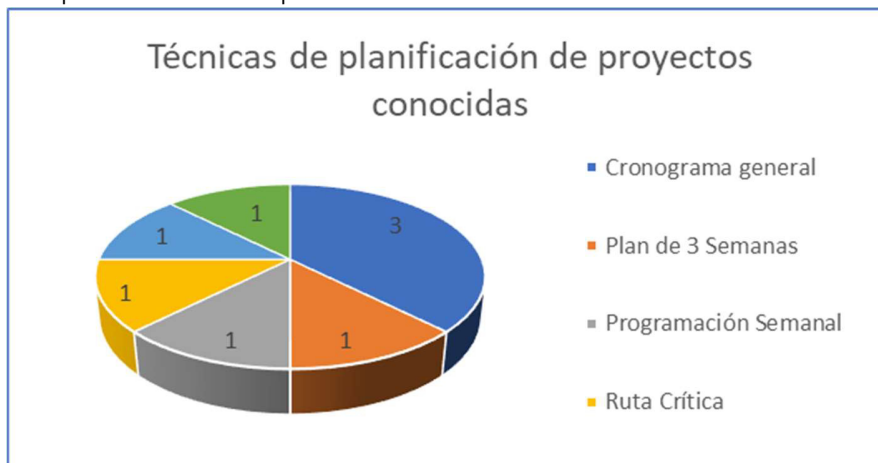
Fuente: SCALA, 2023.

# Estado actual de la empresa con relación a la Filosofía Lean Construction

Basándose en la información anterior recopilada; tanto relacionada a Lean Construction, Last Planner System y la situación actual de la empresa, se procede a establecer un informe de brecha cualitativa entre aquello recomendado por la filosofía en contraste con cómo se está realizando dentro de la empresa, con el fin de saber exactamente qué puntos abarcar, una vez que se ejecute la guía de prácticas Lean y Last Planner System para la introducción de la filosofía en la empresa. Para su ejecución, se procedió a entrevistar a tres ingenieros de SCALA. Las preguntas utilizadas en la entrevista se adjuntan en el Apéndice 1 y las respuestas de cada uno de los sujetos de información se encuentran dentro del Apéndice 2 y constituye una de las bases y fuentes de información para los datos mostrados en esta sección. A continuación se presenta parte de los resultados del informe y las entrevistas, no obstante, se insta a hacer lectura de los apéndices mencionados para su completa visualización. Este apartado abarca la ejecución tanto del primer objetivo específico, así como del segundo.

Mediante la Figura 10, es posible observar múltiples técnicas de planeación de proyectos conocidas por los entrevistados. Se determina que el cronograma general de actividades constituye a la más comúnmente empleada por los profesionales en el área. Asimismo, cabe destacar el conocimiento de las programaciones semanales, ya sea de una o varias semanas.

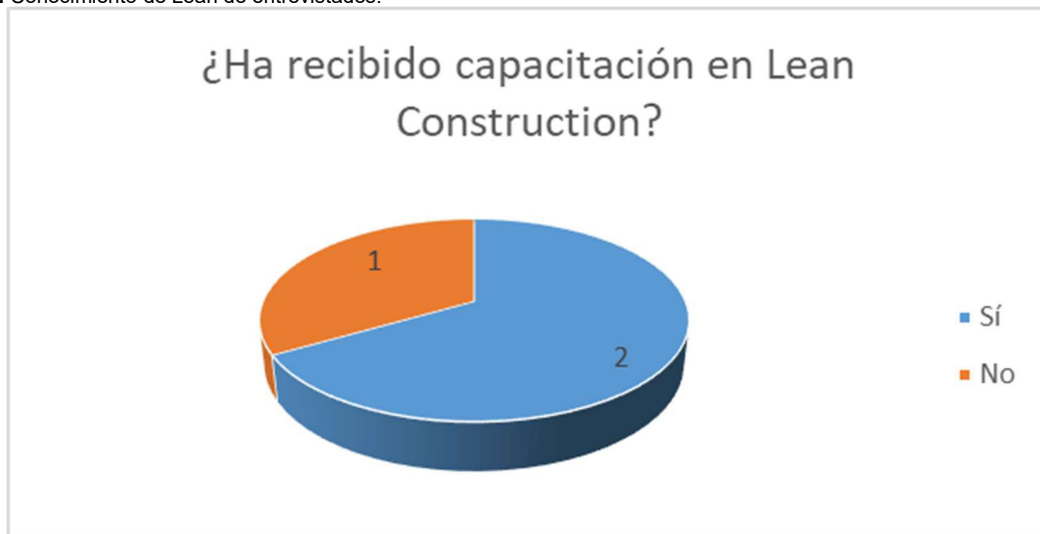
Figura 10. Técnicas de planificación conocidas por entrevistados.



Fuente: Autoría propia, adaptado de Informe de brecha cualitativa de prácticas LEAN.

Como sustento de lo mencionado, la Figura 11 evidencia dos tercios de los entrevistados han recibido capacitación de Lean Construction. Esto es indicativo de haber recibido capacitación de parte de la filosofía o del LPS por parte de los ingenieros.

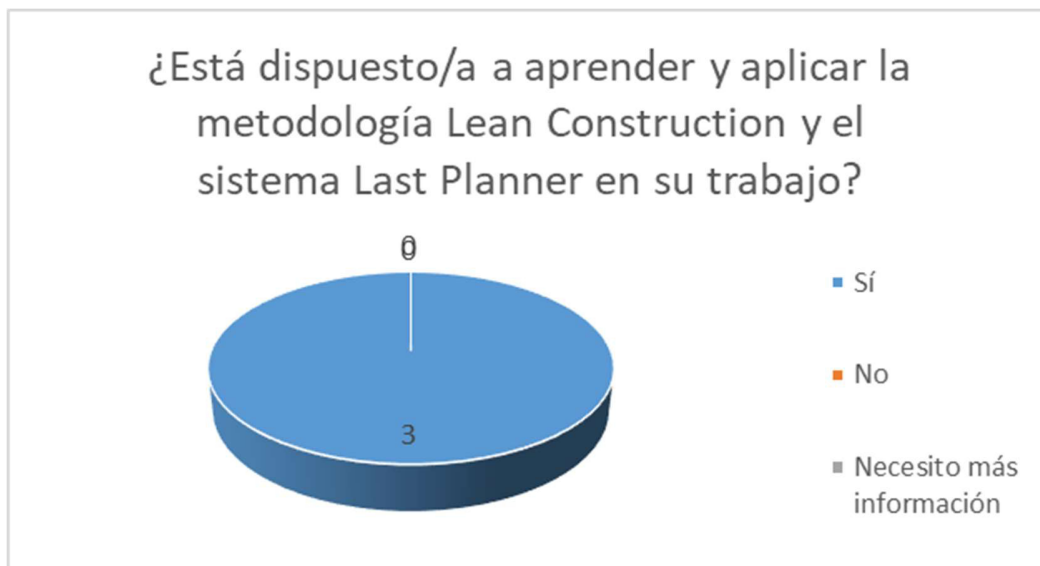
**Figura 11.** Conocimiento de Lean de entrevistados.



Fuente: Autoría propia, adaptado de Informe de brecha cualitativa de prácticas LEAN.

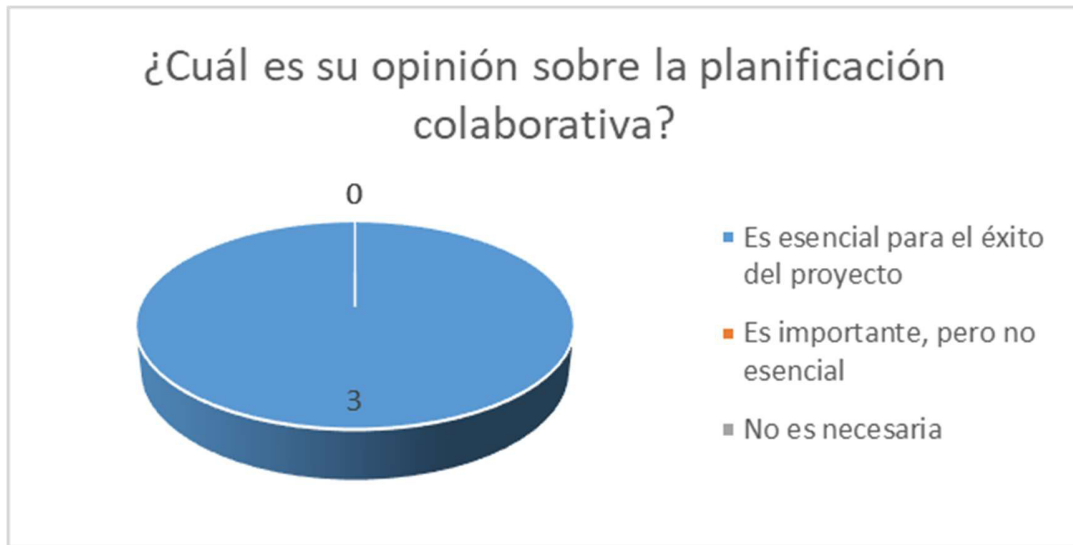
Adicionalmente, las Figuras 12,13 y 14 constituyen a un fuerte indicativo de disposición por aplicar la herramienta del Last Planner, pues la totalidad de los entrevistados afirma estar anuentes a aprender y aplicar dicha herramienta. Asimismo, todos aseveran que la planeación colaborativa resulta fundamental para el éxito de los proyectos.

**Figura 12.** Disposición de entrevistados para integrar la filosofía.



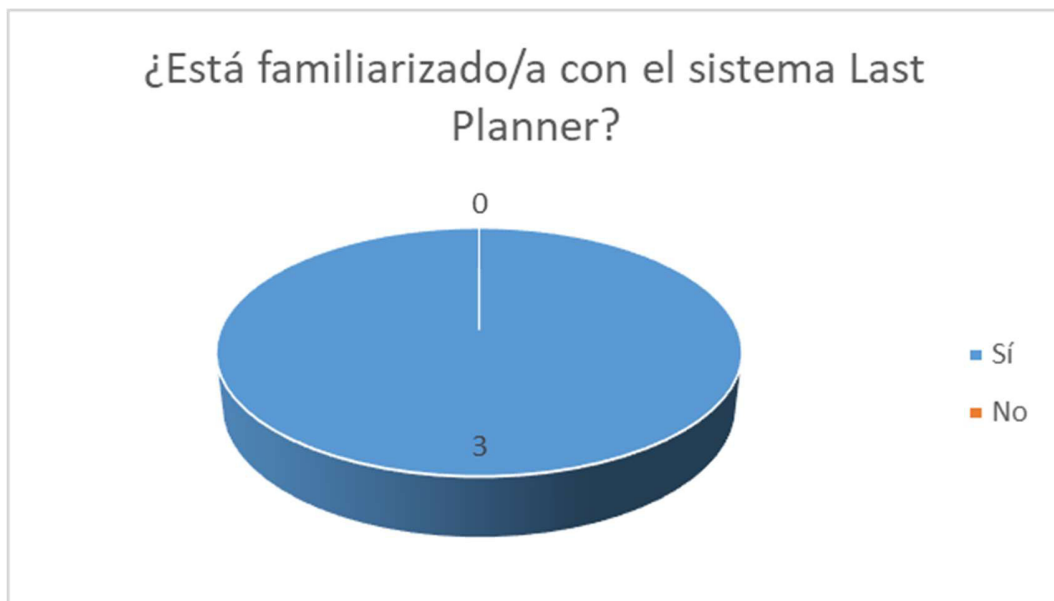
Fuente: Autoría propia, adaptado de Informe de brecha cualitativa de prácticas LEAN.

**Figura 13.** Opinión de la planificación colaborativa de los entrevistados.



Fuente: Autoría propia, adaptado de Informe de brecha cualitativa de prácticas LEAN.

**Figura 14.** Familiaridad con el sistema Last Planner de los entrevistados.



Fuente: Autoría propia, adaptado de Informe de brecha cualitativa de prácticas LEAN.

# Brecha cualitativa de la empresa con relación a las prácticas de Lean

Mediante la información recolectada en el apartado anterior y la estipulada en el Apéndice 2, construido enteramente a partir de los sujetos de información y las entrevistas formuladas, se procede a generar el informe de brecha cualitativa de la empresa respecto a las prácticas Lean del Last Planner System.

Este informe tiene como fin último identificar los puntos de mejora de la empresa para el control de planificación de los proyectos. Además, será fundamental para establecer la guía o instructivo para la empresa, donde se aclare apropiadamente cómo se debe aplicar la filosofía en cada uno de sus pasos, para así obtener resultados satisfactorios.

Es menester considerar, asimismo, cuáles son las partes mínimas que se deben cumplir para que tanto Lean como el LPS sean exitosos en una planificación. Estos son los siguientes:

- Plan Maestro o programa general de la obra
- Designación de responsables
- Plan Intermedio
- Análisis de restricciones
- Reunión semanal
- Plan de evaluación semanal

Lo más destacable y útil de este informe para el completamiento del segundo objetivo específico constituye a la matriz de brecha cualitativa del Cuadro 11, pues incorpora la situación de empresas de magnitud similar a SCALA, con el propósito de generar una comparación más amplia y completa en el tema. Por lo tanto, se consideran tres empresas adicionales; Volio y Trejos, BILT y Grupo LEUMI y cómo cada una ha incorporado las prácticas LEAN dentro de sus proyectos constructivos. La información de cada una de estas empresas se obtuvo mediante la entrevista efectuada a los sujetos de información descritos en el Cuadro 3 (Marco Santos, Silvia Barahona y Wándal Chacón), de los cuales se aprovechó su experiencia en estas empresas externas para conocer de una manera más profunda qué hacían en esta materia y cómo se pueden mejorar las prácticas de SCALA con base en esto.

<b>Cuadro 11. Matriz de brecha cualitativa para prácticas Lean entre SCALA y empresas de calibre similar</b>					
<b>Práctica recomendada por LPS</b>	<b>Prácticas de empresa Volio y Trejos (Wándal Chacón)</b>	<b>Práctica de empresa BILT (Marco Santos)</b>	<b>Prácticas de empresa Grupo Leumi (Silvia Barahona)</b>	<b>Situación de la empresa</b>	<b>Acción por implementar</b>
Plan Maestro	El ingeniero encargado de la programación efectúa el cronograma general de la obra mediante Vico Office	El "Project Manager" es el encargado de ejecutar la programación general de la obra mediante el programa Project	El "Project Manager" es el encargado de ejecutar la programación general de la obra mediante el programa Vico Office.	El ingeniero residente elabora un cronograma mediante diagrama Gantt y la herramienta Microsoft Project	No se requiere, pues la empresa ya lo realiza
Designación de responsables	La persona de programación es la encargada de liberar las restricciones	Se designaban una distribución de roles diarios donde se contemplaba la liberación de restricciones.	El "Project Manager" es el encargado de la liberación de todas las restricciones del proyecto.	No se realiza	Establecer al inicio del proyecto quién será el responsable de liberar las restricciones de cada empresa
Plan Intermedio	Se utiliza un Plan de Seis Semanas	Se utiliza un Plan de Tres Semanas.	Se realiza un Plan de Cuatro Semanas	Se realiza un Plan de Tres Semanas	Reajustar el plan para que se incluya como mínimo una semana más de proyección, de modo que se pueda prever con mayor anticipación cualquier imprevisto
Análisis de restricciones	Se efectúa análisis de restricciones por parte del ingeniero encargado de la programación.	Se analizaban en conjunto	El análisis de restricciones se da mediante una reunión con las partes involucradas, pero no se plasmaba por escrito.	No se realiza	Detallar las restricciones presentes para la ejecución de una actividad, mediante un mapeo de los requisitos para la misma
Reunión semanal	Se realiza	Se realiza	Se realiza	Se realiza	Se recomienda realizarla con el Plan Intermedio en mano, de modo que cada una de las tareas pueda ser analizada con todos los subcontratistas para tener el panorama completo de las tareas.
Plan de Evaluación Semanal	Se realiza	Se discute avance mediante verificación de fechas del cronograma, se identificaban retrasos y se solicitaba plan de acción para rescatar tiempo impactado.	No se realiza	No se realiza	Establecer una matriz de trazabilidad y evaluación del Porcentaje de Actividades Completadas (PAC) así como las Causas de No Cumplimiento (CNC). Su fin es identificar fallos durante la semana que culminó y actividades correctivas.

Fuente: Adaptado de entrevista con Barahona, Santos y Chacón, 2023

Es a partir de la información recolectada y su respectivo análisis, que se procede a elaborar una guía con pasos detallados para fortalecer el uso del Last Planner System para la planeación de los proyectos.

## Proceso formal para el fortalecimiento del uso del Last Planner

Una vez culminado el informe de brecha cualitativa de la empresa respecto a las prácticas Lean y de su herramienta, así como su respectivo análisis, se procedió a elaborar la Guía para el fortalecimiento del uso del Last Planner dentro de SCALA, basada en todas las deficiencias o puntos de mejora detectados en el informe. La finalidad de esta es constituir a un insumo de uso común para los ingenieros y gerentes de proyectos para una planeación y control de ejecución más eficaz y acertados. Dicha guía se adjunta en el Apéndice 4 y corresponde al tercer objetivo específico.

En esta guía, se comprende cada una de las partes del Last Planner System:

- Plan Maestro o programa general de la obra
- Designación de responsables
- Plan Intermedio
- Análisis de restricciones
- Reunión semanal
- Plan de evaluación semanal

Asimismo, para cada una de estas partes, se utilizaron las plantillas establecidas en el marco metodológico, de modo que la planeación semanal se convierta en un proceso estandarizado. Para lograr esto, cada una de las partes mencionadas contiene una explicación de uso detallado con respecto a cómo se debe completar la plantilla, parámetros aceptables y gráficos programables de la herramienta.

Además de generar una guía con plantillas, se programó una hoja de Excel®, donde se automatizaron todos múltiples parámetros para facilidad de uso de la herramienta. Algunos ejemplos de variables programadas constituyen el PAC, tanto con su puntaje semanal, así como con sus gráficos pastel y el gráfico de tendencia del PAC acumulado.

Con el fin de implementar las prácticas estipuladas en esta guía y validar su efectividad, se tomó la decisión de aplicar su contenido en la planificación de uno de los proyectos de SCALA, lo cual se describe a continuación.

## Fortalecimiento del uso del Last Planner System

Para implementar de las prácticas de Lean Construction y del Last Planner System descritas en la “Guía para el fortalecimiento del uso del Last Planner en SCALA” desarrollada en el objetivo anterior, se seleccionó el proyecto Shockwave Medical, ubicado en Zona Franca Coyol. Esto con el propósito de cumplir con el cuarto objetivo específico.

Este proyecto se encuentra en un estado óptimo para hacer uso de dichas prácticas, pues su fecha de inicio oficial fue el 22 de febrero del 2023, lo que significa que se encuentra en la etapa inicial. Se procede a plasmar los resultados establecidos durante un periodo de análisis de 8 semanas de cada parte del LPS empleados en el proyecto. El presente apartado obedece al cuarto objetivo específico.

Como breve introducción del proyecto, este pertenece a una empresa estadounidense encargada de la fabricación de dispositivos médicos capaces de romper piedras en la vejiga mediante ondas de choque, de

ahí su nombre en inglés. El proyecto cuenta con una extensión total de 6930 m<sup>2</sup>, divididos en dos plantas. Asimismo, como dato particular, cuenta con un cuarto limpio de aproximadamente 1000 metros cuadrados.

El alcance de dicho proyecto por parte de SCALA corresponde a la totalidad de las mejoras internas y acabados de la nave industrial, la elaboración de la obra gris, acabados e instalaciones electromecánicas de la subestación eléctrica, la casa de máquinas y la ejecución de un muro de retención. En la Figura 15 se observa la fachada principal del edificio.

**Figura 15.** Fachada principal de Shockwave Medical.



Fuente: SCALA, 2023.

A continuación, se desglosan cada una de las partes del LPS relacionados a Shockwave Medical con sus respectivos resultados.

## Plan Maestro o Programa General de la obra

Este Plan podrá encontrarse en el Apéndice 3 del presente trabajo dado a su extensión. El mismo fue efectuado tanto en Microsoft Project® como en Microsoft Excel®, en el apéndice indicado se adjunta su versión de Microsoft Excel®. Es aquí donde se evidencian, de una forma muy general, las actividades que comprenden este proyecto, incluyendo hitos civiles, electromecánicos y de HVAC. Este programa ayuda a tener una visualización de los tiempos del proyecto con relación a actividades completadas o aposentos entregados. Mantenerlo actualizado fue fundamental, pues los hitos aquí presentes formaron parte de los compromisos contractuales de la empresa con el cliente.

## Designación de responsables, Shockwave Medical

Figura 16. Designación de responsables.

Encargado	Empresa	Rol	Siglas
Wándal Chacón	SCALA	Ing. Residente	WC
Sebastián Sandí	SCALA	Asistente de ing.	SS
José Cháves	ECOIRE	Ing. Residente	JC
María Benavides	INGELECTRA	Ing. Residente	MB
Alejandro Redondo	INCONSTRUCTION	Ing. Residente	AR

## Plan intermedio “4 Weeks Ahead”, Shockwave Medical

En esta sección se observa la programación conjunta de todos los contratistas, sintetizada en un único programa de trabajo. Su objetivo es el de ser discutido durante las reuniones de contratistas, las cuales, en el caso del proyecto Shockwave, fueron designadas para los martes de todas las semanas. Con una programación lista y detallada como esta, es posible detectar choques o restricciones en una misma área de trabajo, y proceder a resolverla con anticipación.

Al dar inicio con el proyecto, se solicitó a los subcontratistas montar su Plan de 4 Semanas de forma individual todos los viernes con el fin de sintetizarlos todos en un solo plan que abarcara todas las tareas. Además, se pretendía que estos planes fueran discutidos durante la reunión de subcontratistas semanal, la cual involucraba a todas las partes y tenía lugar todos los martes a las 10:00 de la mañana.

En la Figura 17 se establece el plan intermedio de la semana 1 del proyecto. Cabe destacar que tal y como se aprecia, no se determinaron restricciones durante la planeación y discusión de las actividades, por lo que dicha semana no cuenta con análisis de restricciones. Esto se debió principalmente a que las actividades eran predominantemente de preparación y había múltiples frentes de trabajo disponibles.

Con relación a la simbología utilizada, cabe destacar que en el caso de que en la casilla de restricciones se observe un “check” verde, significa que no hay restricción encontrada para la ejecución de la actividad. Por otro lado, un signo de exclamación amarillo constituye a una restricción encontrada, la cual debe ser analizada y atendida. Las restricciones encontradas y analizadas semana a semana se encuentran en el Cuadro 12, dentro de su apartado respectivo. Cabe destacar que no todas las restricciones fueron incluidas en dicho cuadro y esto se debió principalmente a una elección hecha por el ingeniero residente quien indicó que las restricciones fáciles de resolver no eran necesarias de incluir en este cuadro.















Figura 24. Plan intermedio semana 8.

SCALA		Plan de 4 semanas				RESTRICCIONES					Semana #8							Semana #9							Semana #10							Semana #11								
ID	Descripción de Actividad	Baseline Start	Fecha Inicial	Baseline Finish	Fecha Final	RESPONSABLES					L	K	M	L	V	S	D	L	K	M	L	V	S	D	L	K	M	L	V	S	D	L	K	M	L	V	S	D		
						Permisos	Diseño	Mano de Obra	Materiales	Otros																													L	K
<b>1 Cuartos Externos</b>																																								
1.1.1	Muro de Retención	27-mar	24-abr	15-abr	6-may	SCALA IHYM	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.1.2	Excavación Parada de Buses	26-mar	24-abr	1-abr	14-abr	SCALA IHYM	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.1.3	Obra Civil Parada de Buses	26-mar	15-abr	15-abr	6-may	SCALA IHYM	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.1.4	Excavación tubería de incendio	17-abr	13-abr	N/A	22-abr	SCALA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.1.5	Tubería de incendio	28-mar	18-abr	N/A	16-may	INGELECTRA	✓	✓	✓	✓	✓																													
<b>1.2 Subestación</b>																																								
1.2.1	Paredes	N/A	17-abr	N/A	25-abr	SCALA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.2.2	Contrapiso	N/A	26-abr	N/A	29-abr	SCALA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.2.3	Estructura de techo	N/A	24-abr	N/A	29-abr	INSCONSTRUCTION	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.2.4	Cubierta	N/A	1-may	N/A	14-jun	MOSACA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.2.5	Acabados de paredes	N/A	14-jun	N/A	19-jun	SCALA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.2.6	Louvers	N/A	18-may	N/A	24-jun	EL MUNDO	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.2.7	Instalaciones Electromecánicas	N/A	15-may	N/A	TBD	INGELECTRA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.2.8	Meda Tensión	N/A	24-abr	N/A	13-may	SCALA+INGELECTRA	✓	✓	✓	✓	✓																													
<b>1.3 Casa de Maquinas</b>																																								
1.3.1	Fundaciones	N/A	17-abr	N/A	22-abr	SCALA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.3.2	Paredes	N/A	24-abr	N/A	2-may	SCALA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.3.3	Contrapiso	N/A	3-may	N/A	6-may	SCALA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.3.4	Estructura de techo	N/A	1-may	N/A	6-may	INSCONSTRUCTION	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.3.5	Cubierta	N/A	8-may	N/A	13-may	MOSACA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.3.6	Acabados de paredes	N/A	15-may	N/A	24-may	SCALA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.3.7	Louvers	N/A	25-may	N/A	31-may	EL MUNDO	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.3.8	Instalaciones Electromecánicas	N/A	22-may	N/A	TBD	INGELECTRA	✓	✓	✓	✓	✓																													
<b>1.4 Pad Chillers</b>																																								
1.4.1	Impermeabilizante de Losa	N/A	17-abr	N/A	6-may	SCALA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.4.2	Posicionamiento de los Equipos	N/A	8-may	N/A	13-may	MULTIFRIG	✓	✓	✓	✓	✓																													
<b>1.5 Tanque de agua</b>																																								
1.5.1	Fundaciones	N/A	17-abr	N/A	20-may	SCALA	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.5.2	Posicionamiento de los Equipos	N/A	22-may	N/A	TBD	MULTIFRIG	✓	✓	✓	✓	✓																													
1.5.3	Incendio C 900	N/A	17-abr	N/A	20-may	INGELECTRA	✓	✓	✓	✓	✓																													
<b>2 Primer Nivel</b>																																								
<b>2.1 General</b>																																								
<b>2.2 Cuarto Limpio</b>																																								
2.2.1	Supresión de incendio sobre CR (instalación de soportera y tubería y rieles)	10-mar	10-mar	2-jun	2-jun	INGELECTRA	✓	✓	✓	✓	✓																													
2.2.2	Tubería de agua helada	27-mar	27-mar	8-may	8-may	ECOARE	✓	✓	✓	✓	✓																													
2.2.3	Fabricación de ductos CE	10-abr	10-abr	30-abr	30-abr	ECOARE	✓	✓	✓	✓	✓																													
2.2.6	Instalación de ductos CR (primera mitad)	11-abr	11-abr	8-may	8-may	ECOARE	✓	✓	✓	✓	✓																													

## Análisis de restricciones, Shockwave Medical

En el Cuadro 12 se estipula el registro de las restricciones que fueron surgiendo a lo largo del período de análisis, contemplando tanto fecha de liberación estimada, así como fecha de liberación real. Únicamente se rellenó un cuadro, el cual se fue construyendo semana a semana, pues no todas las restricciones fueron liberadas en la fecha propuesta. Este cuadro, además, incluye las restricciones más importantes y de mayor impacto, debido a una decisión del ingeniero residente del proyecto.

También es importante destacar que las restricciones se analizaban durante la reunión de subcontratistas llevada a cabo todos los martes conforme estas eran identificadas, de modo que pudieran ser atendidas con antelación previo al inicio de la actividad correspondiente.

**Cuadro 12. Análisis de restricciones del periodo de análisis**

Análisis de restricciones				
Tarea	Restricción	Encargado	Fecha de liberación propuesta	Fecha de liberación real
Excavación de media tensión	No se ha definido ruta de media tensión	SCALA	20-mar	20-abr
Movimiento de tierras	Aparecieron rocas de gran magnitud durante la excavación. Se requiere martillo	MACOMA	20-mar	15-abr
Cableado de media tensión y losa de protección	Depende de actividad predecesora	INGELECRA	20-mar	20-abr
Forro de paredes	No se ha definido las previstas para BMS ni control de acceso	CUSHMAN	17-mar	16-mar
Instalación de soportes para ductos CR	Depende de la estructura metálica de Alejandro	INCONSTRUCTION	25-mar	15-abr
Segunda cara de Gypsum de paredes de: baños, cuarto eléctrico, Cuarto TI, Storage Room, Janitor Room	No se ha culminado la instalación de previstas electromecánicas	INGELECRA	15-abr	2-may

# Plan Semanal de Evaluación, Shockwave Medical

Mediante esta herramienta, se logra comprobar el desempeño cuantificable de aquello que se planeó, contra aquello que en verdad se realizó.

Tal y como se puede observar de la Figura 25, la primera semana presentó una planeación aceptable dentro de los rangos establecidos, pues el cumplimiento de las actividades fue de un 80%.

Figura 25. Plan Semanal de Evaluación, semana 1.

Actividad			Causas de No Cumplimiento (CNC)														Control semanal			
ID	Descripción	Encargado de liberar restricción	Semana 1					Actividad predecesora	Falla material	Falla mano de obra	Falla equipo	Falla diseño	Subcontratista	Rendimiento MO	Clima	Causas externas	Otros	% Avance meta	% Avance ejecutado	Condición
			27-feb	28-feb	01-mar	02-mar	03-mar													
1.1	Instalaciones temporales	Sebastián Sandi						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	100%	1
1.2	Trazo de paredes segundo nivel	Sebastián Sandi						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	100%	1
3.2	Estructuración paredes	Marisol						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	100%	1
3.3	Forro de gypsum de paredes	Marisol						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40%	40%	1
3.9	Marcado de instalaciones eléctricas en paredes	Maria Benavides						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	100%	1
3.13	Instalación de previstas eléctricas en paredes	Maria Benavides						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30%	30%	1
3.20	Instalación de soportes para ductos cuarto eléctrico	José Chaves						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10%	10%	1
3.25	Fabricación de ductos CR	José Chaves						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5%	5%	1
3.29	Instalación de soportes para tuberías CR	José Chaves						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10%	10%	1
4.2	Estructuración y primera cara de Gypsum de paredes de: baños, cuarto eléctrico, Cuarto TI, Storage Room, Janitor Room	Marisol						1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	100%	0%	0
4.3	Segunda cara de Gypsum de paredes de: baños, cuarto eléctrico, Cuarto TI, Storage Room, Janitor Room	Marisol						1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	30%	0%	0
4.6	Marcado de canasta de potencia	Maria Benavides						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	100%	1
4.8	Marcado de pasantes sistema hidrosanitario baños	Maria Benavides						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	100%	1
4.10	Instalación de soportería y canasta de telecom	Maria Benavides						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15%	15%	1
5.1	Colocación de tirantes	Alejandro						0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	75%	20%	0
								2	0	0	0	1	0	2	0	0	0	100%	PAC	80.0%

Por otro lado, durante la segunda semana, se comienzan a presentar múltiples inconvenientes durante la obra, lo cual se convirtió en un incumplimiento de las métricas para el PAC de esta semana. Uno de los principales problemas encontrados durante esta semana fue la poca anuencia de los contratistas para actualizar su Plan de 4 Semanas, por lo que sus actividades no fueron analizadas con detalles y las fechas originales fueron incumplidas. Es importante recalcar que dicha actualización constituye un compromiso contractual penalizable de parte del contratista para SCALA, no obstante, la empresa toma la decisión de no aplicar multas por el incumplimiento de este.

Figura 26. Plan Semanal de Evaluación Semana 2.

Actividad			Causas de No Cumplimiento (CNC)												Control semanal					
ID	Descripción	Encargado de liberar restricción	Semana 1					Actividad predefinida	Falta material	Falta mano de obra	Falta equipo	Falta diseño	Subcontratista	Rendimiento MO	Clima	Causas externas	Otros	% Avance meta	% Avance ejecutado	Condición
			06-mar	07-mar	08-mar	09-mar	10-mar													
1.1	Movimiento de tierras							0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	90%	75%	0
2.1	Forro de paredes livianas							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60%	60%	1
2.4	Revisión y marcado de sistema hidrosanitario							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	100%	1
2.5	Markado de tomacorrientes, puntos de red y apagadores en paredes livianas							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	100%	1
2.11	Instalación de previstas de tomacorrientes, apagadores y datos							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	100%	1
2.12	Instalación Aguas negras y ventilación Bmujeres							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75%	0%	0
2.13	Instalación Agua Potable Bmujeres							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75%	0%	0
2.19	Instalación de soportes para ductos cuarto eléctrico							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40%	40%	1
2.20	Aislamiento de ductos cuarto eléctrico							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10%	10%	1
2.29	Instalación de soportes para ductos cafetería							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50%	50%	1
2.30	Aislamiento de ductos cafetería							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20%	20%	1
3.1	Estructuración y primera cara de Gypsum de paredes de: baños, cuarto eléctrico, Cuarto TI, Storage Room, Janitor Room							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50%	50%	1
3.5	Instalación de soporteria y canasta de potencia							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40%	40%	1
3.6	Instalación de soporteria y canasta de telecom							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30%	30%	1
4.1	Colocación de tirantes							0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	90%	50%	0
4.2	Resoldado de tirantes							0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	40%	5%	0
4.3	Instalación de estructura							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5%	0%	0
4.4	Pasarelas							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5%	0%	0
			X					0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	PAC		61.1%

En vista de la mala evaluación semanal de la semana 2, se solicitó a los subcontratistas efectuar mejores análisis que cumplieran con la calidad requerida con la empresa. Adicionalmente, se asignó mayor tiempo durante la reunión semanal para discutir las restricciones. Gracias a dichos esfuerzos, se puede observar como el PAC fue aumentando ligera y progresivamente a partir de este punto, empezando con la semana 3.

Durante esta semana, fue particularmente SCALA, quien incumplió con su planeación, mas no fue por error de planificación, sino por un imprevisto considerable. Durante esta semana, mientras se daba el movimiento de tierras, aparecieron múltiples rocas con tamaños considerables, las cuales el backhoe era incapaz de mover. Por ello, debió solicitarse un martillo a la empresa MACOMA, no obstante, este equipo no estuvo disponible hasta casi dos semanas posteriores a la aparición de las rocas. Debido a esto, se requirió generar ajustes en el cronograma de cuartos externos.

Adicional a lo anterior, se denota un nuevo incumplimiento semanal del contratista de INCONSTRUCTION.

Figura 27. Plan Semanal de Evaluación Semana 3.

Actividad			Semana 3						Causas de No Cumplimiento (CNC)							Control semanal								
ID	Descripción	Encargado de liberar restricción	13-mar	14-mar	15-mar	16-mar	17-mar	18-mar	19-mar	Actividad predecesora	Falta material	Falta mano de obra	Falta equipo	Falta diseño	Subcontratista	Rendimiento MC	Clima	Causas externas	Otros	% Avance meta	% Avance ejecutado	Condición		
1.1	Movimiento de tierras	Sebastián Sandí																			100%	70%	0	
1.2	Excavación de media tensión	Sebastián Sandí								1												50%	0%	0
1.4	Obra Gris Subestación y Pads	Sebastián Sandí																				5%	0%	0
1.5	Obra Gris Pad Chillers	Sebastián Sandí																				30%	0%	0
2.1	Fono de paredes livianas	Marisol Riba									1											100%	50%	0
2.3	Marcos de puertas	Alejandro Redondo																				80%	80%	1
2.5	Definición de control de acceso	Sebastián Sandí																				100%	100%	1
2.13	Instalación Aguas negras y ventilación Bmujeres	María Benavides																				20%	20%	1
2.14	Instalación Agua Potable Bmujeres	María Benavides																				0%	50%	1
2.20	Instalación de soportes para ductos cuarto eléctrico	José Chaves																				70%	100%	1
2.21	Aislamiento de ductos cuarto eléctrico	José Chaves																				60%	70%	1
2.22	Instalación de ductos cuarto eléctrico	José Chaves																				60%	70%	1
2.23	Instalación de soportes para tuberías cuarto eléctrico	José Chaves																				70%	70%	1
2.30	Instalación de soportes para ductos cafetería	José Chaves																				100%	100%	1
2.31	Aislamiento de ductos cafetería	José Chaves																				80%	80%	1
2.32	Instalación de ductos cafetería	José Chaves																				60%	60%	1
3.1	Estructuración y primera capa de Gypsum de paredes de baños cuarto eléctrico, Cuarto TI, Storage Room, Janitor Room	Marisol Riba																				100%	100%	1
3.2	Instalación de refuerzos	Marisol Riba															1					100%	70%	0
3.5	Instalación de soportería y canasta de potencia	María Benavides																				50%	50%	1
3.6	Instalación de soportería y canasta de telecom	María Benavides																				50%	50%	1
4.1	Colocación de tirantes	Alejandro Redondo																				100%	100%	1
4.2	Resoldado de tirantes	Alejandro Redondo																				40%	50%	1
											4	0	0	0	0	0	1	0	0	1		PAC	72.7%	

Durante la semana 4 se observó un crecimiento del PAC, al haber obtenido un porcentaje del 80%. Esto es considerablemente positivo, pues nuevamente se equiparó con el puntaje de la primera semana.

Figura 28. Plan Semanal de Evaluación Semana 4.

Actividad			Semana 4						Causas de No Cumplimiento (CNC)							Control semanal									
ID	Descripción	Encargado de liberar restricción	20-mar	21-mar	22-mar	23-mar	24-mar	25-mar	26-mar	Actividad predecesora	Falta material	Falta mano de obra	Falta equipo	Falta diseño	Subcontratista	Rendimiento MC	Clima	Causas externas	Otros	% Avance meta	% Avance ejecutado	Condición			
1.1	Movimiento de tierras	Wíndal Chuón																				50%	50%	1	
2.2.1	Marcos de puertas CR	Alejandro Redondo																				100%	100%	1	
2.2.2	Instalación de refuerzos	Marisol Riba																				100%	100%	1	
2.2.3	Fono de paredes livianas	Marisol Riba																				100%	100%	1	
2.2.4	Supresión de incendio sobre CR	María Benavides																				60%	60%	1	
2.5.3	Instalación Aguas negras y ventilación Bmujeres	María Benavides																				70%	70%	1	
2.5.4	Instalación Agua Potable Bmujeres	María Benavides																				70%	70%	1	
2.6.1	Marcos de puertas aposentos restantes	Alejandro Redondo										1										90%	70%	0	
3.5	Instalación de soportería y canasta de potencia	María Benavides												1								95%	70%	0	
3.6	Instalación de soportería y canasta de telecom	María Benavides												1								95%	70%	0	
3.8	Soportería y tubería de sistema de supresión de incendio sobre CR y oficinas	María Benavides																				30%	30%	1	
3.9	Fabricación de ductos cuarto eléctrico	José Chaves																				25%	25%	1	
3.10	Instalación de soportería de ductos cuarto eléctrico	José Chaves																				25%	25%	1	
4.1	Resoldado de tirantes	Alejandro Redondo																				50%	50%	1	
4.2	Montaje de vigas principales	Alejandro Redondo																				100%	100%	1	
											0	0	1	0	2	0	0	0	0	0		PAC	100%	80%	

Una vez evaluada la semana 5, se observa que la tendencia creciente del PAC continúa. En este caso, se logra obtener un puntaje del 84,4%, siendo el más alto hasta la fecha. Nuevamente, los incumplimientos se dieron exclusivamente por parte de SCALA. Estos se debieron a que, por un tema de ahorro de dinero, se prefirió devolver el back hoe durante esa semana, ya que, por un tema de permisos y diseño, la ruta de media tensión aún no se encontraba definida, por lo que se pusieron en pausa las excavaciones. Por otro lado, el muro de retención no fue posible empezarlo durante esa semana debido a que se debía reubicar un árbol que se encontraba exactamente en la línea del muro y, por solicitud de la Zona Franca Coyol, este se debía trasplantar, por lo que tampoco se podía proceder con excavaciones en este frente.

Figura 29. Plan Semanal de Evaluación Semana 5.

Actividad			Causas de No Cumplimiento (CNC)														Control semanal				
ID	Descripción	Encargado de liberar restricción	Semana 5						Actividad predecesora	Falta material	Falta mano de obra	Falta equipo	Falta diseño	Subcontratista	Rendimiento MC	Clima	Causas externas	Otros	% Avance meta	% Avance ejecutado	Condición
			27-mar	28-mar	29-mar	30-mar	31-mar	1-abr													
1.1	Movimiento de tierras	Wándal Chacón																	60%	80%	1
1.2	Excavación de media tensión	Wándal Chacón										1	1					50%	0%	0	
1.6	Muro de Retención	Wándal Chacón									1							30%	0%	0	
1.7	Excavación Parada de Buses	Wándal Chacón							1									100%	0%	0	
2.2.4	Supresión de incendio sobre CR (Instalación de soporteria y tubería)	María Benavides																90%	90%	1	
2.3.2	Instalación de refuerzos	Marisol Riba																100%	100%	1	
2.3.3	Forro de paredes livianas	Marisol Riba																100%	100%	1	
2.3.7	Instalación de ductos cuarto eléctrico	José Chaves																80%	80%	1	
2.4.2	Forro de paredes livianas	Marisol Riba																90%	90%	1	
2.4.4	Instalación de soportes para ductos	José Chaves																85%	85%	1	
2.5.1	Marcos de puertas	Alejandro Redondo																100%	100%	1	
2.5.2	Forro de paredes livianas	Marisol Riba																60%	60%	1	
2.6.7	Aislamiento de ductos cafetería	José Chaves																100%	100%	1	
2.6.12	Canalización control de acceso	María Benavides																95%	95%	1	
3.1.1	Instalación de soporteria y canasta de potencia	María Benavides																100%	100%	1	
3.1.2	Instalación de soporteria y canasta de telecom	María Benavides																100%	100%	1	
3.3.1	Previstas electromecánicas																	90%	90%	1	
3.3.2	Segunda cara de Gypsum de paredes																	70%	70%	1	
4.1	Resoldado de tirantes	Alejandro Redondo																100%	100%	1	
4.3	Vigas secundarias y tirantes (tramo 1 y 2)	Alejandro Redondo																100%	100%	1	
4.4	Montaje de Pasarelas (tramo 1 y 2)	Alejandro Redondo																100%	100%	1	
4.5	Vigas Secundarias y arriostres (tramo 3 y 4)	Alejandro Redondo																50%	50%	1	
			Σ						1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	<b>PAC</b>	84.4%

Seguidamente, se observa en la Figura 30 que para la semana 6, de forma lamentable, el PAC sufrió un retroceso considerable. El puntaje de esta semana fue de 77,3%. Nuevamente, se evidencia retrasos en las obras exteriores, así como en la estructura metálica de parte de INCONSTRUCTION. Esta afectación genera múltiples inconvenientes que generan impactos en el sector del cuarto limpio, pues el retraso con esta estructura metálica es de casi un mes hasta este punto.

**Figura 30.** Plan Semanal de Evaluación Semana 6.

Actividad			Causas de No Cumplimiento (CNC)													Control semanal					
ID	Descripción	Encargado de liberar restricción	Semana 6						Actividad productora	Falta material	Falta mano de obra	Falta equipo	Falta diseño	Subcontratista	Reajuste MD	Clima	Causas externas	Otras	% Avance meta	% Avance ejecutado	Condición
			3-abr	4-abr	5-abr	6-abr	7-abr	8-abr													
1.1	Movimiento de tierras	Wánda  Chacón																	100%	100%	1
1.2	Excavación de media tensión	Wánda  Chacón						1											100%	0%	0
1.3	Cableado de media tensión y losa de protección	María Benavides																	50%	0%	0
1.4	Obra Gris Subestación y Pads	Wánda  Chacón																	25%	25%	1
1.5	Obra Gris Pad Chillers	Wánda  Chacón																	33%	33%	1
2.2.4	Supresión de incendio sobre CR (Instalación de soportería, tubería y rociadores)	María Benavides																	100%	100%	1
2.2.5	Tubería de agua helada	José Cheves																	20%	20%	1
2.3.7	Instalación de minisplits	José Cheves																	60%	60%	1
2.3.9	Instalación de soportería y tubería acometidas eléctricas	María Benavides																	50%	60%	1
2.3.10	Cajones de tableros	María Benavides																	100%	100%	1
2.4.6	Instalación de ductos Toolshop.	José Cheves																	25%	25%	1
2.4.7	Instalación de soportes para tuberías Toolshop.	José Cheves																	50%	50%	1
2.5.2	Forno de paredes livianas B. Mujeres	Marisol Riba																	60%	60%	1
2.5.3	Prewistas electromecánicas	María Benavides																	70%	70%	1
2.5.4	Prueba potable Mujeres	María Benavides																	100%	100%	1
2.5.5	Prueba potable Hombres	María Benavides																	100%	100%	1
3.3.6	Instalación de ductos baños N200	José Cheves																	15%	15%	1
3.7.1	Estructuración y primera cara de Gypsum oficinas N200	Marisol Riba																	100%	100%	1
4.4	Montaje de Pasarelas (tramo 1 y 2)	Alejandro Redondo							1					1				100%	0%	0	
4.5	Vigas Secundarias y arnstres (tramo 3 y4)	Alejandro Redondo																100%	100%	1	
4.6	Montajes de pasarelas (tramo 3-4-5-6)	Alejandro Redondo							1					1				100%	0%	0	
4.7	Vigas Secundarias y arnstres (tramo 5 y 6)	Alejandro Redondo							1					1				100%	0%	0	
			Σ						2	3	0	0	1	0	3	0	0	0	<b>PAC</b>	77,3%	



Finalmente, en la última semana de evaluación se procedió a generar un análisis aún más profundo de las actividades en conjunto con los ingenieros, gerentes de proyectos y maestros de obra de cada subcontratista. Como resultado, se obtuvo la calificación más alta de PAC hasta el momento (94,4%) y, por primera vez, se obtuvo un puntaje acorde con lo que la filosofía considera como bueno o positivo.

Cabe destacar que la única actividad que no se completó fue la estructuración de cenefas en baños, debido a que el enchapado de ellos entró antes de lo previsto, por lo que debió clausurarse por completo para las otras actividades.

**Figura 32.** Plan Semanal de Evaluación Semana 8.

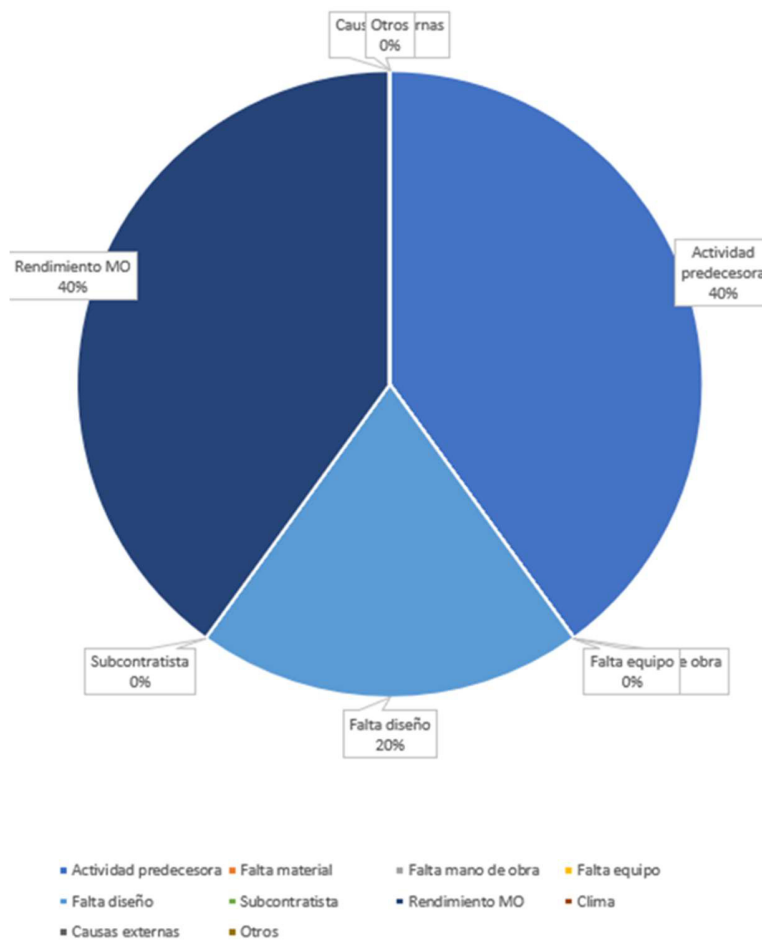
Actividad			Semana 8						Causas de No Cumplimiento (CNC)										Control semanal				
ID	Descripción	Encargado de liberar restricción	17-abr	18-abr	19-abr	20-abr	21-abr	22-abr	23-abr	Actividad predecesora	Falta material	Falta mano de obra	Falta equipo	Falta diseño	Subcontratista	Reajuste MC	Otra	Causas externas	Otros	% Avance meta	% Avance ejecutado	Condición	
1.1.3	Obra Civil Pareda de Buses	Wánda! Chacón																		33%	33%	1	
1.1.4	Excavación tubería de incendio	Wánda! Chacón																		100%	100%	1	
1.1.5	Tubería de incendio	María Benavides																		20%	20%	1	
1.2.1	Paredes subestación	Wánda! Chacón																		80%	80%	1	
1.3.1	Fundaciones Casa de máquinas	Wánda! Chacón																		100%	100%	1	
1.5.1	Fundaciones	Wánda! Chacón																		25%	25%	1	
1.5.3	Incendio C-900	Wánda! Chacón																		25%	25%	1	
2.2.1	Supresión de incendio sobre CR (Instalación de soportera y tubería y rociadores)	María Benavides																		80%	80%	1	
2.2.6	Instalación de ductos CR (primera mitad)	Jose Chaves																		30%	30%	1	
2.4.6	Instalación de ductos Toolshop	Jose Chaves																		50%	50%	1	
2.5.1	Forno de paredes livianas	Marisol Riba																		100%	100%	1	
2.5.2	Prueba potable Mujeres	María Benavides																		100%	100%	1	
2.5.3	Prueba potable Hombres	María Benavides																		100%	100%	1	
2.5.4	Enchape de paredes B Mujeres	Sebastian Sandi																		50%	50%	1	
2.5.5	Estructuración de cenefas	Marisol Riba																1		100%	80%	0	
3.1.5	Previstas de TV	María Benavides																		100%	100%	1	
3.3.1	Previstas electromecánicas	María Benavides																		100%	100%	1	
3.3.1	Pruebas potable	María Benavides																		100%	100%	1	
									Σ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	PAC	94,4%

## Gráfico de CNC, Shockwave Medical

Los gráficos de las CNC brindan una visibilidad gráfica y resumida de los motivos por los cuales no se cumplieron las tareas propuestas de esa semana.

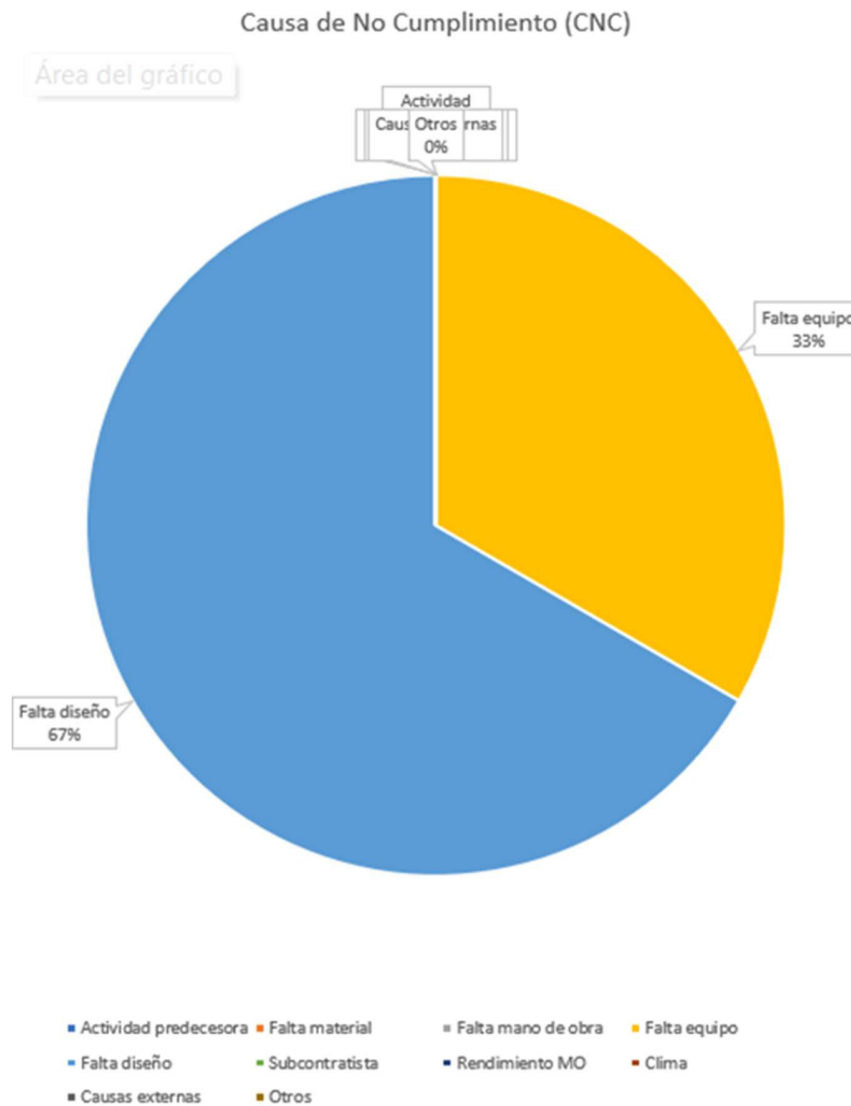
Para la primera semana, se observa que los dos principales problemas fueron el rendimiento de la mano de obra (40%) y las actividades predecesoras (40%). Una vez que se observó que la mano de obra resultó un problema, se procedió a solicitar más personal de parte de los subcontratistas. Problemas en el diseño del proyecto constituyeron inconvenientes, pero en una proporción reducida.

Figura 33. CNC Semana 1.



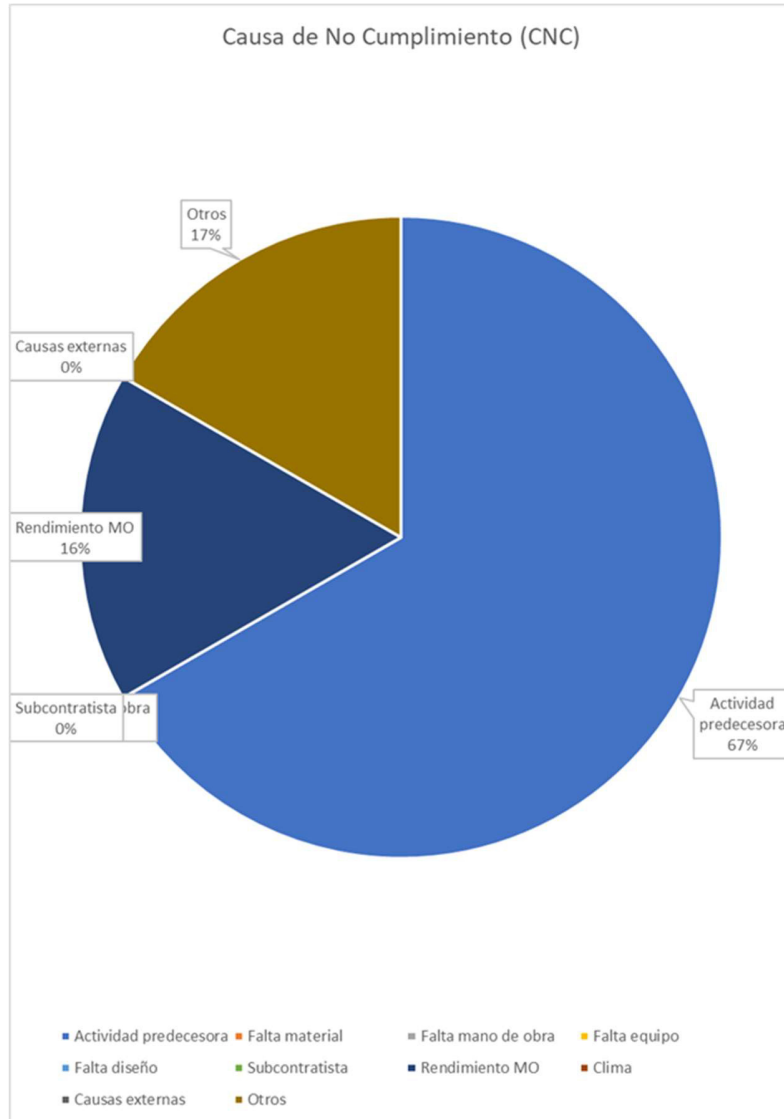
La Figura 34 muestra como los problemas de diseño tuvieron un peso importante en el incumplimiento de las actividades. Esto es vital saberlo, pues es algo que genera una afectación al curso de la construcción de la obra, sin ser responsabilidad de la empresa constructora. En menor proporción, se encontraron problemas de falta de equipo, lo cual es atribuible a que al ser semanas de inicio del proyecto, no se logra tomar en consideración absolutamente todos los equipos requeridos para la ejecución del mismo.

Figura 34. CNC Semana 2.



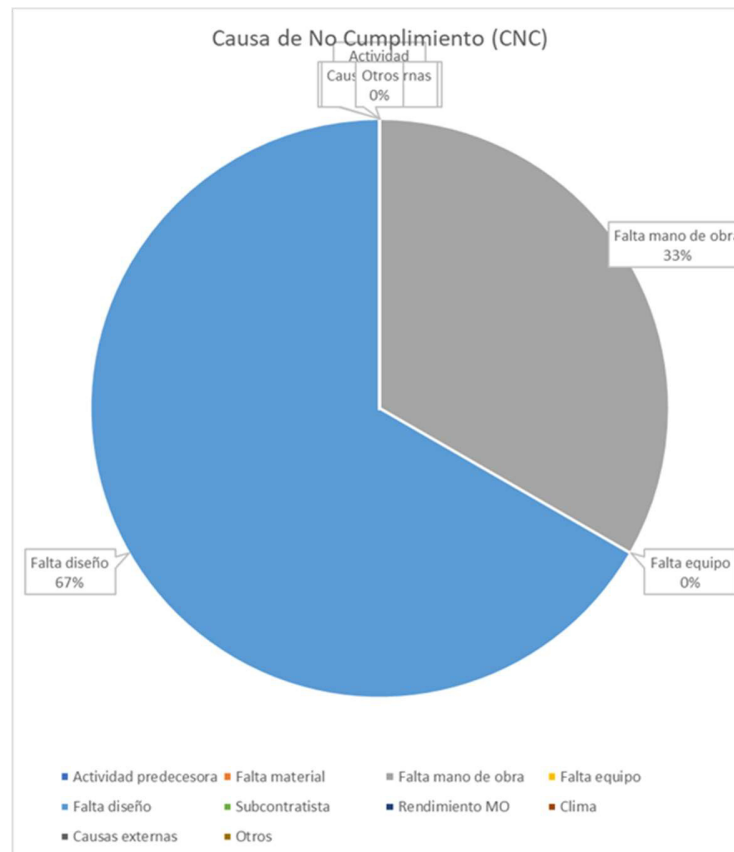
Durante la semana 3 el movimiento de tierra generó un atraso en múltiples actividades por lo que en las causas de no cumplimiento predominaron las actividades predecesoras. Además, durante esta semana se dio la aparición de rocas de gran magnitud, categorizada como “otros” dentro de las CNC y fue esto lo que generó el retraso de las demás actividades.

Figura 35. CNC Semana 3.



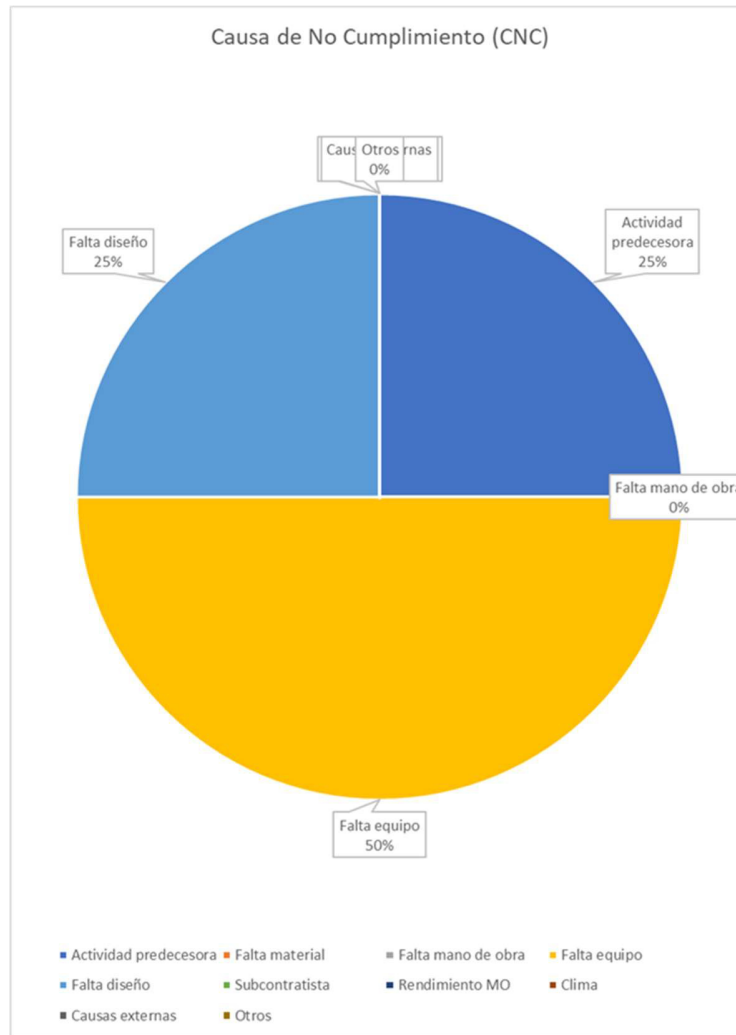
Para el caso de la semana 4, como CNC predominó las faltas en diseño. Esto debido a que SCALA, en conjunto con sus subcontratistas, asumió la responsabilidad de generar un modelo BIM con los cielos conciliados del proyecto, debido a que existían múltiples choques entre las instalaciones electromecánicas y sistemas de aire acondicionados. Este modelo pretendía dar solución a dichos choques, sin embargo, por la cantidad de elementos, así como la complejidad de estos, el modelo tardó más de lo esperado, lo cual produjo esta causa de no cumplimiento.

**Figura 36.** CNC Semana 4.



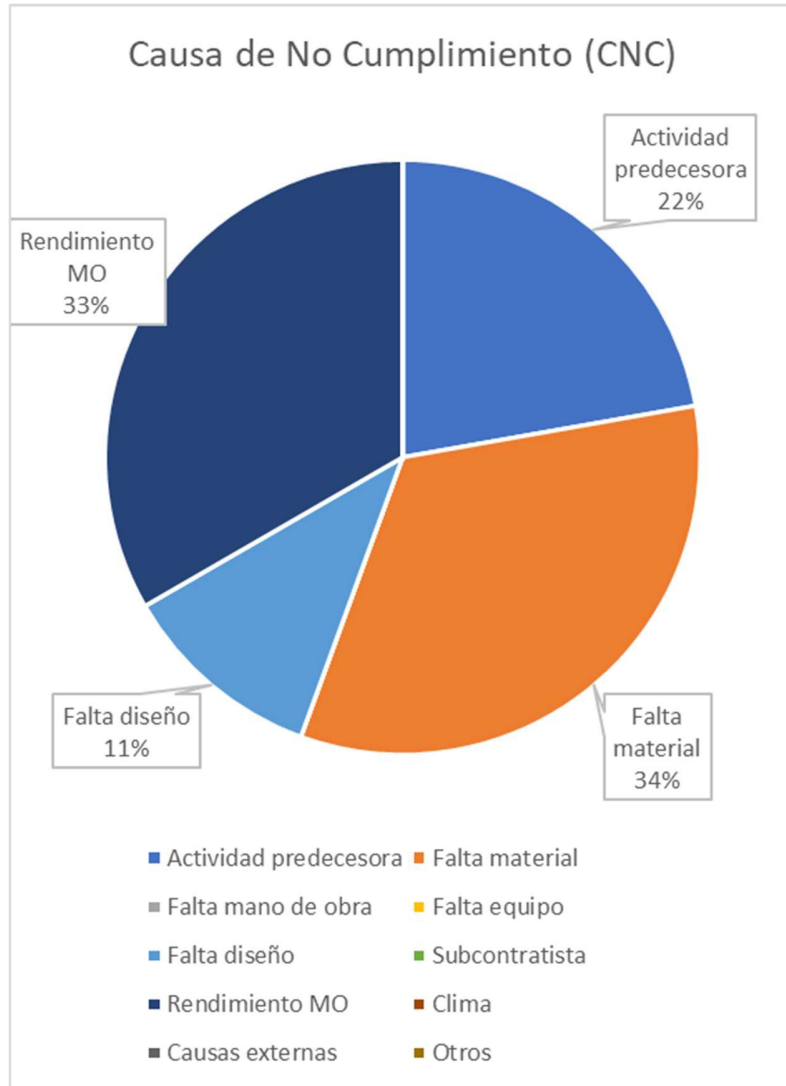
Para la semana 5, por motivos de presupuesto, se decidió retirar el backhoe del proyecto, ya que no se estaba aprovechando en su totalidad por faltas en el diseño. De ahí que la falta de equipo constituye el 50% de las CNC de esta semana.

Figura 37. CNC Semana 5.



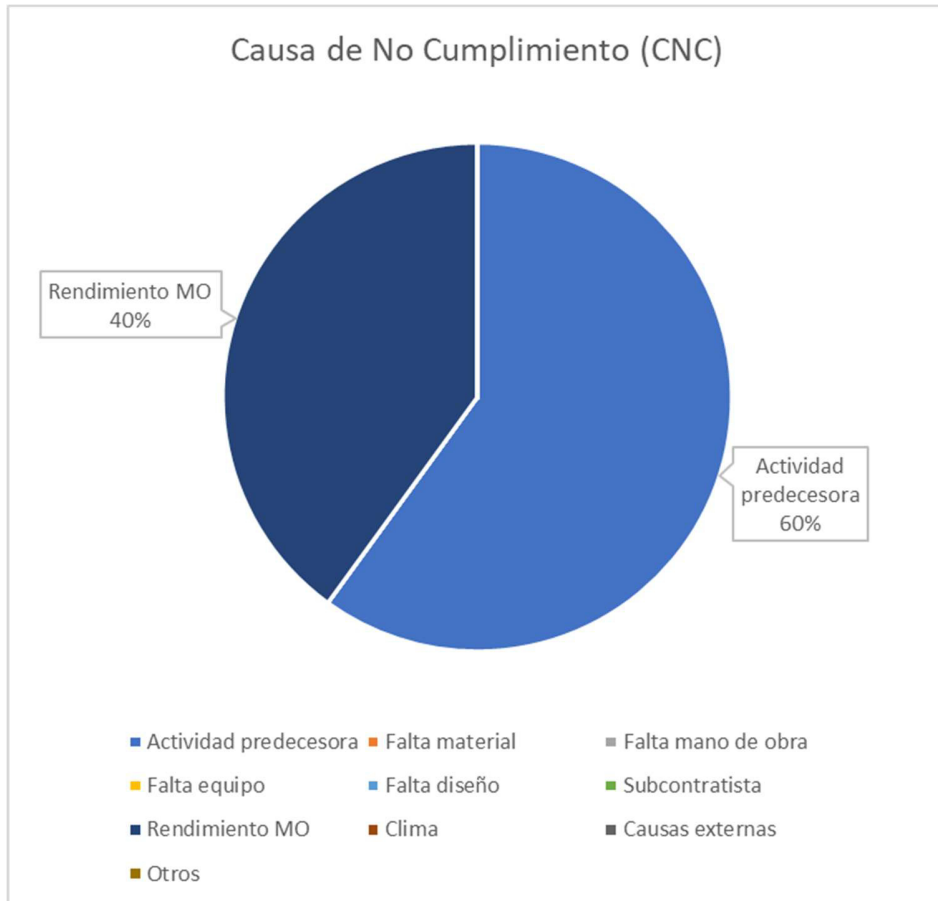
En el caso de la semana 6, las actividades que no se pudieron completar correspondieron principalmente al rendimiento de mano de obra (33%) y la falta de material (34%). Esto debido a la falta de comunicación y mal desempeño, principalmente del subcontratista INCONSTRUCTION.

Figura 38. CNC Semana 6.



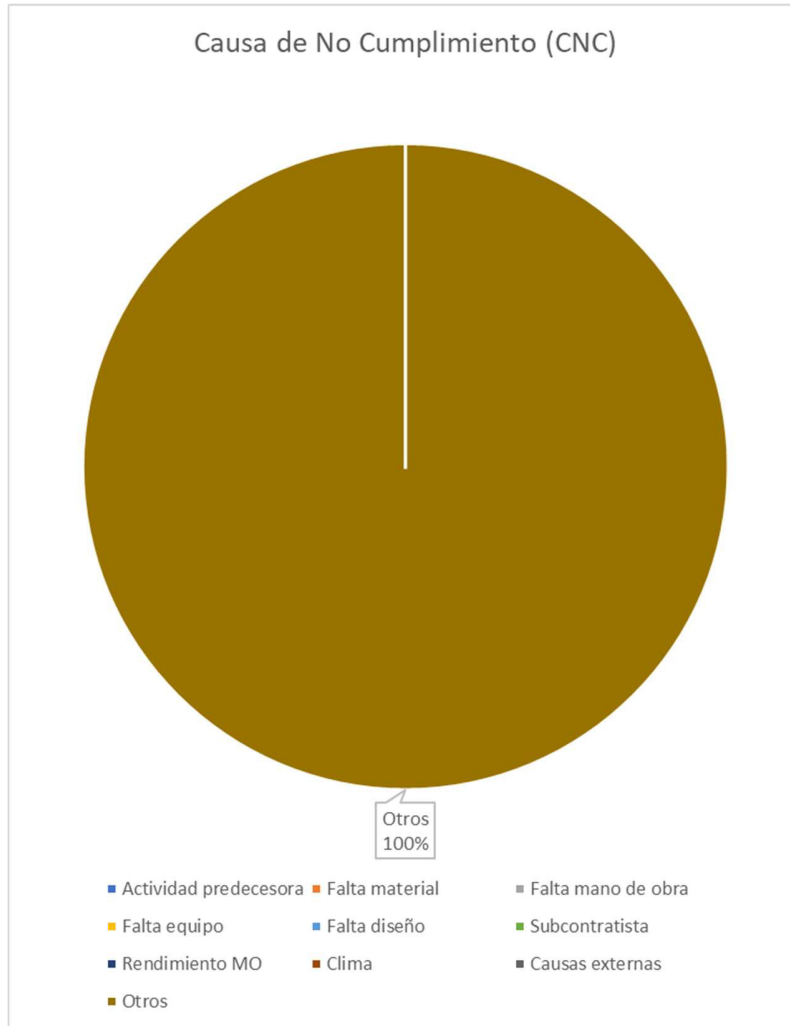
En la semana 7, el rendimiento de la mano de obra de INGELECTRA fue insuficiente (40%), lo que generó un efecto en cadena que retrasó otra serie de actividades. Por lo tanto, mayoritariamente las actividades se atrasaron esta semana debido a una actividad predecesora.

Figura 39. CNC Semana 7.



Finalmente, en la última semana de evaluación, la única CNC se debió a que una actividad que formaba parte de la ruta crítica se pudo iniciar antes de los previsto, por lo que se puso en pausa la estructuración de las cenefas, no obstante, estas terminaron dos días después de los previsto inicialmente.

Figura 40. CNC Semana 8.



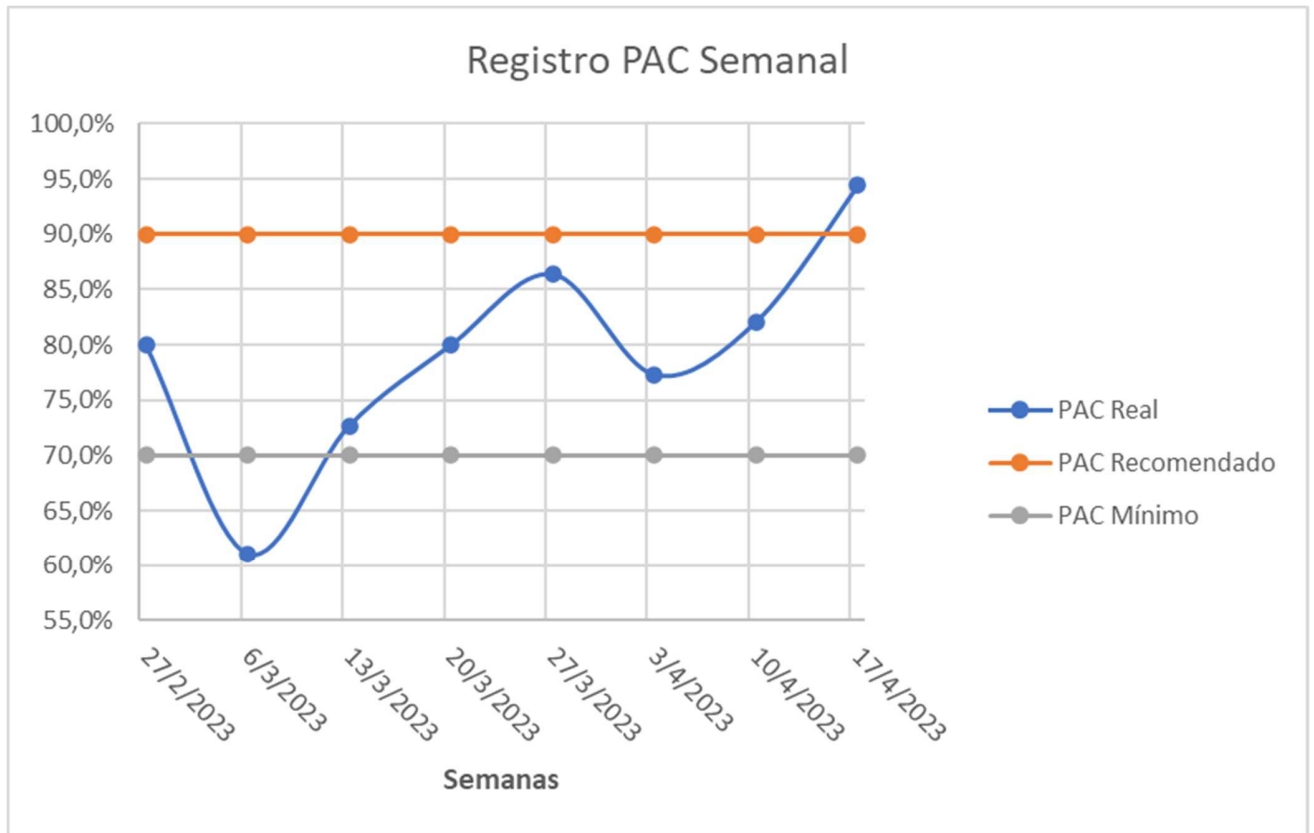
## Registro de PAC semanal, Shockwave Medical.

En este apartado se registra la totalidad de los Porcentajes de Actividades Completadas de todas las 8 semanas estudiadas. Adicionalmente, la Figura 41 evidencia el comportamiento gráfico del PAC mediante los parámetros establecidos por la filosofía LEAN.

**Cuadro 13.** Registro de PAC semanal.

Semana	Fecha	PAC Real	PAC Recomendado	PAC Mínimo
1	27/2/2023	80,0%	90%	70%
2	6/3/2023	61,1%	90%	70%
3	13/3/2023	72,7%	90%	70%
4	20/3/2023	80,0%	90%	70%
5	27/3/2023	86,4%	90%	70%
6	3/4/2023	77,3%	90%	70%
7	10/4/2023	82,1%	90%	70%
8	17/4/2023	94,4%	90%	70%

Figura 41. Gráfico del registro del PAC semanal.



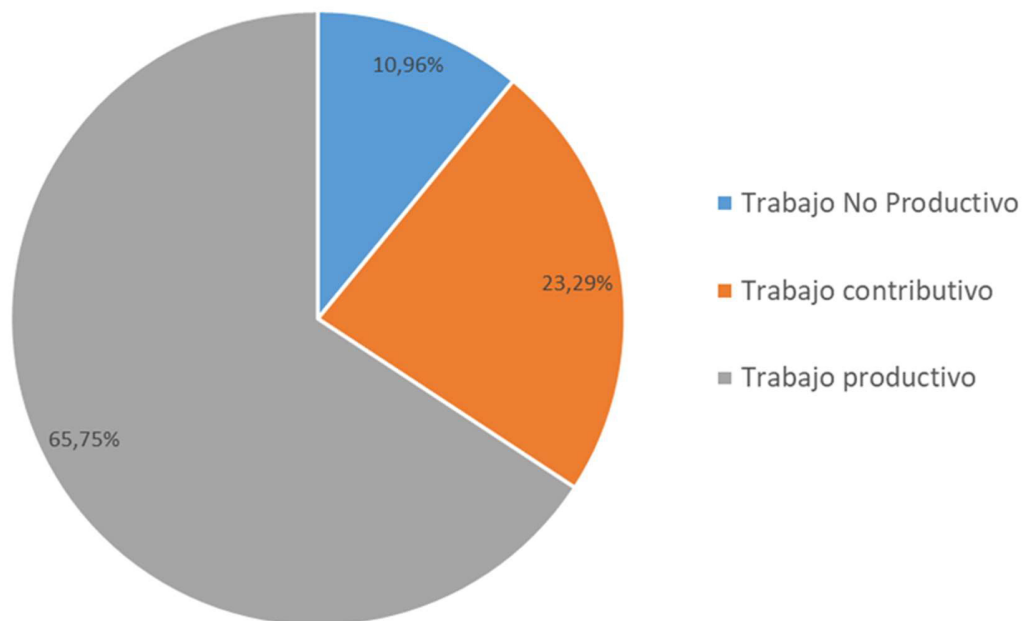
Como se especifica anteriormente, todas las partes del Last Planner System desarrolladas en este apartado fueron parte del cuarto objetivo específico y se basaron en la guía del efectuada para el tercer objetivo específico. Esto con el fin de llevar a la práctica aquellos procedimientos teóricos entregados a la empresa, para evaluar su funcionalidad en los proyectos de acabados especializados.

# Registro de productividad, Shockwave Medical

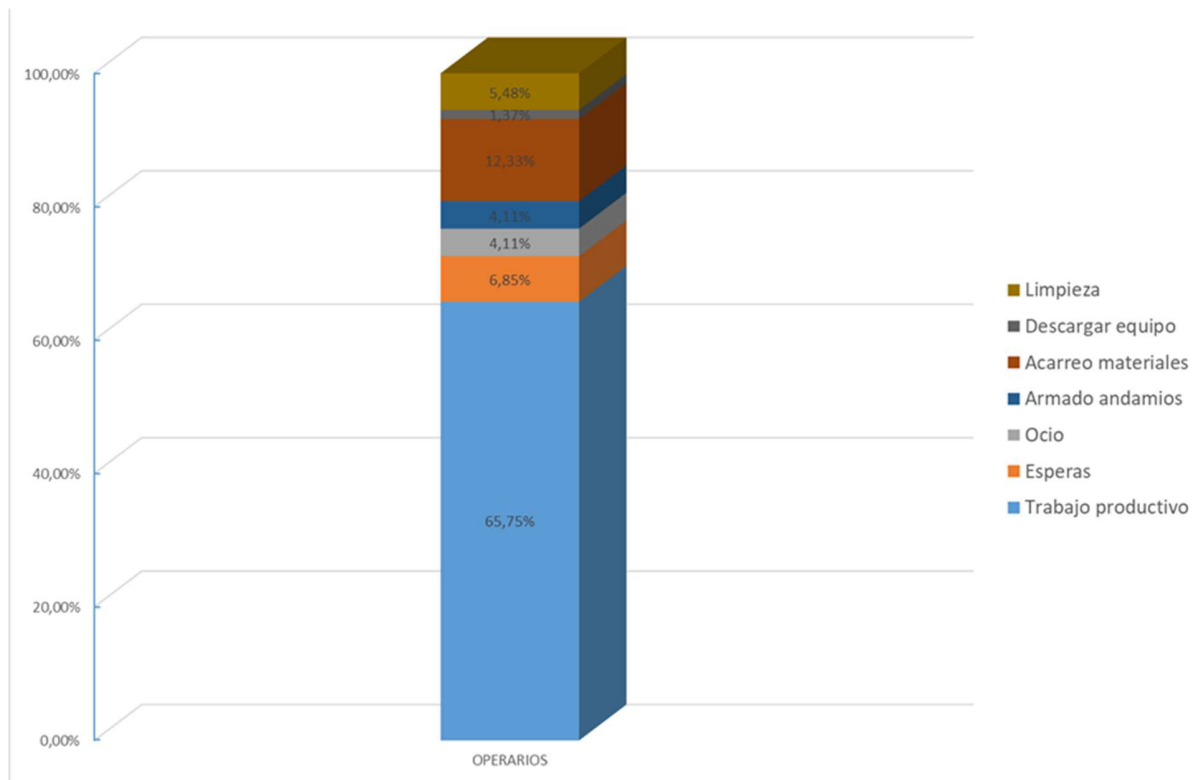
Con el fin de verificar el cumplimiento del propósito del LPS, así como para respaldar los resultados obtenidos en el apartado anterior, se registró la productividad de tres distintos procesos, los cuales involucraron a los principales subcontratistas de SCALA para el proyecto Shockwave Medical. Las productividades cuantificadas corresponden a las actividades de conformación de paredes livianas, instalación de ductos de aire e instalación de sistema de supresión contra incendio. A continuación, se observan los gráficos obtenidos de dicho estudio. Para los registros completos de productividad, refiérase al apéndice 5 del presente trabajo. Cabe destacar que cada proceso implicó un total de 6 horas de medición en intervalos de 5 minutos, distribuidos a través de distintos días y horas del día. Esta sección constituye, de igual manera, el desarrollo del cuarto objetivo específico.

En la Figura 42 se puede observar la distribución de tiempos para la conformación de paredes livianas, obteniendo un 65,75% de tiempo productivo, 10,96% de trabajo no productivo y 23,29% en trabajo contributivo al proceso. Por otro lado, la Figura 43 muestra con mayor detalle las actividades en las que cada tipo de tiempo se desglosa, para conocer con mayor detalle en cómo se invirtió el tiempo estudiado.

**Figura 42.** Distribución de tiempos para conformación de paredes livianas.

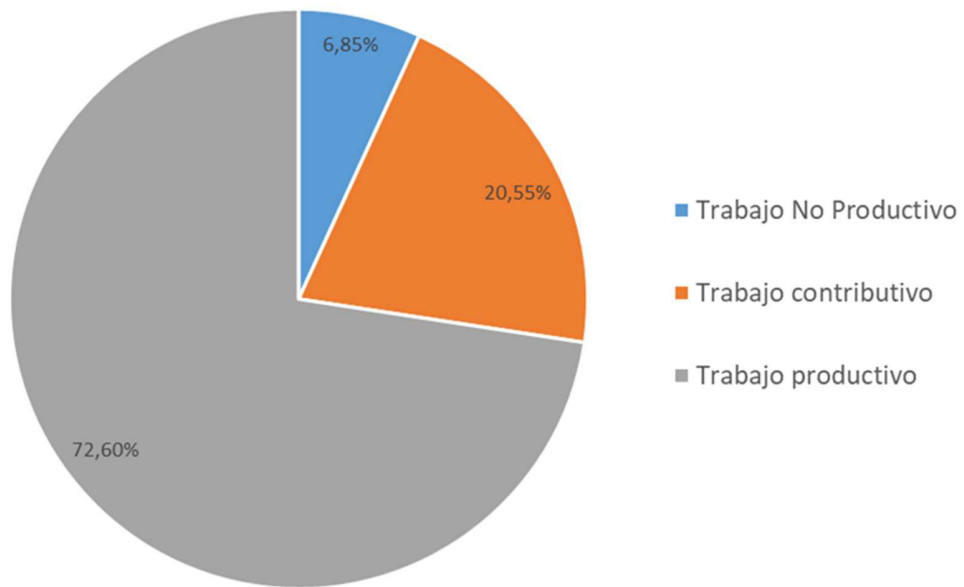


**Figura 43.** Gráfico “Crew Balance” para la conformación de paredes livianas.

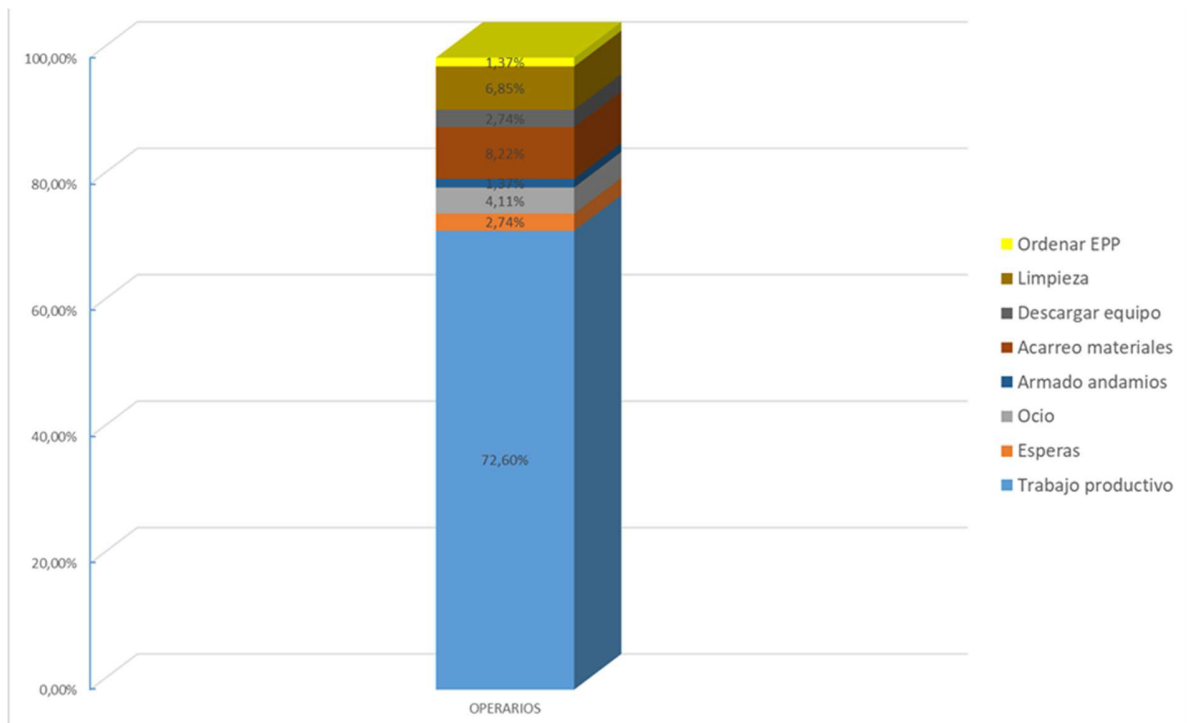


Con relación al segundo proceso medido, los resultados de la instalación de ductos de aire del proyecto se evidencian en las figuras 44 y 45. Se observa que se obtuvo un total 72,60% en el tiempo productivo, 20,55% del tiempo fue contributivo y tan solo 6,85% del tiempo fue no contributivo. Estos tiempos se desglosan con mayor detalle en el gráfico “Crew Balance” del proceso.

**Figura 44.** Distribución de tiempos para instalación de ductos de aire.



**Figura 45.** Gráfico "Crew Balance" para la instalación de ductos de aire.



El tercer y último proceso cuya productividad fue cuantificada corresponde a la instalación del sistema de supresión contra incendios del proyecto. De acuerdo con la Figura 46, el tiempo productivo de este proceso fue de 71,23%, el tiempo contributivo de 21,92% y el tiempo o trabajo no productivo de 6,85%. En la figura 47 se puede apreciar el desglose de cada uno de los tiempos en cuestión.

**Figura 46.** Distribución de tiempos para instalación de sistema de supresión de incendios.

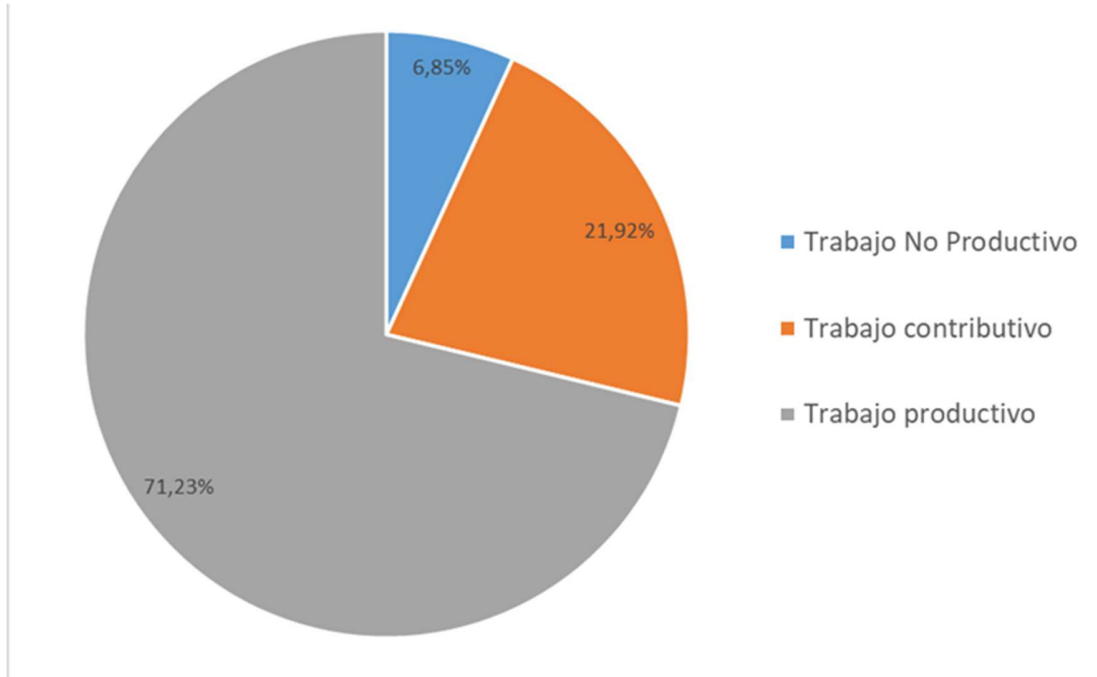
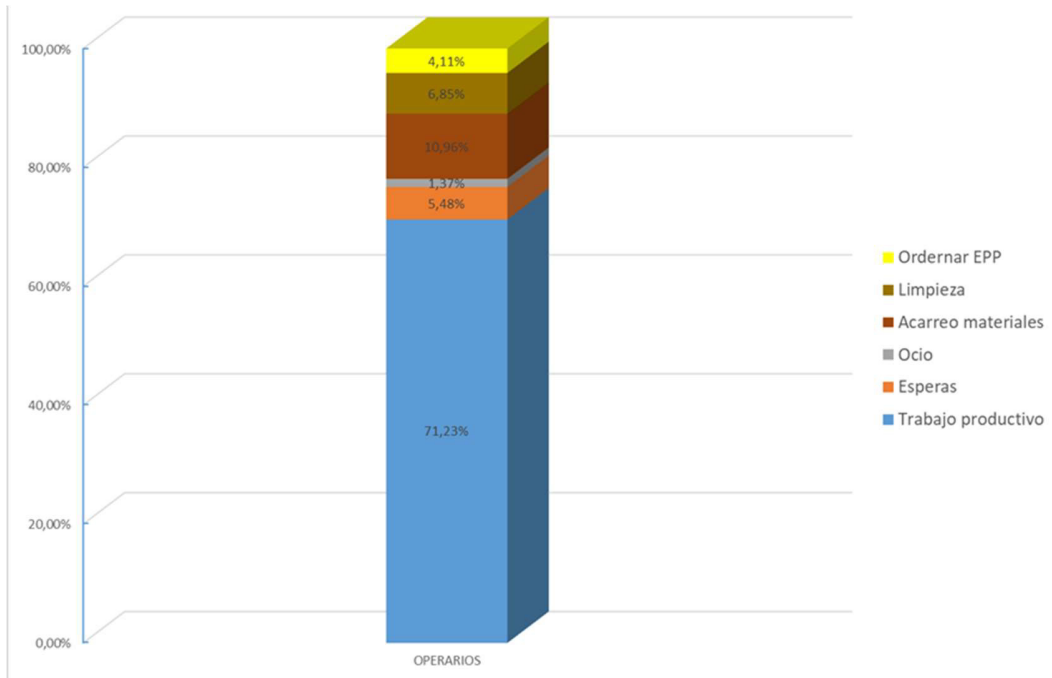


Figura 41. Gráfico "Crew Balance" para la instalación de sistema de supresión de incendios.



# Capítulo 4: Análisis de resultados

El presente apartado contiene el análisis de cada uno de los resultados establecidos en el apartado anterior. Se busca realizar un análisis tanto cualitativo, como cuantitativo, de modo que su interpretación sea lo más acertada posible.

## Procesos actuales de planificación de la empresa y su brecha respecto a Lean

Se considera necesario profundizar sobre el análisis en las necesidades que evidenció SCALA dentro de dicho informe. Esta subsección pretende analizar los resultados de los primeros dos objetivos específicos, pues son profundamente interrelacionados y se considera necesario hacerlo de forma simultánea.

Dentro de las prácticas recomendadas con LPS y dando inicio al proceso de análisis con el Plan Maestro, se determina que no es necesaria ninguna acción correctiva. Lo anterior debido a que es una buena práctica que los ingenieros dentro de la empresa ejecutan diligentemente, no solo al inicio del proyecto, sino a lo largo de toda su ejecución. Este plan les brinda pautas fundamentales con relación a los hitos de los proyectos que deben cumplirse como parte de los compromisos contractuales. Por lo tanto, al observar su correcto cumplimiento conforme a la teoría, no se determina necesario efectuar cambios en esta práctica.

Por otro lado, la designación de responsables sí requiere de acciones correctivas. Según lo ejemplifica Chacón (2023) en la entrevista, empresas como Volio y Trejos designaba una persona en particular dedicada la totalidad del tiempo a la liberación de restricciones durante la planeación. Esto brinda claridad en el desarrollo de las funciones, pues el designado es consciente de sus responsabilidades y es quien debe rendir cuentas en este ámbito. SCALA, al no hacer una designación oficial de responsables al inicio de la obra, puede experimentar un abandono de dichas responsabilidades o bien, dejar restricciones sin resolverse pues no hay claridad de quien deba hacerlo. Por lo tanto, se determina fundamental que se ejecute una designación de uno o varios responsables al inicio de la obra para liberar las restricciones que puedan ocurrir, de modo que sea un compromiso escrito, así como contractual en el caso de involucrar a subcontratistas en este proceso.

Con relación al Plan Intermedio, nuevamente es necesario aplicar medidas correctivas. Esto se debe a que SCALA, hasta la actualidad, se encuentra utilizando un Plan de Tres Semanas. Sin embargo, la filosofía dicta que el tiempo prudencial es de mínimo cuatro semanas, por lo que se incumple con el periodo mínimo de análisis recomendado. Esto se debe a que tres semanas puede resultar insuficiente para liberar determinadas restricciones, por lo que una semana adicional brinda un margen de tiempo más aceptable para actuar con suficiente antelación. Un caso claro de esto ocurrió durante la ejecución del plan piloto, cuando se dio la aparición de grandes rocas durante los movimientos de tierra. Esta restricción implicó varias semanas para su liberación, pues el equipo no estaba disponible, así como el tiempo necesario involucrado para romper la roca. Por lo tanto, tras analizar la insuficiencia del tiempo que representa una planeación de apenas tres semanas, se recomienda utilizar como mínimo cuatro semanas para la planeación intermedia del LPS.

El análisis de restricciones también amerita de un cambio, pues en los resultados se observa que no es una práctica que forme parte de los quehaceres de SCALA. Por otra parte, si es posible encontrarla en empresa de magnitudes similares, tales como Volio y Trejos, Bilt y Grupo Leumi, según información recolectada previamente. Por ende, es requisito que se genere un cambio en este aspecto, con el fin de poder detallar las restricciones presentes en la ejecución de las actividades. Este proceso debe ir acompañado del plan intermedio, pues es algo que debe hacerse semana a semana como requisito solicitado de la herramienta.

La reunión semanal es una práctica habitual de la empresa, así como de la competencia. A primera vista, podría determinarse que no se requiere de acciones correctivas. Sin embargo, es necesario que durante estas reuniones se incorpore el proceso de análisis de restricciones en conjunto con la evaluación del plan de cuatro semanas y la evaluación semanal, donde los contratistas observen la calificación obtenida en el desempeño y cumplimiento de sus actividades.

Finalmente, la evaluación semanal es una de las actividades más críticas que debe incorporar SCALA, como parte del proceso Lean. En los resultados se determinó que aún no se realiza, pero no hacerlo contiene múltiples implicaciones. En primera instancia, no hay una medición objetiva de las metas cumplidas, en comparación con las metas propuestas para una semana determinada. Tampoco existe una trazabilidad apropiada de las fechas de inicio y finalización de las tareas, por lo que no hay claridad en los tiempos de cumplimiento de los subcontratistas para cada actividad. Esto es fundamental, pues es una herramienta que permite dejar constancia de incumplimientos que puedan afectar la ruta crítica del proyecto, lo que facilita el proceso de aplicación de multas en caso de ser necesario. Por lo tanto, de todas las actividades propuestas en el LPS, esta es la que requiere de mayor urgencia y cuidado en su implementación durante el plan piloto y durante la incorporación de Lean a SCALA.

Habiendo finalizado con el análisis de la situación de SCALA, así como sus acciones correctivas necesarias para el fortalecimiento del uso del Last Planner, se procede a analizar los resultados obtenidos de las entrevistas realizadas. Como primer punto a analizar, se debe considerar la disposición de los ingenieros de la empresa para incorporar la filosofía en su labor diario. La Figura 12 indica que el 100% de los entrevistados tienen dicha disposición de aprender y aplicarlo en su trabajo. Asimismo, en la Figura 13 se obtiene que la totalidad de los entrevistados consideran como esencial la planeación colaborativa para el éxito del proyecto. Por lo tanto, como punto de partida es posible determinar que hay total anuencia por parte del personal por aprender y utilizar la filosofía Lean dentro de sus proyectos.

Una vez que se determinó la disposición del personal, se debe averiguar su nivel de conocimiento del tema, para saber qué clase de capacitación se debe impartir en la ejecución del plan piloto. La Figura 11 demuestra que dos terceras partes de los entrevistados han recibido capacitación formal del tema, mientras que la Figura 14 muestra que todos los ingenieros entrevistados están familiarizados con parte del LPS, debido a que se utiliza parcialmente. Esto significa que en algún punto de sus carreras han tenido roce con esta metodología, y contemplando lo estipulado en las Figuras 12 y 13, han obtenido buenos resultados con su uso, pues tienen un concepto positivo de ella. Por lo tanto, se determina que no es necesario generar una capacitación formal de personal, sino que basta con presentar las herramientas utilizadas durante el plan piloto para poner a prueba la filosofía en los proyectos de acabados y mejoras internas de SCALA.

## **Guía para generar una planeación LEAN mediante el Last Planner System**

En esta subsección pretende analizar brevemente de cada una de las partes de la guía y su significancia. Además, corresponde al análisis del tercer objetivo específico.

Como parte fundamental del LPS y de esta guía, se parte por el Plan Maestro o cronograma general de la obra. La importancia de esta sección es identificar todas las actividades e hitos principales del proyecto dentro del plazo establecido para su ejecución y entrega. Construir un plan maestro se considera completamente necesario, pues es la guía básica para el acomodo de múltiples actividades de la obra,

además de que es el punto de partida para toda la logística que implica la construcción de la obra. Una construcción que carezca de un cronograma general apropiado podrá verse perjudicada por falta de organización, llegando a sufrir consecuencias varias como multas por atrasos u afectaciones en el presupuesto.

La Designación de Responsables se consideró necesaria, debido a la necesidad que representa para la empresa tener claridad de quién es el encargado de cada frente de trabajo o disciplina. Esto se debe principalmente a la cantidad de subcontratistas que utiliza SCALA, por lo que definir esto con claridad implica que se posee una persona determinada para rendir cuentas y encargarse de la apropiada ejecución de tareas o procesos específicos.

La Planificación Intermedia, por otro lado, al ser una planificación más detallada, se consideró indispensable debido a lo detallada que en teoría se debe realizar. Su utilidad reside en identificar, no solo las tareas que componen los procesos, sino también las restricciones que pueden llegar a afectar su ejecución. Por ende, de acuerdo con la plantilla suministrada en la presente guía es que se estipularon las restricciones más comunes que se dan dentro de la construcción, de modo que se facilite su identificación en el momento en que se ejecuta la planeación. Asimismo, para esta guía se seleccionaron cuatro semanas debido a la rápida ejecución de los proyectos de la empresa. En vista de que estos son “fast track” y su duración no acostumbra a superar los seis meses, cuatro semanas se consideró el tiempo óptimo de planeación debido a la cantidad tan extensa de actividades que componen cada una de las semanas. Además, se consideró que incluir mayor cantidad de semanas en la planeación puede perjudicar su veracidad y, por lo tanto, afectar el cumplimiento de lo planeado.

El Análisis de Restricciones para esta guía se considera un complemento de la planificación intermedia y su importancia reside en que, realizado de manera correcta, se podrán atender de manera oportuna cada una de ellas. De este modo, la ejecución de las tareas planificadas puede transcurrir en su mayoría de una forma continua e ininterrumpida. Por otro lado, de no hacerlo, las restricciones se manifestarán de igual manera como imprevistos que afectarán directamente al plazo de las tareas y se requerirá de esfuerzos adicionales y reprocesos para su corrección.

El Plan de Evaluación Semanal es el elemento que brinda la trazabilidad de todo este proceso, pues constituye al indicador de la cantidad de actividades que fueron completadas en una semana específica en comparación con las que se habían planificado que terminaran esa misma semana. Con relación a las métricas de esta parte del proceso, se establecieron exclusivamente basados en lo establecido en el Marco Teórico, pues es lo que dicta la teoría. Es fundamental analizar el contexto de la construcción en Costa Rica y también en la empresa una vez que se implemente, con el fin de evaluar si las métricas efectivamente son asequibles o si es prudente flexibilizar estos parámetros.

Dado a la programación del archivo entregado a la empresa, al rellenar las CNC en el Plan de Evaluación Semanal, se obtienen automáticamente, de manera porcentual los gráficos relacionados con este tema. Esto es imperativo, pues le da una visibilidad gráfica al ingeniero de los problemas que afronta la obra. Analizarlos y atenderlos prontamente significa su solución y una lección aprendida dentro del proyecto para que no se repitan.

Por último, el Registro del PAC semanal es importante dado a que ofrece el panorama completo en cuanto al cumplimiento de la planificación de la obra. El gráfico aquí obtenido evidencia exactamente en qué semanas se incumplieron las métricas propuestas, por lo que también constituye a lecciones aprendidas del proyecto. Este registro pretende ser un punto de partida para futuros proyectos, de modo que las deficiencias identificadas puedan ser corregidas en ellos.

# Fortalecimiento del uso del Last Planner System

Con relación al fortalecimiento del uso de Last Planner en el proyecto Shockwave Medical, según lo estipulado en la guía generada, múltiples puntos deben ser analizados. Esta subsección obedece al análisis y parte de la solución del cuarto objetivo específico.

En primera instancia, se observa que la cada una de las etapas propuestas del LPS se consideró dentro de este plan durante sus ocho semanas de ejecución. En segundo lugar, se procede a tomar de punto de referencia la Figura 41, donde se observa el comportamiento del cumplimiento de las actividades a lo largo de este periodo.

Durante la semana 1, que fue la semana de inicio del proyecto, las actividades se completaron dentro del rango de lo aceptable. Es preciso hacer referencia de la Figura 17, pues esta muestra que, en realidad, dicha semana constituyó a la ejecución de actividades de preparación para el inicio del proyecto, las cuales no poseían ni dificultad alguna, ni eran de cantidad considerable. No obstante, es en la semana 2 cuando se obtiene una calificación preocupante de 61,1 % en el Plan de Evaluación Semanal. En el apartado de resultados se comentó que la mayor afectación se dio por la empresa INCONSTRUCTION, debido a que la inspección estructural les rechazó más de tres veces sus planos de taller (reflejado en las CNC de dicha semana). Cómo se vio en varios de los resultados, fue principalmente la mala calidad de este subcontratista en particular lo que baja el promedio semanal del proyecto.

Seguidamente, de la tercer a la quinta semana se logró un ascenso prácticamente lineal el puntaje semanal. Esto se logró gracias a un cuidadoso análisis y planes de acción basados en la información de las CNC generadas en cada semana. Además, con el fin de no generar afectaciones en la planeación, se procedió a integrar pequeñas holguras en cada una de las tareas. Este crecimiento lineal de la gráfica implica que las acciones implementadas y las discusiones llevadas a cabo durante la reunión semanal de subcontratistas generaron un efecto positivo en la planeación y ejecución del proyecto.

No obstante, al finalizar la semana 6, nuevamente se incurrió en varios incumplimientos de tareas planeadas donde la mayor responsabilidad se atribuye a la misma empresa ya mencionada. En este caso, tanto el material como la mano de obra generaron afectaciones en la ejecución de las tareas. Dicha semana involucró múltiples reprocesos, debido a la baja calidad de las soldaduras o bien, material que se atrasaba en el taller del contratista. Para este punto, se considera negligencia de parte de SCALA el no haber tomado medidas de prevención más fuertes para anticiparse a los incumplimientos de estos subcontratistas, no obstante, se entiende que dichas medidas representan un impacto económico para el proyecto. Fue en esta semana del proyecto, ante toda la evidencia de la necesidad de un cambio de empresa para la estructura metálica, que se decidió incorporar a Goyve y darle parte del contrato de INCONSTRUCTION. Cabe destacar que a pesar de haber roto el ascenso en el puntaje semanal, dicho puntaje continuó estando dentro del rango aceptable, debido a que la planeación era meticulosa y generó impactos positivos que aminoraron los errores de un solo contratista.

Incorporar a Goyve tuvo múltiples efectos positivos, ya que como se observa en el Plan Intermedio de las semanas 7 y 8, se le eliminaron del contrato las tareas importantes a INCONSTRUCTION. Para la semana 7, el puntaje superó nuevamente el 80% y se debe principalmente a temas de ruta crítica, ya que una única tarea que se incumplió generó retrasos en dos tareas que le precedían (60% en CNC) y dependían de ella. En general, cuando se observa que el volumen de trabajo de dicha semana, considerando el alto puntaje, puede determinarse como positivo el desempeño general.

La última semana es donde verdaderamente se reflejó el éxito de la planeación y medidas exhaustivas para su cumplimiento, ya que se obtuvo un 94,4%. También es importante denotar que para dicha semana se tenían planeadas alrededor de 18 tareas y únicamente se incumplió una tarea; además no fue por error en la planeación, sino porque se tomó la decisión de iniciar otra tarea de mayor relevancia durante el transcurso de la semana. Dado a la tendencia de crecimiento de la gráfica del registro del PAC semanal, es posible considerar como exitoso el plan piloto, pues cada vez se depuró más y se obtuvieron mejores resultados progresivamente. Adicionalmente, es importante considerar que la construcción tiene

múltiples etapas y partes involucradas, así como puede ser afectada por numerosas variables por lo que pretender tener una gráfica siempre por arriba del 90% o bien un aumento completamente lineal sin deslices sería irreal. Como segundo criterio de validación para estos resultados es que se tomaron registros de productividad. También es fundamental tomar en consideración que a pesar de tener conocimiento en la metodología, no todos los ingenieros que participaron en este proyecto tenían conocimiento de Lean Construction por lo que puede considerarse como un factor que también pudo haber afectado los resultados.

Mediante este plan piloto y sus resultados, se procedió a elaborar la "Guía para Generar una Planeación Lean mediante el Last Planner System". Esta guía contiene un paso a paso de cómo usar la cada parte del LPS tal y cómo se utilizó en Shockwave. Considerando todos los aspectos más importantes de cuidado basados en esta experiencia del plan piloto.

## Registro de productividad

Con el fin de establecer una comparación objetiva de los resultados de productividad obtenidos, se procede a hacer uso de los datos de los Cuadros 1 y 2 para evaluar tanto los valores metas de SCALA, así como una empresa que se encuentra en su mismo calibre; EDIFICAR. El análisis de esta subsección es parte de la solución del cuarto objetivo específico.

Como primer proceso evaluado, se procede a analizar los tres tipos de tiempos para la conformación de las paredes livianas. De acuerdo con los estándares de SCALA, los resultados obtenidos son insuficientes, pues al compararse con el Cuadro 1, se determina que el tiempo productivo no es el esperado, ya que SCALA solicita que como mínimo un 70% del tiempo se encuentre en esta categoría y la cifra obtenida fue del 65,75%. No obstante, al comparar este resultado con lo estipulado por EDIFICAR (Picado Marchena, 2015), se obtiene un cumplimiento satisfactorio de las métricas. Dos conjeturas pueden partir de este hecho: las métricas de EDIFICAR son insuficientes o bien, las métricas de SCALA resultan excesivamente ambiciosas. En cualquier caso, es necesario continuar comparando parámetros para determinar cuál de los casos es el más probable.

Para los tiempos no contributivos de este proceso, SCALA establece un máximo de 5% mientras que EDIFICAR establece un 15%. Este proceso involucró un tiempo no contributivo de casi 11%. Nuevamente se cumple con lo establecido por EDIFICAR y se incumple con las metas de SCALA. Por otro lado, al analizar los tiempos contributivos de la conformación de las paredes livianas, donde tanto SCALA como EDIFICAR establecen sus valores metas con un máximo del 25%, se obtuvo un cumplimiento satisfactorio de esta categoría, pues el tiempo contributivo invertido fue de aproximadamente 24%.

Seguidamente, se procede con el análisis de los resultados para la instalación de los ductos de aire. En este caso, se puede observar un cumplimiento satisfactorio tanto de las métricas de SCALA como de EDIFICAR para el tiempo productivo, pues el valor obtenido fue de 72,60%. Esto demuestra que es posible alcanzar la métrica establecida por SCALA, mas se considera prudente no emitir una conclusión a partir de únicamente este dato, pues pudo haber significado un caso atípico.

Cuando se analiza el tiempo no contributivo de la instalación de los ductos, se determina un incumplimiento de los parámetros de SCALA, debido a que el valor (6,85%) supera ligeramente lo establecido por la empresa. Sin embargo, se cumple con creces al compararlo con el parámetro de EDIFICAR. Este tiempo no contributivo se compuso de 4,11% de ocio y 1,37% de esperas. Por otro lado, el tiempo contributivo con valor de 20,55% está acorde con el máximo de ambas empresas, por lo que cumple satisfactoriamente. Las actividades predominantes para este trabajo contributivo fueron limpieza en un 6,85% y el acarreo de los materiales en un 8,22%.

Tercero, al analizar el proceso correspondiente a la instalación del sistema de supresión contra incendios es posible determinar con mayor certeza lo factible de las metas establecidas por SCALA. El tiempo productivo de este proceso, con un valor de 71,23%, nuevamente cumple de forma satisfactoria con la meta establecida. Esto quiere decir que efectivamente es posible alcanzar este valor meta de productividad mediante una planificación Lean de los procesos.

Con relación al trabajo no contributivo de este proceso, se obtiene 6,85%. En esta ocasión también se incumple el valor meta establecido por SCALA para esta métrica, mas se cumple con la meta de EDIFICAR. A pesar de presentar un valor porcentual idéntico al tiempo no contributivo de la instalación de

ductos, las actividades que lo componen son distintas, pues las esperas constituyeron un 5,48% del total del tiempo invertido y el ocio un 1,37%. Asimismo, el tiempo contributivo de este proceso corresponde a un 21,92% lo que cumple con las métricas de ambas empresas.

Finalmente, se determina como factible y asequible obtener un porcentaje de tiempo productivo superior al 70%, tal y como busca SCALA. No obstante, se obtiene mediante procesos de planeación meticulosos tales como el propuesto por el LPS, ya que, para este trabajo, solo se obtuvo en dos de los tres procesos analizados. También es posible obtener un porcentaje cercano o menor del 25% en tiempo contributivo, pues los tres procesos analizados cumplieron con esta métrica. No obstante, se considera como excesiva la cifra de un tiempo no contributivo por debajo del 5% debido a que es necesario considerar factores como el cansancio humano, los errores y demás imprevistos que pueden surgir en un proyecto. Esto parte de que esta cifra fue cumplida de acuerdo con los estándares de una empresa muy similar pero no se pudo conseguir en términos de las métricas de SCALA, dado a que ninguno de los tres procesos cumplió con esta meta particular.

# Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

## Conclusiones

Basado en las observaciones y entrevistas de los sujetos de información y según el primer objetivo específico, la primera conclusión del presente trabajo corresponde a que SCALA cuenta con algunas prácticas del Last Planner, sin embargo, presenta puntos de mejora en cuanto a lo que este solicita; específicamente en la designación de responsables, los planes intermedios, análisis de restricciones y los planes de evaluaciones semanales.

El personal de SCALA se encuentra totalmente anuente a utilizar esta herramienta, debido a que, durante las entrevistas, el 100% de los entrevistados indicó disposición para incorporar el LPS en sus quehaceres diarios, además de que todos coinciden en que la planeación colaborativa constituye un factor fundamental para la correcta ejecución y éxito de un proyecto constructivo.

También se determina (de acuerdo con el segundo objetivo específico) que en función de la matriz de brecha cualitativa de SCALA con relación al LPS y a otras empresas del mercado, el proceso de implementación de dicha herramienta debe contar como mínimo con las siguientes partes: designación de responsables al inicio de los proyectos, un Plan de 4 Semanas como solución del Plan Intermedio, el análisis de restricciones y, finalmente (y más importante), el plan de evaluación semanal para objetivamente cuantificar la calidad de las planeaciones efectuadas en las etapas anteriores del proceso.

Asimismo, para el tercer objetivo específico se concluye que el proceso generado cuenta con los pasos mínimos que se debe seguir para que la planificación sea exitosa, pues está hecho basado en las deficiencias detectadas, así como en lo indicado por la teoría.

A partir de la implementación de las prácticas establecidas en el proceso para Shockwave Medical (con relación al cuarto objetivo específico), es posible arribar a múltiples conclusiones. Primero, fue posible cuantificar objetiva y exitosamente el porcentaje de cumplimiento semanal de las actividades de cada subcontratista, además del general para toda la duración del plan. Esta conclusión parte de los resultados del Plan Semanal de Evaluación, donde se observa particularmente cada uno de los responsables y el puntaje que obtienen en sus actividades.

Segundo, a partir del comportamiento lineal de la gráfica del registro del PAC semanal se concluye que el proceso de incorporación de Lean, cada vez más detallado produjo mejoras en los resultados de la planeación. Esto se observa al ver como en la semana 2, 3 y 4, donde se obtienen porcentajes crecientes casi proporcionales de 61,1%, 72,7% y 80,0% respectivamente; o bien en la semana 6, 7 y 8 donde ocurre algo similar, pero con aun mejores resultados.

Tercero, se concluye que alcanzar un porcentaje del 90% o superior para las actividades semanales completadas en un proyecto de tal magnitud es posible de alcanzar, sin embargo, representa una dificultad y esfuerzo considerable. Por lo tanto, es prudente optar por flexibilizar esta métrica y categorizar como satisfactorios aquellos PAC igual o superiores al 85%.

Con relación al registro de productividad en campo de múltiples actividades (parte del cuarto objetivo específico), también es posible derivar múltiples conclusiones. En primera instancia, se determina exitosa la implementación de las prácticas de la herramienta mediante este segundo método de validación, pues para el 66,6% de las tareas se obtuvo un trabajo productivo superior al 70% del tiempo total y aunque en la tarea de conformación de paredes livianas no fue posible alcanzar este valor, se obtuvo uno muy cercano de 65,8%.

Además, se concluye que las métricas de SCALA son muy estrictas debido a dos motivos principales, pues no fue posible para ninguno de los procesos cuantificados lograr un tiempo improductivo menor al 5%, aunque en el Plan Semanal de Evaluación se haya superado el 90% de las actividades completadas. El otro criterio para respaldar esa conclusión es que, al comparar con empresas de igual magnitud, se tienen parámetros considerablemente más flexibles y logran mantenerse en un nivel de competitividad muy similar. Esto no es recomendable, ya que un proyecto de construcción contiene un sinnúmero de variables que en ocasiones se salen del control de los ingenieros. Poseer métricas con ese nivel de inflexibilidad puede generar parámetros negativos o alarmas en donde las situaciones pueden solventarse de manera sencilla o donde ni siquiera se represente un riesgo real para el proyecto.

## Recomendaciones

Se recomienda a la gerencia general de SCALA incorporar a un ingeniero dentro de los equipos del proyecto dedicado totalmente a la programación de la obra, su seguimiento y cumplimiento, además de encargarse de actualizarla y ajustarla de forma constante. Esta recomendación parte de la experiencia en Shockwave Medical, pues darle tal seguimiento a la programación es altamente demandante, además de que es una práctica funcional de otras empresas.

De igual forma, se le recomienda a la gerencia de SCALA profundizar en el tema al alargar el tiempo de estudio (considerar la duración completa de un proyecto), además de tomar tiempos productivos en proyectos distintos en donde no se utilice el LPS con el fin de validar si los resultados obtenidos son o no atribuibles a la herramienta.

A la gerencia de proyectos, se le recomienda aplicar multas por incumplimiento excesivos de la programación intermedia de la obra, de modo que el subcontratista procure su cumplimiento al máximo y entienda que existen consecuencias de no hacerlo. También se recomienda aplicar multas en caso de que no entreguen sus programaciones intermedias respectivas.

Por último, a la gerencia técnica de SCALA se recomienda flexibilizar las métricas para los tipos de tiempos productivos en los proyectos. Mientras que tiempos productivos por encima del 70% son posibles de alcanzar, no significa que sea algo común de hacer. Implica una planeación y control exhaustivo y no se puede asegurar que sea el caso en la totalidad del tiempo, lo que puede generar falsos negativos en los proyectos. Esta recomendación es especialmente enfática y direccionada hacia la métrica del tiempo improductivo por debajo del 5%. Esta métrica sencillamente no es realista y no considera que el factor humano sufre de desgaste y agotamiento conforme avanza el día y la semana. Además, es un elemento sujeto a errores y reprocesos, los cuales pueden ser disminuidos hasta ciertas magnitudes, mas no pueden ser eliminados del todo.

# Referencias bibliográficas

- Alpízar Ávalos, G. (2017). Aplicación de Lean Construction a través de la metodología Last Planner a proyectos de vivienda social de FUPROVI. [Proyecto final de graduación. Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio institucional del TEC. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7272>.
- Barahona, S. (2023). Entrevista personal. 20 de abril de 2023. Ingeniera residente de SCALA, SCALA. Alajuela, Costa Rica.
- Botero Botero, L. F., & Álvarez Villa, M. E. (2004). Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento). Revista universidad EAFIT, 40(136), 50-64.
- Chacón, W. (2023). Entrevista personal. 20 de abril de 2023. Ingeniero residente de SCALA, SCALA. Alajuela, Costa Rica.
- Coll Morales, F. (2022). Fuente secundaria. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/fuente-secundaria.html#referencia>
- Díaz, H. P., Rivera, O. G. S., & Guerra, J. A. G. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción. Avances: Investigación en Ingeniería, 11(1), 32-53.
- Franco, J. (2019). Técnicas de recolección de datos para la investigación científica. Revista Publicando, 6(17), 417-427. <https://doi.org/10.30827/publicando.v6i17.11284>
- Gutiérrez, N. (2021). Metodología para la aplicación de Last Planner System. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación. McGraw-Hill Interamericana.
- Orihuela, P. (2011). Lean Construction en el Perú. Boletín, (12). [http://www.motiva.com.pe/articulos/Lean\\_Construction\\_Peru.pdf](http://www.motiva.com.pe/articulos/Lean_Construction_Peru.pdf)
- Peláez, A., Rodríguez, J., Ramírez, S., Pérez, L., Vázquez, A., & González, L. (2013). La entrevista. *Universidad autónoma de México. [En línea]. [Online]. [cited 2012 Septiembre 30]. Disponible en: [http://www.uam.es/personal\\_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Curso\\_10/E](http://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Curso_10/E).*
- Picado Marchena, L. F. (2015). Aplicación de la filosofía LEAN en la construcción del centro comercial Zona Centro [Proyecto final de graduación. Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio institucional del TEC. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6739>.
- Porras, H., Sánchez, O., y Galvis, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción. Avances Investigación En Ingeniería, 11(1), 32. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.298>
- Rojas Chacón, L. G. (2022) Introducción al diseño de procesos constructivos. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Rojas Quesada, J. M. (2021). Metodología de planificación basada en la filosofía "Last Planner" en la empresa CIVIL Desarrollo e Ingeniería [Proyecto final de graduación. Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio institucional del TEC. [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12366/TFG\\_Jhon\\_Rojas\\_Quesada.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12366/TFG_Jhon_Rojas_Quesada.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rubio, I., y Pons, J. (2019). LEAN CONSTRUCTION y la planificación colaborativa. (1st ed.). Consejo General de la Arquitectura técnica de España (CGATE). [https://www.cgate.es/pdf/LEAN\\_CONSTRUCTION\\_PDF\\_Web.pdf](https://www.cgate.es/pdf/LEAN_CONSTRUCTION_PDF_Web.pdf)
- Santos, M. (2023). Entrevista personal. 20 de abril de 2023. Gerente técnico de SCALA, SCALA. San José, Costa Rica.

- SCALA. (2023). Construcción de proyectos.  
[https://scalaedica.sharepoint.com/:f:/s/Shockwave/Eq\\_BN7h7KYRAIwKnupm0haABfX5Tzdv9X-xi0zhuHwhzjA?e=0BHIEg](https://scalaedica.sharepoint.com/:f:/s/Shockwave/Eq_BN7h7KYRAIwKnupm0haABfX5Tzdv9X-xi0zhuHwhzjA?e=0BHIEg)
- Vargas Cordero, Z. R. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista educación*, 33(1), 155-165.

# Apéndices

<b>Apéndice 1:</b> Formato de entrevista.....	86
<b>Apéndice 2:</b> Resultados de la entrevista.....	87
<b>Apéndice 3:</b> Plan Maestro Shockwave Medical.....	88
<b>Apéndice 4:</b> Guía para generar una planeación LEAN mediante el Last Planner System.....	89
<b>Apéndice 5:</b> Registro de productividad.....	90

# **Apéndice 1: Formato de entrevista.**

1. ¿Cuál es su definición de “planificación de proyectos de construcción”?

---

2. Mencione al menos dos técnicas que conozca para la planificación de proyectos de construcción.

---

3. ¿Ha escuchado hablar sobre Lean Construction?

Sí

No

4. ¿Ha recibido capacitación en Lean Construction?

Sí

No

5. ¿Ha participado en proyectos que han utilizado la metodología Lean Construction?

Sí

No

6. ¿Está familiarizado/a con el sistema Last Planner?

Sí

No

7. ¿Cree que la implementación del sistema Last Planner podría mejorar la eficiencia de los proyectos en nuestra empresa?

Sí

No

No estoy seguro/a

8. ¿Cuál es su opinión sobre la planificación colaborativa?

- Es esencial para el éxito del proyecto
- Es importante, pero no esencial
- No es necesaria

9. ¿Está dispuesto(a) a aprender y aplicar la metodología Lean Construction y el sistema Last Planner en su trabajo?

- Sí
- No
- Necesito más información

10. ¿Qué sugerencias o recomendaciones tendría para la implementación de la metodología Lean Construction y el sistema Last Planner en nuestra empresa?

---

---

11. Indique su experiencia con los siguientes procesos del LPS según sus experiencias laborales anteriores.

<b>Cuadro 1.</b> Matriz de brecha cualitativa para prácticas Lean entre SCALA y empresas de calibre similar					
<b>Práctica recomendada por LPS</b>	<b>Prácticas de empresa Volio y Trejos (Wándal Chacón)</b>	<b>Práctica de empresa BILT (Marco Santos)</b>	<b>Prácticas de empresa Grupo Leumi (Silvia Barahona)</b>	<b>Situación de la empresa</b>	<b>Acción por implementar</b>
Plan Maestro					
Designación de Responsables					
Plan Intermedio					
Análisis de Restricciones					
Reunión Semanal					
Plan de Evaluación Semanal					

## **Apéndice 2: Resultados de la entrevista.**

## Resultados de entrevista

Esta encuesta fue aplicada a los sujetos de información descritos anteriormente con el propósito de evaluar el nivel de conocimiento respecto a Lean Construction dentro de SCALA, así como su disposición para incorporar la filosofía en sus quehaceres ingenieriles diarios dentro de los proyectos de la empresa. Asimismo, se hace uso de su experiencia pasada en empresas externas, con el fin de conocer cómo se encuentran estas respecto a las prácticas de la filosofía y así, observar cómo se encuentra SCALA en función de su competencia, además de concretar con esto los puntos de mejora que deberán incorporarse en una futura guía de prácticas Lean para la empresa.

### Encuesta Wándal Chacón:

1. ¿Cuál es su definición de “planificación de proyectos de construcción”?

Organizar tiempo calidad, costo del proyecto.

2. Mencione al menos dos técnicas que conozca para la planificación de proyectos de construcción.

Cronograma general, 3 semanas y programación semanal.

3. ¿Ha escuchado hablar sobre Lean Construction?

Sí

No

4. ¿Ha recibido capacitación en Lean Construction?

Sí

No

5. ¿Ha participado en proyectos que han utilizado la metodología Lean Construction?

Sí

No

6. ¿Está familiarizado/a con el sistema Last Planner?

Sí

No

7. ¿Cree que la implementación del sistema Last Planner podría mejorar la eficiencia de los proyectos en nuestra empresa?

Sí

No

No estoy seguro/a

8. ¿Cuál es su opinión sobre la planificación colaborativa?

Es esencial para el éxito del proyecto

Es importante, pero no esencial

No es necesaria

9. ¿Está dispuesto(a) a aprender y aplicar la metodología Lean Construction y el sistema Last Planner en su trabajo?

Sí

No

Necesito más información

10. ¿Qué sugerencias o recomendaciones tendría para la implementación de la metodología Lean Construction y el sistema Last Planner en nuestra empresa?

Para la apropiada implementación de Last Planner, se requiere un recurso humano único destinado que se encargue de todo lo requerido por la herramienta, pues lo más difícil es el seguimiento de las metas semanales. Utilizar tiempos menores a 6 semanas por el tipo de proyectos "fast track" de SCALA.

**Encuesta Silvia Barahona:**

1. ¿Cuál es su definición de "planificación de proyectos de construcción"?

Establecer un tren de trabajo que permita la ejecución correcta del proyecto considerando restricciones, costos y mano de obra.

2. Mencione al menos dos técnicas que conozca para la planificación de proyectos de construcción.

Cronograma general, ruta crítica y programación gráfica mediante planos.

3. ¿Ha escuchado hablar sobre Lean Construction?

Sí

No

4. ¿Ha recibido capacitación en Lean Construction?

Sí

No

5. ¿Ha participado en proyectos que han utilizado la metodología Lean Construction?

Sí

No

6. ¿Está familiarizado/a con el sistema Last Planner?

Sí

No

7. ¿Cree que la implementación del sistema Last Planner podría mejorar la eficiencia de los proyectos en nuestra empresa?

- Sí
- No
- No estoy seguro/a

8. ¿Cuál es su opinión sobre la planificación colaborativa?

- Es esencial para el éxito del proyecto
- Es importante, pero no esencial
- No es necesaria

9. ¿Está dispuesto/a a aprender y aplicar la metodología Lean Construction y el sistema Last Planner en su trabajo?

- Sí
- No
- Necesito más información

10. ¿Qué sugerencias o recomendaciones tendría para la implementación de la metodología Lean Construction y el sistema Last Planner en nuestra empresa?

Es importante incluir más a los maestros de obra dentro de las reuniones semanales efectuadas por la empresa. Los recorridos de campos con los diseñadores deberían involucrar a todo el equipo de la constructora y no ser seccionado por disciplinas,

#### **Encuesta Marco Santos:**

1. ¿Cuál es su definición de “planificación de proyectos de construcción”?

Programación de cómo se ejecutará el proyecto, considerando todos los recursos necesarios (equipos, mano de obra, económicos, materiales, maquinaria, herramienta) lo cual va en función de un presupuesto, de un plazo y los requerimientos contractuales del proyecto.

2. Mencione al menos dos técnicas que conozca para la planificación de proyectos de construcción.

Diagramas de Gantt por medio de Project o Excel y flujo de caja

3. ¿Ha escuchado hablar sobre Lean Construction?

- Sí
- No

4. ¿Ha recibido capacitación en Lean Construction?

- Sí
- No

5. ¿Ha participado en proyectos que han utilizado la metodología Lean Construction?

Sí

No

6. ¿Está familiarizado/a con el sistema Last Planner?

Sí

No

7. ¿Cree que la implementación del sistema Last Planner podría mejorar la eficiencia de los proyectos en nuestra empresa?

Sí

No

No estoy seguro/a

8. ¿Cuál es su opinión sobre la planificación colaborativa?

Es esencial para el éxito del proyecto

Es importante, pero no esencial

No es necesaria

9. ¿Está dispuesto/a a aprender y aplicar la metodología Lean Construction y el sistema Last Planner en su trabajo?

Sí

No

Necesito más información

10. ¿Qué sugerencias o recomendaciones tendría para la implementación de la metodología Lean Construction y el sistema Last Planner en nuestra empresa?

Es importante ejecutar la planeación con tiempo, nombrar un grupo que sea precalificado, determinar una periodicidad frecuencia de cada cuanto se va a evaluar.

## **Matriz de brecha cualitativa**

Adicional a la entrevista, se les consultó a los sujetos acerca de sus diferentes experiencias en materia de planeación y control de ejecución dentro de otras empresas, con el fin de compararlo con SCALA, así como con la filosofía y entender en qué punto se encuentran algunas de las constructoras grandes de Costa Rica. Para ello, primero fue necesario generar una investigación de las partes necesarias de una planeación efectuada con el Last Planner System.

Dentro de los procedimientos mínimos contemplados por la filosofía y por los cuales se consultó son los siguientes:

- Plan Maestro
- Designación de responsables
- Plan Intermedio
- Análisis de restricciones
- Reunión semanal
- Plan de evaluación semanal

En el cuadro 1 es posible visualizar la situación de SCALA en comparación con otras empresas constructoras del país, así como también la acción que se requiere implementar con el fin de cumplir con las partes estipuladas por filosofía LEAN.

<b>Cuadro 1. Matriz de brecha cualitativa para prácticas Lean entre SCALA y empresas de calibre similar</b>					
<b>Práctica recomendada por LPS</b>	<b>Prácticas de empresa Volio y Trejos (Wánda Chacón)</b>	<b>Práctica de empresa BILT (Marco Santos)</b>	<b>Prácticas de empresa Grupo Leumi (Silvia Barahona)</b>	<b>Situación de la empresa</b>	<b>Acción por implementar</b>
Plan Maestro	El ingeniero encargado de la programación efectúa el cronograma general de la obra mediante Vico Office	El "Project Manager" es el encargado de ejecutar la programación general de la obra mediante el programa Project	El "Project Manager" es el encargado de ejecutar la programación general de la obra mediante el programa Vico Office.	El ingeniero residente elabora un cronograma mediante diagrama Gantt y la herramienta Microsoft Project	No se requiere, pues la empresa ya lo realiza
Designación de responsables	La persona de programación es la encargada de liberar las restricciones	Se designaban una distribución de roles diarios donde se contemplaba la liberación de restricciones.	El "Project Manager" es el encargado de la liberación de todas las restricciones del proyecto.	No se realiza	Establecer al inicio del proyecto quién será el responsable de liberar las restricciones de cada empresa
Plan Intermedio	Se utiliza un Plan de Seis Semanas	Se utiliza un Plan de Tres Semanas.	Se realiza un Plan de Cuatro Semanas	Se realiza un Plan de Tres Semanas	Reajustar el plan para que se incluya como mínimo una semana más de proyección, de modo que se pueda prever con mayor anticipación cualquier imprevisto
Análisis de restricciones	Se efectúa análisis de restricciones por parte del ingeniero encargado de la programación.	Se analizaban en conjunto	El análisis de restricciones se da mediante una reunión con las partes involucradas, pero no se plasmaba por escrito.	No se realiza	Detallar las restricciones presentes para la ejecución de una actividad, mediante un mapeo de los requisitos para la misma
Reunión semanal	Se realiza	Se realiza	Se realiza	Se realiza	Se recomienda realizarla con el Plan Intermedio en mano, de modo que cada una de las tareas pueda ser analizada con todos los subcontratistas para tener el panorama completo de las tareas.
Plan de Evaluación Semanal	Se realiza	Se discute avance mediante verificación de fechas del cronograma, se identificaban retrasos y se solicitaba plan de acción para rescatar tiempo impactado.	No se realiza	No se realiza	Establecer una matriz de trazabilidad y evaluación del Porcentaje de Actividades Completadas (PAC) así como las Causas de No Cumplimiento (CNC). Su fin es identificar fallos durante la semana que culminó y actividades correctivas.

**Fuente:** Adaptado de entrevista con Barahona, Santos y Chacón, 2023.

# Apéndice 3: Plan Maestro Shockwave Medical





















# **Apéndice 4: Guía para generar una planeación LEAN mediante el Last Planner System**

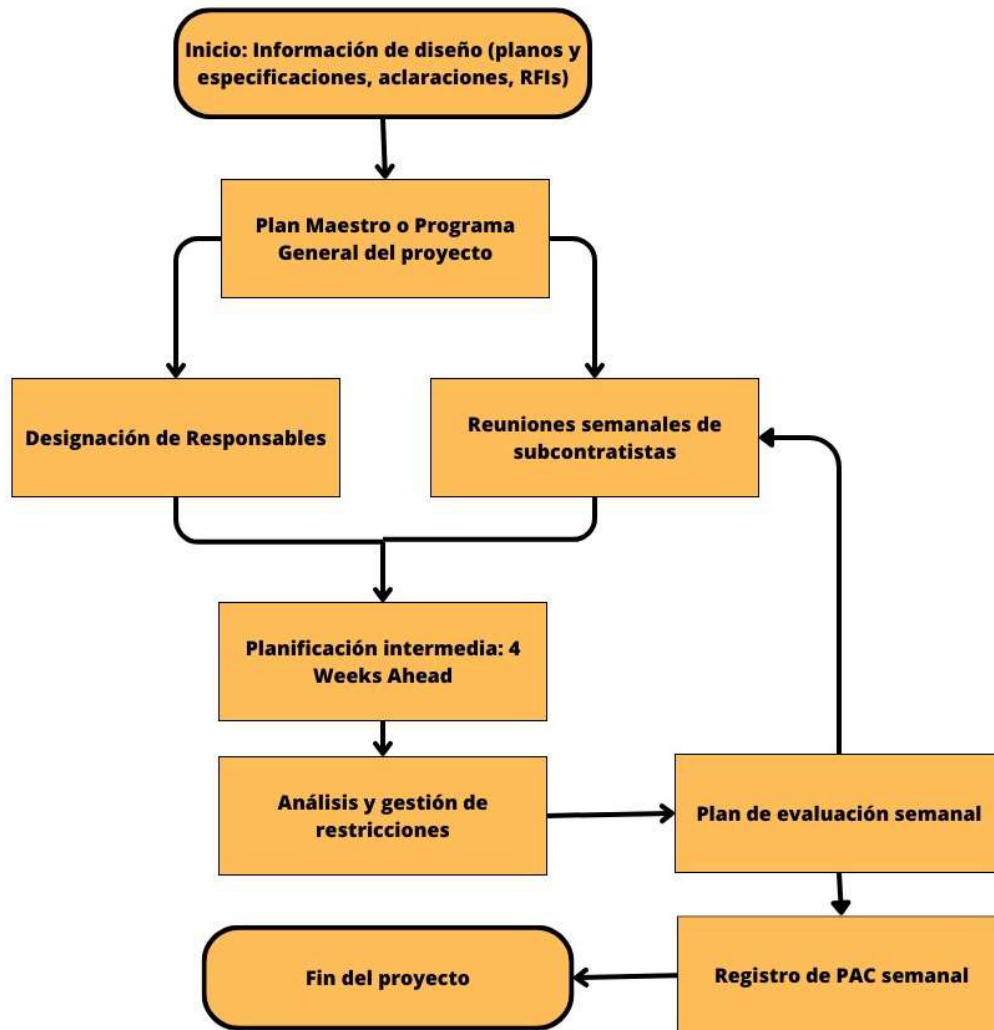


**Guía para generar una planeación  
LEAN mediante el Last Planner  
System  
Junio, 2023.**

## Objetivo

El objetivo de la presente guía consiste en ser un instructivo detallado para el ingeniero encargado de la planificación y control en los proyectos, de modo que pueda generar una planificación “Lean” (con la menor cantidad de desperdicios posibles) con la herramienta aquí especificada.

A continuación, se detallan todas las partes que forman parte de este proceso de planificación y control.



**Figura 1.** Diagrama de flujo del procedimiento de LPS.

**Fuente:** Autoría propia, 2023.

## Plan Maestro

Corresponde a la fase de planificación previo al inicio de la obra, donde se identifican las actividades y tareas de cada proceso constructivo. Este representa el periodo de ejecución de las tareas mediante diagramas de Gantt. La plantilla de esta herramienta se observa en la Figura 2.

Esta parte de la herramienta deberá ser ejecutada por el gerente de proyectos en conjunto con el ingeniero residente. Para hacerla, deberán utilizar toda la información disponible para la obra como el plazo del contrato, los planos constructivos, las aclaraciones del alcance y cualquier otro insumo que sea de utilidad para construir el cronograma general. También deberá considerar cualquier hito que esté estipulado en contrato como referencia para su elaboración.

Se recomienda utilizar la plantilla de la Figura 2, aunque esta parte del proceso también puede ser ejecutado en Microsoft Project®. Esto quedará a decisión de las partes mencionadas.

Actividad		Semana																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
ID	Descripción	27-feb	06-mar	13-mar	20-mar	27-mar	03-abr	10-abr	17-abr	24-abr	01-may	08-may	15-may	22-may	29-may	05-jun	12-jun	19-jun	26-jun	03-jul	10-jul	17-jul	24-jul	31-jul	07-ago	14-ago
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										

**Figura 2.** Plan maestro  
Fuente: Autoría propia, 2023.

## Designación de responsables

La designación de responsables corresponde a un único paso donde tanto SCALA como cada subcontratista designará a un encargado de gestionar y liberar las restricciones que puedan generarse en la etapa de planificación y ejecución. Es importante designar a esta persona y completar este cuadro previo al inicio del proyecto, pues el representante deberá rendir cuentas directamente al gerente del proyecto de SCALA respecto a las actividades completadas y las atrasadas o comprometidas.

Con relación al rol, se debe especificar si el representante es ingeniero, maestro de obras, dueño de la empresa, o cualquier otro rol para conocer de antemano el papel que va a desarrollar esta persona. Este paso es responsabilidad del gerente de proyectos de SCALA.



## **Análisis y Gestión de restricciones**

Debido a la importancia en la gestión de las restricciones, es fundamental que sean identificadas y solucionadas oportunamente durante la etapa de planificación. Este análisis y su respectiva gestión deberá ser una actividad ejecutada en conjunto por todos los responsables designados en la Figura 3, pues es necesaria la retroalimentación de todas las partes para identificar la mayor cantidad de restricciones posibles para solucionarlas lo antes posible. Además, deberá ser liderado por el ingeniero residente de SCALA y deberá ser llevado a cabo semanalmente durante la reunión de subcontratistas. Por lo tanto, se procede a desglosar cada una de las restricciones propuestas para esta herramienta:

- **Permisos:** cualquier actividad que requiera de un permiso previo para ser iniciada y que aún no haya sido emitido, deberá ser identificada con esta restricción. Un claro ejemplo de esta restricción es la charla requerida por parte del departamento de Seguridad Ocupacional de los proyectos, pues ningún trabajo deberá ser iniciado sin este requisito previo, según políticas de la empresa.
- **Diseño:** en esta categoría se contempla toda actividad que no pueda ser iniciada o finalizada por falta de información de parte del equipo de diseño de la obra. La importancia de identificar este tipo de restricciones reside en generar las consultas correspondientes de manera pronta y oportuna. Se recomienda utilizar plataformas oficiales de la empresa, como los RFI's de Procore, aunque no deben descartarse canales de comunicación más efectivos como WhatsApp.
- **Mano de obra:** la mano de obra será una restricción para la apropiada ejecución de las actividades cuando esta no sea lo suficientemente calificada o bien, insuficiente en cantidad para el total de actividades planificadas. Por ende, es necesario que se genere un análisis apropiado de la cantidad de personal de campo, con el fin de que no se convierta en un impedimento para la apropiada ejecución de las tareas.
- **Materiales o equipo:** en caso de no contar con el material o equipo necesario para la ejecución de la actividad, deberá considerarse como restringida por este motivo. Es fundamental que en la planificación se contemple suficiente material y que su llegada sea puntual cuando este sea requerido.
- **Otro:** cualquier imprevisto o restricción que no se considere en las categorías anteriores, deberá ser incluido en esta sección. Pueden ser por localización del proyecto, dificultad de acceso, clima o demás.

## **Plan de Evaluación Semanal**

En cuanto finaliza el apartado del análisis de restricciones, se obtienen aquellas tareas que, en teoría, deberían ejecutarse sin inconveniente alguno, lo que se conoce como el inventario de trabajo ejecutable. Por lo tanto, una vez que finaliza la semana, es importante conocer y comparar todas las actividades completadas de acuerdo con lo planeado, para ello es el Plan Semanal de Evaluación.

Mediante la herramienta de la Figura 4, se evaluará con un criterio binario lo planeado contra lo ejecutado. Para ello, deberá registrarse el porcentaje de avance planeado de una tarea en particular, así como el avance real ejecutado. En caso de que el porcentaje de avance ejecutado sea igual o mayor al planeado en el momento de la evaluación, la tarea recibirá una puntuación de "1". De lo contrario, recibirá un puntaje de "0". Esta parte del proceso estará a cargo del ingeniero residente del proyecto y se reitera que deberá ser efectuada de forma semanal hasta la finalización del proyecto.

La puntuación de esa semana se conoce como “Porcentaje de Actividades Completadas” o PAC. La puntuación final se verá dada por la siguiente ecuación:

$$PAC = \frac{\# \text{ actividades ejecutadas}}{\# \text{ actividades planeadas}} * 100$$

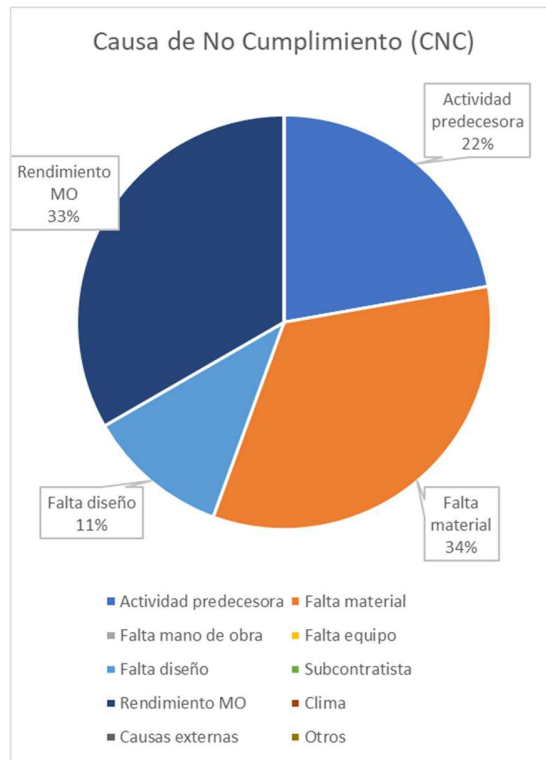
Actividad			Semana 1							Causas de No Cumplimiento (CNC)							Control semanal						
ID	Descripción	Encargado de liberar restricción	27-feb	28-feb	01-mar	02-mar	03-mar	04-mar	05-mar	Actividad profesional	Falta material	Falta mano de obra	Falta equipo	Falta diseño	Subcontratista	Rendimiento MO	Clima	Causas externas	Otros	% Avance meta	% Avance ejecutado	Condición	
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100%	100%	3
										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90%	80%	0
																					PAC	100%	100%

**Figura 5.** Plan de Evaluación Semanal.  
Fuente: Autoría propia, 2023.

Evaluación del PAC	
PAC ≥ 90%	Satisfactorio
90% > PAC ≥ 70%	Aceptable
PAC < 70%	Insatisfactorio

**Figura 6:** Criterio de evaluación del PAC  
Fuente: Elaboración propia.

Es importante entender por qué no se completó una actividad. Para ello, en caso de que se presente dicho escenario, deberá escogerse la “Causa de No Cumplimiento” o CNC de la actividad dentro de las opciones de la Figura 4 y se le deberá asignar un valor de “1” a dicha causa. Con ello, la herramienta nos dará un gráfico pastel de las CNC de la semana y podremos tomar una decisión informada de qué aqueja el proyecto.



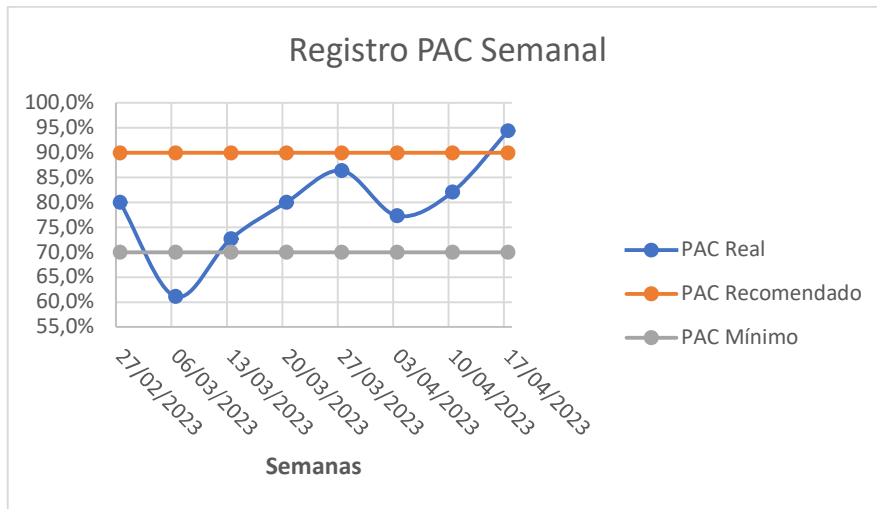
**Figura 7:** Gráfico de CNC.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## Registro de PAC Semanal

El último paso de este proceso es registrar el PAC de todas las semanas en la plantilla de la Figura 7. Dicha plantilla generará automáticamente una gráfica, como se observa en la Figura 8, cuyo comportamiento dará clara visibilidad de los resultados obtenidos a lo largo de todo el proyecto, semana a semana. Este paso puede ser ejecutado tanto por el ingeniero residente como por el asistente de ingeniería y deberá completarse semana a semana, acompañado de un estudio del comportamiento de la gráfica efectuado por todos los representantes de las disciplinas involucradas en el proyecto.

Semana	Fecha	PAC Real	PAC Recomendado	PAC Mínimo
1	27/2/2023	80,0%	90%	70%
2	6/3/2023	61,1%	90%	70%
3	13/3/2023	72,7%	90%	70%
4	20/3/2023	80,0%	90%	70%
5	27/3/2023	86,4%	90%	70%
6	3/4/2023	77,3%	90%	70%
7	10/4/2023	82,1%	90%	70%
8	17/4/2023	94,4%	90%	70%

**Figura 8.** Registro de PAC Semanal  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 9.** Gráfica de PAC Semanal

**Fuente:** Elaboración propia.

# Apéndice 5: Registro de productividad

Conformación de paredes livianas											
Intervalo de 5 minutos	Trabajo No Productivo					Trabajo contributivo					Trabajo productivo
	Esperas	Viaje	Fumado	Ocio	Ausente	Limpieza	Descargar equipo	Ordena EPP	Acarreo materiales	Armado de andamios	
00:00						0					
00:05				0							
00:10						0					
00:15											0
00:20											0
00:25											0
00:30									0		
00:35											0
00:40				0							
00:45											0
00:50						0					
00:55											0
01:00											0
01:05	0										
01:10									0		
01:15											0
01:20											0
01:25											0
01:30	0										
01:35											0
01:40									0		
01:45										0	
01:50											0
01:55											0
02:00	0										0
02:05										0	
02:10										0	
02:15											0
02:20									0		
02:25											0
02:30											0
02:35											0
02:40											
02:45											0
02:50											0
02:55											0
03:00											0
03:05				0							
03:10											0
03:15											0
03:20											0
03:25									0		
03:30									0		
03:35	0										
03:40											0
03:45											0
03:50											0
03:55									0		
04:00											0
04:05											0
04:10											0
04:15											0
04:20											0
04:25											0
04:30											0
04:35											0
04:40											0
04:45											0
04:50											0
04:55											0
05:00											0
05:05											0
05:10											0
05:15											0
05:20											0
05:25	0										
05:30						0					
05:35							0				
05:40											0
05:45											0
05:50											0
05:55									0		
06:00									0		
<b>Total</b>	5	0	0	3	0	4	1	0	9	3	48
	8					17					48

Instalación de ductos											
Intervalo de 5 minutos	Trabajo No Productivo					Trabajo contributivo					Trabajo productivo
	Esperas	Viaje	Fumado	Ocio	Ausente	Limpieza	Descargar equipo	Ordena EPP	Acarreo materiales	Armado de andamios	
00:00											0
00:05											0
00:10									0		
00:15											0
00:20											0
00:25											0
00:30											0
00:35											0
00:40				0							
00:45											0
00:50											0
00:55											0
01:00											0
01:05											0
01:10											0
01:15						0					
01:20											0
01:25											0
01:30											0
01:35									0		
01:40											0
01:45											0
01:50											0
01:55											0
02:00				0							
02:05											0
02:10											0
02:15											0
02:20											0
02:25	0										
02:30											0
02:35											0
02:40											0
02:45											0
02:50											0
02:55											0
03:00											0
03:05											0
03:10						0					
03:15											0
03:20											0
03:25							0				
03:30											0
03:35											0
03:40											0
03:45											0
03:50											0
03:55											0
04:00											0
04:05									0		
04:10									0		
04:15				0							
04:20											0
04:25											0
04:30						0					
04:35								0			
04:40									0		
04:45											0
04:50										0	
04:55											0
05:00											0
05:05	0										
05:10											0
05:15						0					
05:20						0					
05:25											0
05:30											0
05:35											0
05:40											0
05:45											0
05:50									0		
05:55							0				
06:00											0
<b>Total</b>	2	0	0	3	0	5	2	1	6	1	53
	5					15					53

Instalación de sistema de supresión de incendio											
Intervalo de 5 minutos	Trabajo No Productivo					Trabajo contributivo					Trabajo productivo
	Esperas	Viaje	Fumado	Ocio	Ausente	Limpieza	Descargar equipo	Ordena EPP	Acarreo materiales	Armado de andamios	
00:00	0										
00:05									0		
00:10									0		
00:15											0
00:20											0
00:25											0
00:30											0
00:35	0										
00:40											0
00:45											0
00:50											0
00:55						0					
01:00											0
01:05											0
01:10											0
01:15											0
01:20											0
01:25				0							
01:30									0		
01:35											0
01:40											0
01:45											0
01:50											0
01:55											0
02:00											0
02:05						0					
02:10								0			
02:15											0
02:20											0
02:25											0
02:30									0		
02:35											0
02:40											0
02:45	0										
02:50											0
02:55											0
03:00											0
03:05											0
03:10											0
03:15								0			
03:20											0
03:25									0		
03:30											0
03:35											0
03:40											0
03:45											0
03:50						0					
03:55											0
04:00									0		
04:05											0
04:10											0
04:15											0
04:20	0										
04:25											0
04:30						0					
04:35								0			
04:40											0
04:45											0
04:50											0
04:55											0
05:00									0		
05:05											0
05:10											0
05:15											0
05:20									0		
05:25											0
05:30											0
05:35											0
05:40											0
05:45											0
05:50						0					
05:55											0
06:00											0
<b>Total</b>	4	0	0	1	0	5	0	3	8	0	52
	5					16					52