

Proceso de planificación y programación integral para la producción y el montaje de elementos prefabricados de la empresa constructora Holcim Modular Solutions

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Constancia de presentación pública del Trabajo Final de Graduación

Proceso de planificación integral para la fabricación y el montaje de elementos prefabricados de la empresa constructora Holcim Modular Solutions

Llevado a cabo por la estudiante:

Quintana Reyes Camila

Carné: 2020045015

Trabajo Final de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el jueves 12 de diciembre de 2024 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:

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Firmado digitalmente
por JOSE ANDRES ARAYA
OBANDO (FIRMA)
Fecha: 2024.12.19
11:46:28 -06'00'

Dr. Ing. José Andrés Araya Obando
Director de la Escuela

**MANUEL
ANTONIO ALLAN
ZUÑIGA (FIRMA)**

Firmado digitalmente por
MANUEL ANTONIO ALLAN
ZUÑIGA (FIRMA)
Fecha: 2024.12.14 13:05:08
-06'00'

Ing. Manuel Alán Zúñiga, MGP, MBA
Profesor Guía

**MAURICIO
ESTEBAN ARAYA
RODRIGUEZ
(FIRMA)**

Firmado digitalmente
por MAURICIO
ESTEBAN ARAYA
RODRIGUEZ (FIRMA)
Fecha: 2024.12.19
10:05:08 -06'00'

Ing. Mauricio Araya Rodríguez
Profesor Lector

**MILTON ANTONIO
SANDOVAL QUIROS
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por MILTON
ANTONIO SANDOVAL QUIROS
(FIRMA)
Fecha: 2024.12.14 08:30:30 -06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MAE
Profesor Observador

Resumen

En un contexto industrializado, la construcción ha adoptado métodos que optimizan tiempos y recursos, destacando entre ellos el uso de elementos prefabricados, técnica que ha ganado popularidad en los últimos años. La planificación y programación de estos proyectos resultan esenciales para asegurar el éxito y cumplimiento de los plazos establecidos. No obstante, la falta de coordinación integral entre producción y construcción genera dificultades en los procesos de diseño, fabricación y montaje.

Este proyecto propone el desarrollo de un proceso integral de planificación y programación para la fabricación y montaje de elementos prefabricados en Holcim Modular Solutions, con un enfoque en la optimización de recursos y cumplimiento de plazos contractuales. Para alcanzar estos objetivos, se desarrollaron las siguientes actividades:

- Un análisis detallado del procedimiento de planificación actualmente en uso.
- Identificación de buenas prácticas en la planificación entre fabricación y montaje de elementos prefabricados.
- Especificaciones detalladas para el procedimiento de planificación integral.
- Creación de un prototipo de la herramienta de planificación.
- Resultados de la validación de las mejoras propuestas en la planificación integral.

Se espera que la incorporación de procedimiento que incorpora herramientas de control de avance, seguimiento de cronogramas, gestión de órdenes de cambio, optimización de despachos y análisis de datos históricos, llegue a facilitar y optimizar el proceso de planificación y programación a la vez que mejora la coordinación interdepartamental.

Palabras clave: Construcción en prefabricados, planificación, programación, sistema de gestión de datos, diseño de procedimiento.

Abstract

In an industrialized context, construction has adopted methods that optimize time and resources, highlighting among them the use of prefabricated elements, a technique that has gained popularity in recent years. The planning and scheduling of these projects are essential to ensure success and compliance with established deadlines. However, the lack of comprehensive coordination between production and construction creates difficulties in the design, manufacturing and assembly processes.

This project proposes the development of an integral planning and scheduling process for the manufacturing and assembly of prefabricated elements in Holcim Modular Solutions, with a focus on resource optimization and compliance with contractual deadlines. To achieve these objectives, the following activities were developed:

- A detailed analysis of the planning procedure currently in use.
- Identification of good practices in planning between manufacturing and assembly of prefabricated elements.
- Detailed specifications for the comprehensive planning procedure.
- Creation of a prototype of the planning tool.
- Results of the validation of the proposed improvements in comprehensive planning.

The introduction of a procedure that includes tools for progress control, schedule tracking, change order management, dispatch optimization, and historical data analysis is expected to facilitate and optimize the planning and scheduling process while improving interdepartmental coordination.

Keywords: Prefabricated construction, planning, programming, data management system, procedure design.

Proceso de planificación y programación integral para la fabricación y el montaje de elementos prefabricados de la empresa constructora Holcim Modular Solutions

CAMILA ALEJADRA QUINTANA REYES

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

Julio de 2024

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

IV

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO	VII
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	14
1.1 PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN	14
1.1.1 <i>Concepto de planificación</i>	14
1.1.2 <i>Concepto de programación</i>	15
1.1.2 <i>Relación entre la planificación y programación</i>	17
1.2 SISTEMAS PREFABRICADOS	17
1.2.1 <i>Elementos armados</i>	17
1.2.2 <i>Elementos pretensados</i>	19
1.2.3 <i>Elementos extruidos</i>	20
1.3 EFICIENCIA DEL PROCESO CONSTRUCTIVO Y RECURSOS	21
1.3.1 <i>Eficiencia del proceso</i>	21
1.3.2 <i>Eficiencia de recursos</i>	23
1.4 GESTIÓN ELECTRÓNICA DE DATOS	23
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	27
2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	27
2.1.1 <i>Enfoque de la investigación</i>	27
2.2 DEFINICIÓN DE CATEGORÍAS Y VARIABLES	28
2.3 SUJETOS DE INFORMACIÓN	30
2.3.1 <i>Población de estudio</i>	30
2.3.2 <i>Tamaño de la muestra</i>	31
2.4 FUENTES DE INFORMACIÓN	32
2.4.1 <i>Fuentes primarias</i>	32
2.4.2 <i>Fuentes secundarias</i>	33
2.5 DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	33
2.5.1 <i>Técnicas e instrumentos</i>	33

2.5.2 Descripción de actividades para cada instrumento	34
2.6 ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	35
2.6.1 Presentación de los resultados	36
2.6.2 Descripción del proceso de análisis	37
2.6.2.1 Técnicas de análisis	37
2.6.2.2 Productos esperados	37
CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y ANÁLISIS	39
3.1 Análisis de la situación actual sobre la planificación y programación de la empresa	39
3.1.1 Flujo del proceso de planificación y programación actual	39
3.1.2 Resultados de entrevista a sujetos de información	43
3.1.2 Herramientas utilizadas actualmente para la planificación y programación	53
3.1.3 Identificación de fortalezas y puntos de mejora en el proceso	59
3.2 Identificación de buenas prácticas	63
3.2.1 Informe de investigación sobre antecedentes de empresas constructoras de sistemas prefabricados	63
3.3 Diseño de procedimientos de planificación y programación	66
3.3.1 Especificaciones detalladas del procedimiento para la planificación integral.	66
3.3.2 Prototipo o versión inicial de la herramienta diseñada	77
3.4 Aplicación y evaluación del procedimiento en un proyecto piloto	95
3.4.1 Aplicación del procedimiento y herramientas en el proyecto piloto.	95
3.4.2 Resultados de la validación de las mejoras identificadas en cuanto a la planificación integral.	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES	107
REFERENCIAS	108
APÉNDICES	111

Resumen ejecutivo

La industria de los sistemas prefabricados ha experimentado un auge significativo en las últimas décadas, según Novas (2010) se ha impulsado por diversos factores como la creciente demanda de viviendas asequibles y sostenibles, la necesidad de acortar los plazos de construcción y mejorar la eficiencia, y el avance en las tecnologías de construcción. Esta teoría explora los aspectos clave que sustentan el crecimiento y la evolución de esta industria dinámica. Por lo tanto, la construcción en prefabricados ha tenido un incremento importante en los últimos años, esto con el fin de industrializar la construcción de manera que destaque su ventaja competitiva frente a otros sistemas constructivos de la rapidez de ejecución en sitio.

Holcim Modular Solutions, subsidiaria de Holcim Costa Rica, se especializa en soluciones prefabricadas de concreto, centradas en el prefabricado pesado para proyectos industriales. Sin embargo, enfrenta retos en la coordinación entre producción y construcción, lo que impacta negativamente la planificación de diseño, fabricación y montaje, afectando el cumplimiento de los plazos. La falta de un proceso de planificación integral dificulta la gestión eficiente de recursos y la coordinación interdepartamental, generando un desfase de aproximadamente 25% entre los tiempos programados y los reales en producción y construcción. Este proyecto propone desarrollar un proceso integral de planificación y programación para optimizar recursos y asegurar el cumplimiento de los plazos contractuales.

Además, este proyecto contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, específicamente al ODS 11, "Ciudades y comunidades sostenibles," al optimizar tiempos de construcción y promover entornos urbanos más eficientes. Asimismo, aborda el ODS 12, "Producción y consumo responsables," al reducir el desperdicio de materiales, optimizar el uso de maquinaria y minimizar el impacto ambiental del transporte, disminuyendo la huella ecológica de los proyectos de construcción prefabricada.

La empresa Holcim Modular Solutions, comprometida con la evolución constante, integra tecnologías innovadoras y procesos eficientes en la planificación de sus proyectos para adaptarse a las demandas del mercado, optimizar recursos y cumplir con los rendimientos y plazos. Este proyecto propone desarrollar un proceso integral de planificación y programación para la fabricación y montaje de elementos prefabricados, enfocado en optimizar recursos y asegurar el cumplimiento de los plazos contractuales. Para ello, se analizará el sistema actual de planificación entre fabricación y montaje, identificando oportunidades de mejora y estudiando buenas prácticas de empresas similares. A partir de estos datos, se diseñará un procedimiento adaptado a los requerimientos de la empresa, el cual será implementado en un proyecto piloto para validar las mejoras en planificación y programación integral.

Para alcanzar los objetivos del proyecto, se implementó una metodología que incluyó observación detallada y entrevistas con líderes departamentales, esto para respaldar el primer objetivo específico de la realización de un análisis de la planificación y programación actual entre la fabricación y el montaje de los elementos prefabricados para la identificación de las oportunidades de mejora, donde se logró realizar el diagrama de flujo del proceso actual de planificación con el cual se identificó el flujo de trabajo y los principales cuellos de botella que afectan los plazos y cronogramas. También se evaluaron las herramientas empleadas en el proceso, donde mediante un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas se revelaron oportunidades de mejora para integrar y centralizar la información, con actualizaciones en tiempo real accesibles para todos los departamentos (producción, logística y construcción).

De manera que, con el análisis logrado anteriormente, se generó un sistema de visualización integral que permite a cada área (comercial, producción, construcción y logística) monitorear el avance en tiempo real, mejorando la coordinación y el cumplimiento de plazos. Además, se planteó una planificación anticipada de logística mediante un sistema que integra datos de requerimientos de piezas, optimizando el flujo desde la planta hasta el sitio de construcción. Finalmente, un análisis predictivo de datos históricos fue diseñado para identificar problemas recurrentes y ajustar la planificación, mejorando la precisión en los futuros cronogramas.

Seguidamente, se realizó una revisión bibliográfica con el fin de abarcar el segundo objetivo específico de la investigación acerca de antecedentes de empresas constructoras de sistemas prefabricados para la identificación de buenas prácticas de planificación y programación entre la fabricación y el montaje de los elementos. Donde, como resultado se destacaron el manejo de dos cronogramas, centralización de la información, cronograma de producción basado en la capacidad de moldes, cálculos periódicos de capacidades máximas de producción y montaje, control del número de piezas prefabricadas y optimización del proceso de envíos de elementos a sitio.

Con este levantamiento de datos se diseñó un procedimiento basado en los requerimientos de la empresa para la planificación y programación integral de producción y montaje. Se replanteó el proceso y las herramientas utilizadas, reformulando el flujo actual. Este nuevo flujo integra todos los departamentos, facilitando el control del proyecto. Se incorporaron herramientas de análisis de datos en Power BI y Excel, bajo un sistema integral de gestión de bases de datos para cada proyecto. Este sistema permite controlar el avance, dar seguimiento a cronogramas, gestionar órdenes de cambio, optimizar despachos y analizar datos históricos. El objetivo es contar con un sistema en tiempo real que facilite decisiones rápidas sobre plazos o acciones necesarias para cumplir con los objetivos. Esto resulta crucial en un negocio de prefabricados, donde el cumplimiento del plazo es primordial.

Una vez diseñada la herramienta, se procedió a aplicarla en un proyecto piloto con el objetivo de validar las mejoras identificadas en la planificación y programación integral. Se logró la creación de cronogramas integrales contractuales e internos los cuales permiten trabajar con holgura para velar por el cumplimiento de plazo, facilitando una alineación precisa entre la producción y el montaje, de esta manera se asegura que todos los departamentos inicien sus actividades bajo un mismo objetivo y permitiendo

una medición de lo real contra lo programado por departamento. Además, el proceso de planificación incluye un control eficaz de órdenes de cambio, lo cual agiliza la priorización y minimiza su impacto en el cronograma general, optimizando el uso de recursos y evitando reprocesos. Mediante la herramienta se logra dar un estado a cada una de las piezas donde se afecta al orden de cambio, es decir si se encuentra planificada, en producción, en acabado o despachada en sitio, donde el impacto se encuentra de menor a mayor, respectivamente.

Un aspecto crítico abordado fue la optimización de la logística, con una planificación anticipada de las condiciones o estados de las piezas, optimizando la cadena de suministro y reduciendo tiempos de espera y cuellos de botella en producción y montaje. Es decir que, una vez generado un programa de despachos por fecha, este se alimenta de las bases de datos generadas para delimitar el estado de cada una de las piezas, donde se categoriza en disponible para envío, producida, con orden de producción o sin orden de producción. De manera que, al momento de cargar los viajes, se evita un reproceso en patio de verificación de estado de cada una de las piezas, lo cual facilita y agiliza la carga de estas. Además, de generar un visual de qué piezas se debe trabajar para que se encuentren en estado disponible para envío.

De manera similar, la herramienta del análisis predictivo de datos históricos recopila la información generada de todos los departamentos, esto con el fin de identificar patrones recurrentes, como lo es capacidades máximas de generación de planos de piezas para fabricar, producción de piezas y despacho de las mismas, con el fin de evaluar la capacidad de procesamiento de proyectos en simultáneo, y así anticipar problemas y ajustar la planificación, incrementando la precisión y reduciendo costos adicionales.

Finalmente, el diseño de un procedimiento integrado en una plataforma centralizada permite que todos los departamentos (producción, logística y construcción) accedan a información actualizada en tiempo real, mejorando la comunicación y coordinación interdepartamental, lo que reduce errores y minimiza retrasos en el proceso constructivo.

Introducción

Holcim Modular Solutions, una subsidiaria de Holcim Costa Rica se ha convertido en un líder en el campo de soluciones prefabricadas de concreto. Su origen se remonta a la adquisición de dos divisiones de la compañía Productos de Concreto: Concreprefa (dedicada a prefabricados livianos) y la división de prefabricados de ingeniería. Principalmente su mercado y enfoque se centraliza en esta última división, es decir el prefabricado pesado, el cual se basa en la adjudicación, diseño estructural, producción y construcción de proyectos como naves industriales, edificios y gimnasios.

La industria de los sistemas prefabricados ha experimentado un incremento significativo en las últimas décadas, donde los aspectos clave que sustentan el crecimiento y la evolución de esta industria dinámica recaen en el éxito de proceso la planificación y programación previo al ingreso del montaje de piezas en sitio. La empresa bajo la premisa de una constante evolución incorpora tecnologías innovadoras y procesos eficientes dentro de la planificación de sus proyectos, con el fin de adaptarse a las nuevas demandas del mercado, optimizar el uso de recursos y cumplir con los rendimientos y plazos esperados.

Actualmente, la coordinación entre el departamento de producción con el departamento de montaje en sitio evidencia falencias y oportunidades de mejora, es decir que, no existe una programación y control a tiempo real de piezas enviadas y recibidas en proyecto, lo cual evita tener proyecciones de secuencias de montaje para priorizar la producción de pieza en un orden adecuado. Lo cual dificulta la entrega oportuna en sitio, retrasando el montaje y los avances proyectados, donde aproximadamente esto representa un 25% de diferencia entre los plazos de producción y construcción programados contra los reales, afectando el cumplimiento de plazos general.

Esto debido a la problemática en la planificación y programación integrada entre las áreas de producción y montaje, desde la fabricación en la planta hasta el transporte e instalación en el sitio. Lo cual asegura que cada paso se realice en el momento adecuado y de manera coordinada, minimizando retrasos. Además, de la gestión eficiente de los recursos, donde todos los equipos de trabajo enfoquen sus recursos en el orden correcto de prioridades, con el fin de cumplir metas de proyectos y no retrasar los avances en el montaje.

La evolución tecnológica ha puesto de relieve el valor estratégico de la gestión de datos electrónicos en las empresas, convirtiendo los datos en un activo esencial para optimizar recursos y generar indicadores clave. En el contexto de la industrialización de la construcción, la planificación y programación de proyectos prefabricados implica una serie de etapas interconectadas en las que varios equipos trabajan con un objetivo

común. La integración de la gestión de datos electrónicos es, por tanto, crucial para coordinar y monitorear el cumplimiento de los cronogramas, permitiendo una visión integral del avance y acceso a datos históricos necesarios para evaluar capacidades, rendimientos y progreso de los proyectos.

La novedad en este enfoque radica en la implementación de un sistema de gestión de datos que brinda visibilidad en tiempo real de la planificación y el cumplimiento, lo cual resulta fundamental para optimizar la toma de decisiones. Dado que el proceso constructivo de prefabricados destaca por su rapidez, la capacidad de respuesta ante imprevistos se vuelve vital para evitar retrasos en el plazo final del proyecto. Este sistema de datos electrónicos permite, además, el registro continuo de información actualizada, generando un proceso óptimo que respalda decisiones informadas y oportunas. Por lo tanto, la incorporación de un sistema de gestión de datos electrónicos en la planificación y programación de producción y montaje representa un avance innovador, con beneficios como la reducción de riesgos, la mejora de la eficiencia operativa y el fortalecimiento de la coordinación interdepartamental.

Este proyecto se alinea y contribuye de manera significativa a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU, enfocándose especialmente en los objetivos ODS 11 y ODS 12. En cuanto al ODS 11, "Ciudades y comunidades sostenibles," el proyecto promueve la optimización de los tiempos de construcción, lo que facilita el desarrollo de entornos urbanos más eficientes y habitables. Al mejorar los plazos de construcción y montaje de estructuras prefabricadas, se impulsa la creación de ciudades que puedan responder más rápido y de manera más organizada a las necesidades de infraestructura, contribuyendo al bienestar general y a una urbanización más ordenada y sostenible.

Por otra parte, el proyecto también aborda el ODS 12, "Producción y consumo responsables," mediante la reducción del desperdicio de materiales, la optimización del uso de maquinaria y la minimización del impacto ambiental del transporte de materiales prefabricados. Al reducir la generación de residuos y optimizar el proceso de construcción prefabricada, se disminuye la huella ecológica de estos proyectos, ayudando a conservar recursos naturales y reducir el consumo de energía asociado al transporte y montaje. Esto no solo contribuye a una construcción más sostenible, sino que también refuerza el compromiso de la industria con prácticas responsables que protegen el medio ambiente y promueven una economía circular en la construcción. Así, el proyecto apoya la transición hacia prácticas constructivas más sostenibles y responsables, impulsando un cambio hacia una gestión ambiental y urbana que cumpla con los estándares globales de sostenibilidad y eficiencia.

En cuanto a los antecedentes, algunos autores han abarcado esta problemática en llevar una planificación con base a distintas herramientas, según la investigación realizada por Yin, Ping Tserng, Wang, Tsai (2009) la forma de automatizar el proceso de planificación de las piezas en la producción y el montaje es mediante la utilización de un sistema que abarque una identificación de cada una de ellas, en este caso se utilizó la identificación por radiofrecuencia (RFID) que se caracteriza por identificar cada elemento mediante un tag de radiofrecuencia con predisposiciones superiores y una base de datos de almacenamiento para miles de archivos de datos. Con lo que logró tener un control de cada elemento desde que se inicia con

la armadura hasta la instalación del producto terminado en sitio, permitiendo un plan integrado entre los departamentos, asegurando el cumplimiento de los avances programados.

Dentro de la planificación integral entre la fabricación y el montaje el punto clave recae en la coordinación de transporte de elementos a sitio, Jang, Ahn y Kim (2023) propone un sistema de información basado en la nube para la planificación automatizada del transporte de productos prefabricado, donde se desarrolló una herramienta compatible con la gestión de usuario en línea y a tiempo real mediante la nube, con el objetivo de satisfacer las necesidades del usuario de montaje, mediante la solicitud de los elementos requeridos en sitio, y del usuario a cargo de la planificación de viajes diarios, teniendo datos consolidados y automáticos como geometría, peso y estado de producción de la pieza. Los expertos, encargados de evaluar dicha aplicación, consideraron valiosa la automatización y digitalización de la planificación del transporte de productos prefabricados, con una aplicabilidad medida de 4,75 de 5, lo que confirma que el sistema se puede adoptar fácilmente en proyectos reales.

Además, que el sistema de planificación propuesto puede evitar omisiones de información y generar un control del estado de cada uno de los elemento, donde en la construcción de prefabricados los planes de producción son indispensables para que las piezas se produzcan de acuerdo a la secuencia de montaje requerida, de manera que tener un programa de producción optimizado y que se puedan generar varios escenarios para evaluar la mejor opción de acuerdo a los plazos de cada proyecto es sumamente importante para llevar una planificación integrada de producción con el montaje en sitio, además de poder valorar diferentes escenarios logrando una toma de decisiones eficiente. Por lo tanto, según Ho Ko y Wang (2010) propone como herramienta un sistema de soporte a la decisión basados en análisis e interconectividad de bases de datos para ayudar a los gerentes de producción a organizar los planes de producción, donde se estableció modelos de producción basados en el estado práctico de producción en fábricas de prefabricados. Se aplicó un algoritmo de búsqueda multi-objetivo para buscar planes de producción con un mínimo de duración de fabricación y penalización por tardanza. Esto se validó mediante dos ejemplos, donde los resultados indican que el proceso y herramienta propuesta es capaz de ofrecer soluciones factibles a la producción de prefabricados para mejorar la toma de decisiones. Al aplicar algoritmos adecuados en los que están involucradas situaciones reales, se puede proporcionar un conjunto de soluciones óptimas maximizando recursos y disminuyendo plazos de producción y montaje.

De manera que se definen los objetivos de la investigación que se desglosan a continuación:

Objetivo General

Desarrollar un proceso para la planificación y programación integral de la fabricación y el montaje de elementos prefabricados para la optimización de los recursos y cumplimiento de los plazos contractuales.

Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de la planificación y programación actual entre la fabricación y el montaje de los elementos prefabricados para la identificación de las oportunidades de mejora.

- Investigar acerca de antecedentes de empresas constructoras de sistemas prefabricados para la identificación de buenas prácticas de planificación y programación entre la fabricación y el montaje de los elementos.
- Diseñar un procedimiento con base en los requerimientos de la empresa para la planificación y programación integral de los procesos de producción y montaje.
- Aplicar el procedimiento en un proyecto piloto para la validación de las mejoras identificadas en cuanto a la planificación y programación integral.

El alcance de este proyecto se centra en el proceso de planificación y programación de la producción y montaje en sitio, con el objetivo de optimizar recursos y garantizar el cumplimiento de los plazos establecidos, todo ello mediante un manejo adecuado de datos electrónicos. El proyecto abarca la creación de cronogramas de trabajo y su respectivo seguimiento, así como el monitoreo del avance en cada etapa del proyecto constructivo.

Además, se incorpora un control riguroso de órdenes de cambio, aspecto crucial para anticipar y realizar ajustes en la programación cuando sea necesario. También se incluye el análisis de datos históricos, lo cual facilita el cálculo de capacidades máximas y la generación de indicadores clave. Aunque la calidad de las piezas y el costo general del proyecto son factores relevantes, no forman parte del alcance de este trabajo de graduación, que se enfoca principalmente en el cumplimiento de los plazos, una ventaja esencial del sistema constructivo basado en prefabricados.

En cuanto a las limitaciones, debido a la naturaleza de este trabajo de graduación, enfocado en el diseño de un procedimiento para la planificación y programación de la producción y montaje en prefabricados, se enfrentan algunos desafíos. La cultura organizacional y la experiencia de los colaboradores pueden dificultar la implementación de nuevas herramientas en el proceso actual, lo que podría limitar la capacidad de estas herramientas para procesar adecuadamente los datos.

Además, el éxito del análisis de datos depende en gran medida de la estandarización de los procesos. Esto implica que las bases de datos generadas deben mantener una calidad uniforme y una nomenclatura consistente para cada proyecto o pieza. Sin embargo, en una industria donde las piezas son variables y cada proyecto presenta geometrías y cantidades diferentes, lograr esta estandarización en la gestión de datos se convierte en un reto significativo.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento, en primer lugar, a mis padres, hermano y amigos por darme el apoyo y la confianza para lograr todas las metas que me propongo, entre esas mi crecimiento profesional dentro del área constructiva. Además, agradecer a mi profesor tutor Manuel Alan por ayudarme dentro de la implementación de este proyecto y ser un ejemplo de profesional dentro de la industria y motivando a crecer cada vez más como persona y profesional. Finalmente, agradezco a la empresa Holcim Modular solutions por abrirme las puertas y permitirme aprender de este sistema constructivo, así como facilitarme la realización de este proyecto de graduación, de la mano con mi profesional guía dentro de la empresa Erick Rodríguez por facilitarme la implementación del proyecto dentro de los procesos regulares de la empresa y lograr identificar y atacar los puntos de mejora.

Capítulo 1: Marco teórico

Este capítulo presenta los antecedentes y los conceptos fundamentales de la construcción con prefabricados, comenzando con la definición de la planificación y programación que exige este sistema constructivo. Se abordarán las características de los elementos prefabricados armados, pretensados y extruidos, así como los aspectos relacionados con la eficiencia en los procesos, el uso óptimo de los recursos y la adecuada gestión de datos electrónicos.

1.1 Planificación y programación

La planificación y programación en el sistema constructivo de prefabricados es esencial. Según Chan y Hu (2002), ambas son componentes clave en la gestión de la producción de prefabricados. Se han realizado importantes esfuerzos para mejorar los métodos y técnicas en esta área, debido a que los problemas que enfrentaba la industria del concreto prefabricado en ese momento estaban directamente relacionados con la planificación y programación de la producción de los elementos (p. 1). Por lo tanto, abordar esta área es crucial para alcanzar los objetivos planteados por la construcción con este sistema.

1.1.1 Concepto de planificación

El rol de la planificación se fundamenta en la estimación de plazos, como afirman Konczak y Paslawski (2015), quienes señalan que la planificación en la industria de prefabricados implica la definición precisa de plazos, abarcando diversas fases y tareas. Esto está estrechamente vinculado con la necesidad de garantizar la continuidad y el ritmo de producción, lo que requiere una organización racional del trabajo para asegurar un equilibrio adecuado entre los procesos principales y auxiliares (p. 1). En resumen, una planificación eficiente implica la determinación de los tiempos para cada tarea, asegurando un flujo constante y sistemático del proceso productivo.

No obstante, no se puede ignorar la variabilidad inherente a la industria de la construcción. Los procesos constructivos, debido a su complejidad, dinamismo, riesgos e incertidumbres, exigen una racionalización y organización del trabajo que requiere un análisis exhaustivo y el uso de herramientas apropiadas. Las herramientas tradicionales de planificación, como los programas de producción y el diagrama de Gantt, presentan limitaciones para la industria de prefabricados, como el enfoque estático de la planificación, la falta de determinación de parámetros críticos del proceso y la carencia de predicciones sobre la aparición de problemas durante la ejecución (Konczak y Paslawski, 2015, p. 2). Por ello, es necesario desarrollar herramientas que abarquen tanto el control de proyectos constructivos y sus variables, como el control del rendimiento en la producción industrial.

Además, autores como Sacks et al. (2004) mencionan que inicialmente se propuso una metodología para planificar la producción de múltiples tipos de productos utilizando diversos moldes, ofreciendo la primera definición formal de un sistema de información para una planta de prefabricados. Posteriormente, se desarrolló un sistema experto para la gestión integrada de la producción y la construcción, mientras que otros esfuerzos llevaron a la implementación de la entrega "justo a tiempo" por parte de los productores de prefabricados (p. 7).

A partir de estos análisis, la comparación entre distintos modelos permite identificar problemas comunes en la industria. Sacks et al. (2004) destaca que este enfoque revela una gran diversidad en los procesos, influenciados por el tipo de producto y los sistemas de gestión empleados, como la planificación de recursos. En términos generales, las fases del proceso en la industria de prefabricados siguen una secuencia común que incluye: diseño conceptual, diseño estructural, detalles de ensamblaje, fabricación, almacenamiento, entrega y montaje (p. 9). Por lo tanto, una planificación efectiva debe basarse en un sistema de gestión de datos que permita el seguimiento y control preciso del proyecto mediante métricas específicas.

1.1.2 Concepto de programación

La programación implica la organización para saber cuándo se realiza cada tarea que conlleva el proceso, es decir como lo menciona Chan y Hu (2002) la programación se basa en la asignación de recursos durante un período de tiempo para realizar una serie de trabajos sujetos a restricciones conocidas (p. 2). Por lo tanto, se debe considerar todas las variables del proceso y en qué momento se debe realizar cada una de ellas.

El proceso típico en una fábrica de prefabricados, según Chan y Hu (2002) se sigue estos pasos:

1. preparación y traslado de los moldes
2. limpieza y preparación de los moldes
3. colocación de refuerzos y otros componentes
4. colado y compactación del concreto
5. curado

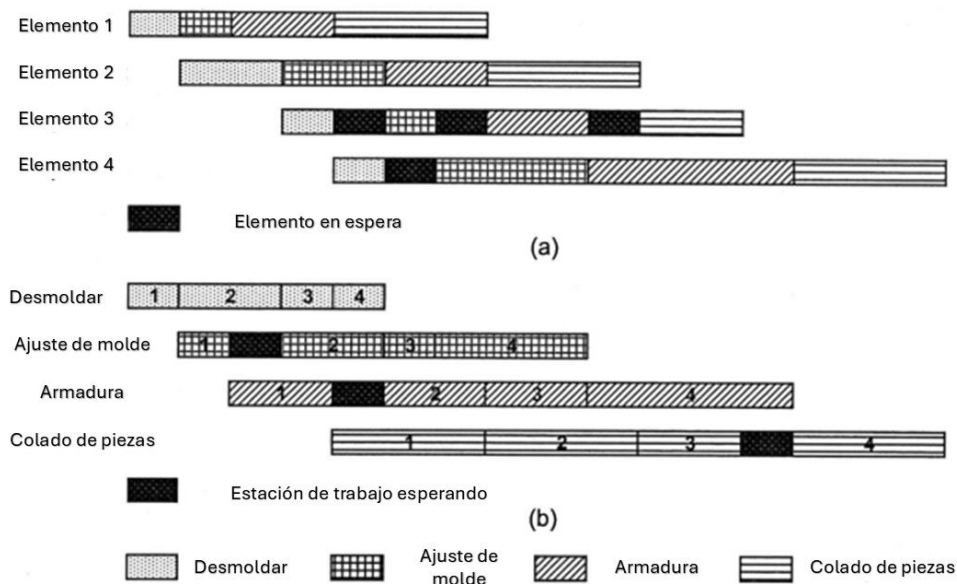
6. desmoldeo

7. acabado y almacenamiento de los elementos para su posterior transporte a la obra.

Es decir, cada tarea que debe realizarse para cada elemento es importante y debe seguir un orden específico para cumplir con el objetivo de producción. Además, el tiempo requerido variará según el tipo de elemento.

Una vez mencionados los procesos de fabricación, es importante mencionar los métodos de trabajo utilizados, como lo menciona Chan y Hu (2002) existen dos métodos principales para organizar las cuadrillas de producción, como se visualiza en la figura 1, el método integral (método a) implica que la misma cuadrilla realice todas las operaciones en cada componente, lo que ofrece flexibilidad, pero puede generar ineficiencias en el uso de mano de obra y equipo. Es común en empresas de prefabricado pequeñas y medianas. Por otro lado, el método especializado (método b) divide las tareas en equipos especializados para cada actividad (desmoldeo, preparación, colado, entre otros.). Este enfoque es más eficiente, especialmente en líneas móviles, pero su éxito depende de que todos los componentes sean similares en tiempos de producción, ya que la heterogeneidad puede generar tiempos de espera e inactividad en las estaciones de trabajo (p.3). De manera que se puede observar el manejo del tiempo muerto en espera de cuadrillas.

Figura 1. Métodos de organización de cuadrillas en producción de elementos prefabricados en planta.



Nota: (Chan y Hu, 2002, p. 6)

Ademas, según Sacks et al. (2004) la producción de elementos heterogéneos es común en la industria, lo que genera dificultades para mantener un ritmo equilibrado de trabajo. Para abordar esta problemática, se han desarrollado modelos de programación y gestión de datos de la producción en escenarios donde se deben fabricar diferentes tipos de componentes simultáneamente, con tiempos de

producción variables (p. 6). Esto con el fin de facilitar el control de proyectos que conlleven este sistema constructivo.

1.1.2 Relación entre la planificación y programación

La planificación y la programación están estrechamente relacionadas, complementándose mutuamente. Mientras que la planificación define lo que debe hacerse, la programación detalla cuándo y cómo se ejecutarán las tareas. Yuang et al. (2024) destacan que uno de los mayores desafíos en una empresa de prefabricados es el control de proyectos mediante la identificación de la ruta crítica en la fabricación de las piezas. Esto implica gestionar cuidadosamente el plan de producción para cumplir con los plazos establecidos y los requerimientos en obra, al tiempo que se aseguran indicadores óptimos de eficiencia en el uso de recursos. Además, es crucial coordinar el momento y la forma en que se realizarán cada una de las tareas del proceso productivo, lo que requiere un programa de producción alineado con las líneas productivas en operación (p. 8). En resumen, planificación y programación son fases esenciales que deben trabajar en conjunto para garantizar un control efectivo de los proyectos.

1.2 Sistemas prefabricados

Con respecto a los sistemas prefabricados, estos se dividen en tres. Los elementos armados, que básicamente hacen referencia a elementos que solo llevan aros, mallas y varillas. Los elementos pretensados, que hacen referencia a los elementos que, igual que los anteriores llevan armadura, pero con la diferencia que se les aplica una pretensión por medio de torones antes del colado el elemento. Y los extruidos, que son el elemento más industrializado que no lleva ningún tipo de armadura, solamente lleva una configuración de torones con una cierta emisión para cumplir con la normativa dependiendo de las cargas a las que se va a someter. (Pérez, 2022, p. 5). De manera que, se dividen en diferentes líneas productivas por estas categorías.

1.2.1 Elementos armados

Los elementos armados, según Tazarv y Saiid (2016), son aquellos que utilizan refuerzos de acero, ya sean barras o mallas, embebidos en el concreto, lo que les proporciona mayor resistencia estructural. Estos elementos son ampliamente empleados en la construcción de vigas, columnas y placas prefabricadas.

Se fabrican en moldes metálicos sellados, diseñados para soportar la presión del concreto durante el colado de cada pieza (p. 2). Es importante destacar que estos elementos requieren un ensamblaje en sitio, ya sea a través de ductos preparados para unir varillas, como se muestra en la figura 2, o mediante el uso de acero expuesto para realizar el nudo en las uniones entre vigas y columnas, como se observa en la figura 3.

Figura 2. Detalle de acero saliendo de columna de prefabricado



Nota: (Tazarv y Saiid, 2016, p. 3)

Figura 3. Detalle de columna dentro del molde con ductos para ensamble en sitio



Nota: (Tazarv y Saiid, 2016, p. 3)

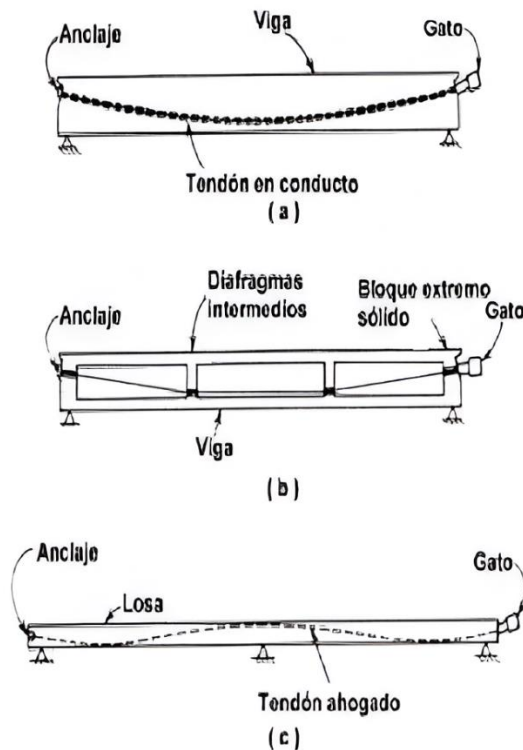
Los detalles específicos de los elementos armados, como los ductos o el acero expuesto, presentan un desafío en la correcta fabricación y planificación de cada pieza. Estos detalles hacen que cada elemento sea único durante el montaje en sitio, lo que complica su producción y ensamblaje (Tazarv y Saiid, 2016, p.

5). Por ello, la planificación y programación adecuadas son fundamentales para garantizar la eficiencia en este sistema constructivo.

1.2.2 Elementos pretensados

Los elementos pretensados son aquellos en los que los refuerzos se tensan antes de verter el concreto. Como señala Gómez (2010), la pretensión consiste en aplicar tensiones iniciales al refuerzo, lo que mejora la resistencia del elemento al contrarrestar las tensiones generadas por cargas futuras. Esta práctica se ha vuelto común en la industria del prefabricado, ya que muchas piezas incorporan este diseño estructural. El procedimiento consiste en tensar los torones con gatos hidráulicos en los anclajes de la línea de producción, antes de colar la pieza. Una vez que el concreto alcanza la resistencia adecuada, los anclajes se liberan, transmitiendo el esfuerzo al concreto gracias a la adherencia entre los materiales (p. 23). En la figura 4, se ilustra la producción de vigas pretensadas: en la parte a, se observa la trayectoria horizontal de los torones; en la parte b, el desvío de estos; y en la parte c, la producción en serie de varios elementos de diferentes dimensiones.

Figura 4. Proceso de elementos pretensados



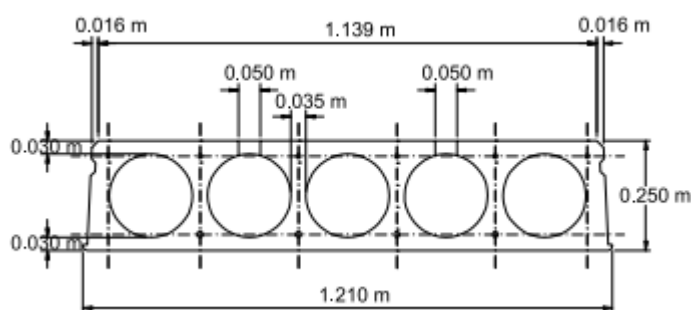
Nota: (Gómez, 2010, p.24)

Además, como menciona Gómez (2010), la mayoría de los elementos pretensados se fabrican en serie en plantas equipadas con instalaciones y moldes metálicos diseñados para soportar las cargas necesarias (p. 24). Por ello, esta línea de producción es clave para la construcción de proyectos como edificios y naves industriales.

1.2.3 Elementos extruidos

El sistema extruido se refiere a un método de construcción de entrepisos, como se describe en el Manual Técnico de Holcim Modular Solutions (2023). Este sistema, conocido como losa lex, utiliza paneles con sección hueca, visibles en la figura 5, que presentan diferentes peraltes según el diseño estructural y la carga que soportará el entrepiso. Los más comunes son de 15 cm, 20 cm y 25 cm. Esta flexibilidad lo convierte en un sistema versátil y económico, apto para diversos tipos de proyectos. Su fabricación se realiza en pistas de más de 100 metros lineales, donde los torones se configuran con una pretensión específica. Posteriormente, una máquina industrializada se encarga de colar el concreto en cada pista y luego cortar las piezas a la medida (p. 61).

Figura 5. Detalle de sección transversal de elemento Losa Lex



Nota: (Holcim Modular Solutions, 2023, p.61)

Como se mencionó los elementos extruidos se producen mediante un proceso continuo en el que el concreto es forzado a través de un molde o boquilla, creando piezas largas y uniformes, lo cual permite tener un proceso de alta rapidez y eficiencia productiva y al momento del montaje.

1.3 Eficiencia del proceso constructivo y recursos

Dentro de un proceso constructivo como uno industrializado la eficiencia del proceso y los recursos es fundamental para asegurar el buen funcionamiento de este, de manera que Wang et al. (2018) comenta que el sistema de prefabricados es un enfoque de industrialización que traslada las actividades de construcción del sitio de obra a plantas especializadas, y ha ganado relevancia en diversos sectores de la industria de la construcción, sin embargo, a pesar de estas ventajas, el rendimiento de la tecnología prefabricada se ve frecuentemente limitado en cuanto a la producción de componentes prefabricados ya que no se gestiona adecuadamente, donde se evidencia problemas como retrasos en la entrega de los elementos o exceso de stock, producto de una planificación de producción no adecuada (p. 1). Por lo tanto, generar un procedimiento óptimo permite eficientizar el proceso y los recursos.

Por ende, en la gestión de la producción de componentes prefabricados, Wang et al. (2018) comenta dos decisiones clave que deben ser tomadas:

1. La programación de la producción
2. La asignación de recursos

Donde actualmente, estas tareas suelen tratarse de manera independiente, lo que puede provocar desajustes, ya que un cronograma óptimo puede fallar si los recursos no están disponibles cuando se necesitan. Además, la optimización de ambas tareas tiende a realizarse utilizando herramientas y suposiciones tradicionales, las cuales no reflejan las condiciones reales de la industria. Estos modelos complejos pueden limitar su aplicabilidad y, en algunos casos, invalidar los cronogramas, causando caos, demoras y un aumento en los costos de la cadena de suministro (p.2).

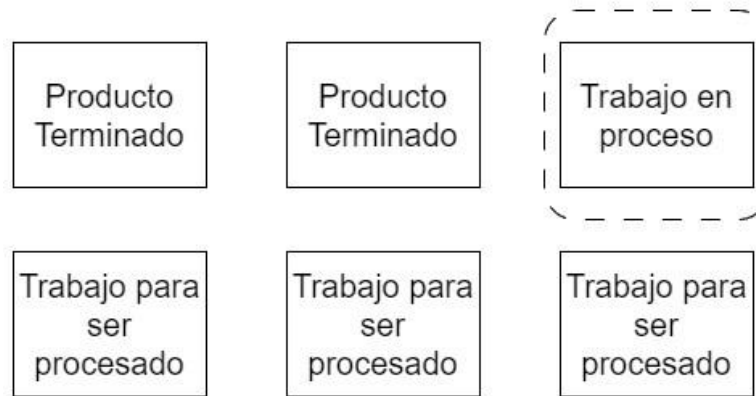
1.3.1 Eficiencia del proceso

Determinar la eficiencia de un proceso se basa en generar datos y flujos de información que permitan evidenciar los rendimientos actuales y así poder tomar decisiones, es así como lo menciona Ko y Wang (2019) donde la eficiencia del proceso depende del método utilizado en la planta, los cuales se dividen en dos:

- Método integral: todos los procesos de fabricación de la pieza se llevan a cabo con el mismo equipo de trabajo en el mismo lugar de fabricación, donde se termina la producción de un elemento y se comienza el otro, y por aparte se lleva el proceso de almacenamiento y envío a sitio. Como se evidencia en la figura 6. Donde se visualiza estaciones de trabajo determinadas, las de producto terminado y las de trabajo para ser procesado, de manera que la eficiencia de la cuadrilla de trabajo

se mide mediante el trabajo en proceso mediante la cantidad de piezas terminadas contra las programadas dentro de un periodo de tiempo.

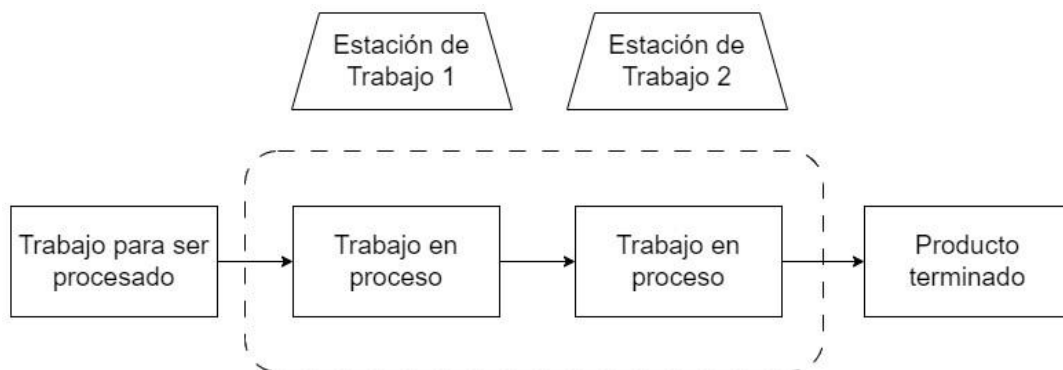
Figura 6. Proceso de fabricación de piezas mediante el método integral.



Nota: (Ko y Wang, 2019, p. 6. Adaptado por la autora)

- Método especializado: en este se dividen los procesos de fabricación en subtarefas, donde en varias estaciones trabajan distintas cuadrillas para cada etapa del elemento como se ejemplifica en la figura 7, desde la producción hasta el sitio de construcción. Es decir que, el elemento se mueve en las distintas estaciones de trabajo armado, colado, acabados, almacenamiento y transporte, las cuales llevan un tiempo determinado el cual se mide por cantidad de piezas procesadas por cada estación de trabajo contra las programadas dentro de un periodo de tiempo.

Figura 7. Proceso de fabricación de piezas mediante el método especializado.



Nota: (Ko y Wang, 2019, p. 6. Adaptado por la autora)

1.3.2 Eficiencia de recursos

Dentro de una buena planificación y programación en la construcción en prefabricados se encuentra la eficiencia de los recursos, como lo menciona Wang et al. (2018) se debe desarrollar métodos que sincronicen la programación de producción con la asignación de recursos, optimizando así la toma de decisiones en la planificación de prefabricados, creando modelos que reflejen las situaciones reales de producción, permitiendo una asignación automática de recursos y simplificando el proceso.

De manera que Wang et al. (2018) habla de un modelo de programación de jerarquías donde se clasifica por prioridades las operaciones de cada una de las órdenes de producción (planos de taller de cada una de las piezas) y se calcula el tiempo de finalización sujeto a los recursos asignados. Se busca optimizar la programación para lograr estimar tiempos reales en cuanto a las diferentes líneas productivas, de manera que se obtiene un cronograma de producción final con las penalizaciones de cumplimiento de programa sujeto a las razones de este atraso.

1.4 Gestión electrónica de datos

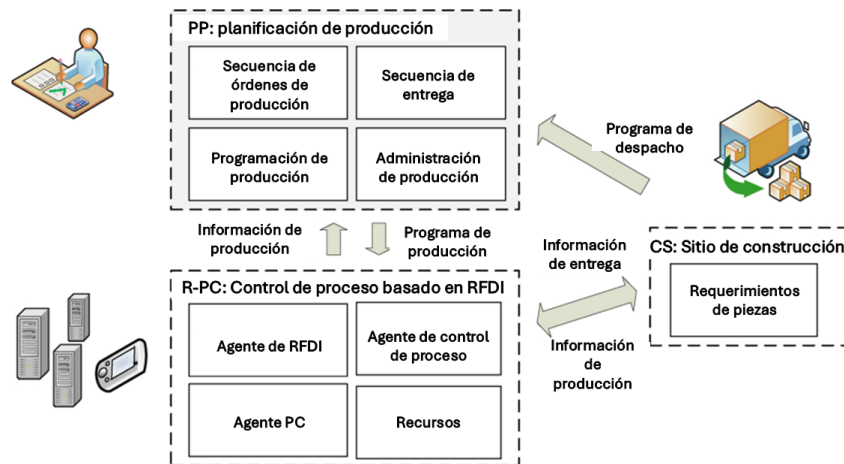
Dentro de cualquier industria la gestión electrónica de datos es fundamental para manejar de manera ideal cualquier proceso. Como lo menciona Hang y Wang (2017) en la construcción es de suma importancia para gerenciar de manera eficaz los proyectos constructivos, es por eso que dentro del sistema de construcción en prefabricados la gestión de datos es fundamental para llevar una planificación ideal con respecto a estadísticas de tiempo y capacidades de fabricación, almacenamiento y montaje de piezas prefabricadas (p.1).

Para una buena administración del proyecto, la delimitación y estandarización de procesos mediante las herramientas correctas y el flujo de información acorde al mismo objetivo es fundamental, por lo que Wang et al. (2018) habla de un manejo de datos con módulos principales, donde todos van interconectados entre sí, formando un flujo compacto y no lineal de la información. Tal como se visualiza en la figura 8 se representa el módulo de planificación de la producción, donde se maneja la secuencia y programación de la producción de la mano con la retroalimentación mediante reportes de producción de la producción real de la planta de prefabricados, lo cual en el caso de la figura se realiza mediante sistema RFID que permite generar datos a tiempo real de las piezas producidas. Esto genera un canal cíclico entre la planificación con el programa de producción con la planta de producción con los reportes diarios, lo cual permite medir el cumplimiento de dicho plan y evaluar retrasos en el plazo constructivo o algún adelanto para preparar el espacio de almacenamiento.

De manera similar se tiene la conexión con el módulo de construcción en sitio, donde los requerimientos de sitio se obtienen mediante el canal de comunicación de construcción con planificación en

planta mediante una base de datos establecida, a su vez que la información de producción de planta mediante los reportes RFID se transmiten a construcción y este último transmite la información de llegada de elementos a sitio, donde termina el ciclo de cada elemento.

Figura 8. Gestión de datos para la planificación de construcción en prefabricados



Nota: (Wang et al. 2018, p. 4)

Con el rápido desarrollo del Internet móvil, la gestión digital y la computación en la nube, las tecnologías de bases de datos y almacenamiento en la nube han alcanzado una notable madurez. En este marco, el Big Data ha suscitado un gran interés en el sector industrial. Aunque no existe una definición universalmente aceptada de "Big Data", al igual que los activos físicos y el capital humano, el Big Data se ha convertido en un elemento clave de la actividad económica moderna, con el potencial de transformar economías y fomentar el crecimiento de la productividad y del excedente del consumidor (Manyika et al., 2011).

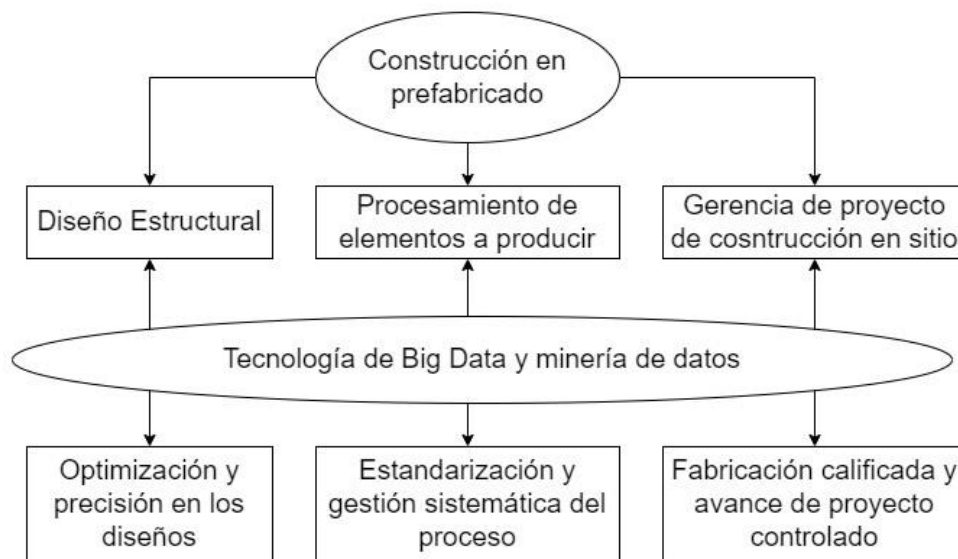
Hoy en día, el concepto de Big Data se categoriza en cuatro dimensiones, conocidas como las 4V: volumen, variedad, velocidad y valor. Entre ellas, el valor es uno de los aspectos más cruciales, dado que la "densidad de valor" de los datos suele ser baja. Esto implica que es esencial extraer información valiosa de estos grandes conjuntos de datos mediante técnicas avanzadas para optimizar la toma de decisiones. La industria de la construcción también enfrenta el desafío de gestionar grandes volúmenes de datos, que abarcan múltiples disciplinas a lo largo del ciclo de vida de una edificación (Zhou et al., 2010).

En este sentido, los investigadores han empezado a utilizar técnicas de minería de datos para abordar cuestiones en la construcción, donde el Big Data puede facilitar la gestión de proyectos y ayudar en la toma de decisiones estratégicas e inversiones (Chi et al., 2012). La aplicación del Big Data y el análisis predictivo permite resolver problemas complejos que anteriormente eran difíciles de abordar, y un diseño basado en

datos puede eliminar muchas de las complicaciones que enfrentan los procesos constructivos actuales (Deutsch y Leed, 2015).

De manera que como lo menciona Han y Wang (2017), de forma simultánea, es posible aplicar el análisis de minería de datos a la base de datos de construcción prefabricada, con el fin de proporcionar referencias para futuros proyectos. Como se muestra en la figura 9, en la etapa del diseño de edificios prefabricados, la estandarización de componentes juega un papel crucial. El establecimiento de una base de datos estandarizada para los distintos sistemas estructurales favorece la eficiencia del diseño, ya que los datos de los componentes varían según el sistema estructural. Por ello, se puede crear una base de datos industrial estandarizada adaptada a cada sistema, que cumpla con los criterios de modulación.

Figura 9. Gestión electrónica de datos en la construcción en prefabricados



Nota: (Han y Wang, 2017, p. 6. Adaptado por la autora)

Asimismo, la aplicación de la tecnología de Big Data en la gestión de la producción de componentes prefabricados es esencial, al producir los componentes prefabricados pueden registrar grandes cantidades de datos generados durante el proceso productivo. Esto les permitirá gestionar y controlar la producción de manera efectiva utilizando Big Data. Se debe exigir a los fabricantes registrar toda la información relevante a lo largo de la cadena de producción (como la información de la fábrica de componentes y la gestión de logística), asegurando la integridad de los datos. Esto contribuirá a la estandarización y eficiencia en la producción, acelerará la construcción, y generará beneficios tanto en ahorro energético como en reducción de consumo, lo que permitirá que la combinación de Big Data y la producción de componentes proporcione ventajas sociales y económicas para la industria de la construcción.

En cuanto a la gestión de proyectos de construcción prefabricada en el sitio, se destacan características como un mayor nivel de intensificación estructural, altos requerimientos en instalación, posicionamiento y ajustes. Además, el uso masivo de componentes prefabricados en obra ha generado desafíos en términos de transporte y manejo de los componentes. Las estructuras prefabricadas requieren un mayor control en los nodos estructurales y en la organización de los procesos de construcción. La gestión en sitio puede beneficiarse del Big Data mediante la numeración de los componentes y su integración en una base de datos, lo que permitiría optimizar su disposición según el avance de la construcción. Los gerentes, al registrar la información del sitio, pueden coordinar mejor los procesos y ajustar el progreso de la obra en función de los datos generados. Esto, sumado a la supervisión detallada de los ensamblajes y la calidad mediante análisis de datos, contribuye a la mejora general de los proyectos prefabricados.

Capítulo 2: Metodología

Este capítulo se centra en la forma de investigación destinada a explorar y demostrar los beneficios de un sistema integral de planificación para la construcción con prefabricados. Se definen las categorías, se describen los sujetos de información, así como las técnicas e instrumentos a utilizar, y se detalla la forma de presentar y analizar los resultados. Esta estructura permitirá evidenciar los beneficios de un procedimiento integral en la planificación de la construcción con prefabricados.

2.1 Tipo de investigación

Este proyecto adopta un enfoque de investigación cualitativa, la cual, según Quecedo y Castaño (2002) se define como una metodología que genera datos descriptivos, tales como las palabras de las personas o conductas observables (p. 7). Es decir, se centra en comprender y desarrollar conceptos a partir de patrones de datos, en lugar de recolectar información para validar una teoría. Este enfoque se elige porque el objetivo general del proyecto es mejorar el proceso interno de planificación, buscando obtener mejores resultados y un manejo más eficiente de la información.

2.1.1 Enfoque de la investigación

Cualitativo

Este enfoque, como se explicó anteriormente, se empleará para obtener una visión más clara de las dinámicas internas de los departamentos de producción y montaje en sitio, a través de entrevistas estructuradas y análisis de documentación interna. Esto permitirá una comprensión detallada del proceso, así como de los desafíos y las oportunidades de mejora. Además, se identificarán las posibles barreras para la implementación exitosa de un procesamiento de datos.

Subcategorías de la investigación cualitativa

Además del enfoque de la investigación, Charaja (2017) menciona la clasificación por nivel, la cual evalúa el grado de conocimiento que el investigador tiene sobre el problema. Esta clasificación incluye investigaciones exploratorias, que se centran en nuevas áreas de estudio; descriptivas, que se enfocan en la caracterización y recopilación de información; explicativas, que analizan las relaciones de causa y efecto; y predictivas, que buscan anticipar hechos futuros (p. 42). Para este proyecto, se adopta un enfoque exploratorio, ya que se busca comprender cómo la implementación de un procedimiento para una planificación integral impacta en la eficiencia del proceso.

En cuanto a la recolección de información, Martínez-González (2023) distingue tres métodos: la recolección documental, que se basa en la recopilación de datos existentes a través de documentos, libros o revistas; la recolección de campo, que obtiene datos directamente de la realidad del problema de estudio; y la recolección experimental, que se enfoca en comprobar una hipótesis mediante la adquisición de nuevos conocimientos (p.1). En esta investigación se utilizará la recolección de información de campo, mediante entrevistas con el personal de la empresa, análisis de la documentación actual y evaluación de los resultados de proyectos anteriores con el mismo objetivo.

Finalmente, respecto al propósito de la investigación, Vargas (2008) diferencia entre la investigación básica, que estudia un objeto sin una aplicación inmediata, pero con potencial para generar nuevos productos, y la investigación aplicada, que utiliza conocimientos en la práctica para beneficiar a los grupos involucrados (p.159). En este caso, la investigación tiene un propósito aplicado, ya que su objetivo principal es mejorar las prácticas internas de la empresa mediante la implementación de un proceso que facilite la gestión interna entre departamentos.

2.2 Definición de categorías y variables

En relación con la definición de categorías y variables, Rivas (2015) señala que una categoría de análisis permite estructurar un trabajo descriptivo cualitativo al enfocarse en los aspectos clave a evaluar. De manera similar, una variable representa un factor determinante en la explicación de un fenómeno y se utiliza principalmente en investigaciones cuantitativas para medir aspectos específicos (p. 3-6). Por lo tanto, en este proyecto se busca clasificar con precisión los elementos de estudio, facilitando la comprensión de los aspectos a evaluar. Al establecer estas categorías, se crea una guía esencial tanto para la recolección como para el análisis de datos, lo cual es crucial, ya que constituye la base para la interpretación y las conclusiones de la investigación. A continuación, en el cuadro 1, se presentan las categorías correspondientes al tema de estudio.

CUADRO 1. CATEGORÍAS DE INVESTIGACIÓN

Categoría investigación	Definición	Acción operativa
Planificación	Esta categoría aborda cómo se planifican los procesos de fabricación de los elementos prefabricados, desde la programación de la producción hasta los requerimientos de montaje.	• Recopilación y revisión de información sobre el proceso actual de planificación entre la fabricación y el montaje de elementos prefabricados. • Realización de entrevistas con el personal involucrado en la fabricación y montaje de elementos prefabricados para comprender los desafíos y puntos críticos del proceso. • Realizar un análisis de la capacidad de producción actual versus la demanda. • Revisar y optimizar la programación de producción para reducir tiempos muertos.
Optimización de recursos	Esta categoría se basa en aspectos relacionados con la optimización de los recursos hacia un mismo objetivo, de manera que se busca un procedimiento de gestión óptimo.	• Identificación de las prácticas más efectivas y relevantes para la optimización de recursos. • Identificación de los criterios y parámetros clave que deben ser evaluados para asegurar una planificación integral de los procesos. • Implementar un sistema de seguimiento de recursos en tiempo real para detectar y corregir posibles cuellos de botella.
Diseño de procedimientos	Se enfoca en cómo se maneja la información y los datos a lo largo del proceso de planificación y ejecución del proyecto.	• Implementar un sistema centralizado de gestión de datos que integre la información de producción y montaje. • Asegurar la disponibilidad y actualización constante de los datos clave para todos los departamentos involucrados. • Realizar análisis de datos para identificar tendencias y áreas de mejora. • Implementación del procedimiento en el proyecto piloto, asegurando que se sigan los procesos y protocolos definidos. • Análisis de los resultados para evaluar el impacto de las mejoras en la optimización de recursos y el cumplimiento de los plazos.

Nota: Elaboración propia

2.3 Sujetos de información

En cuanto a los sujetos de información, Martínez et al. (2022) menciona que estos hacen referencia al medio o vía mediante la cual será estudiado y conocido un tema en específico (párr. 9). Esta sección tiene su enfoque principal en definir el perfil y características de los individuos y entidades que serán objeto de estudio. Al definir estos, se establece el alcance de la investigación, proporcionando una base sobre la cual se podrá aplicar los distintos instrumentos de recolección de datos, de manera que se asegure la relevancia de la información recolectada.

2.3.1 Población de estudio

La población de estudio, según Gómez et al. (2016), se refiere a un conjunto definido y limitado de casos, del cual se selecciona la muestra, la cual debe cumplir con una serie de criterios para determinar su alcance (p. 202). En este proyecto, la población está compuesta por los equipos de trabajo del Departamento de Producción y del Departamento de Construcción de la empresa Holcim Modular Solutions. Los sujetos que conforman esta población son ingenieros y técnicos especializados en la producción y montaje de elementos prefabricados, quienes se espera que cuenten con experiencia en el proceso constructivo. En el cuadro 2 se desglosa por categoría de investigación, los sujetos con la información a generar.

CUADRO 2. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO.		
Categoría de investigación	Sujetos de información	Información para generar
Planificación	• Jefe de operaciones	• Descripción detallada del proceso de producción actual, incluyendo cronogramas y canales de procesamiento de datos • Identificación de cuellos de botella y desafíos en la planificación y ejecución del proceso productivo. • Opiniones sobre la eficiencia de la comunicación entre los equipos de producción y otros departamentos.
Optimización de recursos	• Jefe de operaciones • Jefe de construcción	• Métodos utilizados para maximizar la eficiencia de los recursos, como el uso de maquinaria, tiempos de producción y minimización de desperdicios. • Evaluación de la capacidad de producción en relación con la demanda y cómo se gestiona la disponibilidad de recursos en picos de producción.
Diseño de procedimientos	• Jefe de operaciones • Jefe de construcción • Jefe comercial proyectos	• Evaluación de procedimientos actuales utilizados para la gestión de datos y seguimiento de proyectos. • Opiniones sobre la integración de los sistemas de gestión de información con la planificación de producción y montaje. • Experiencias con el acceso y la utilidad de la información proporcionada por los sistemas de gestión actuales. • Identificación de lagunas o problemas en la transferencia de información entre los equipos de producción, montaje y gestión.

Nota: Elaboración propia

2.3.2 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra, según García et al. (2013), permite a los investigadores determinar cuántos sujetos de estudio son necesarios para alcanzar los objetivos planteados con un grado de confianza (párr.

1). Para este proyecto, la muestra se determinará de manera dirigida, seleccionando un grupo representativo de miembros del Departamento de Producción y del Departamento de Construcción para participar en entrevistas y actividades de observación. La selección se basará en su experiencia en la empresa y su participación en proyectos de construcción previos. Los mismos sujetos de la población de estudio se utilizarán para diferentes aspectos de la investigación, ya que el objetivo es comprender sus experiencias y perspectivas en ambos procesos, y cómo estos pueden ser potenciados o mejorados.

2.4 Fuentes de información

En cuanto a la identificación de las fuentes de información, Acosta (2008) las define como todos aquellos medios de los cuales se obtiene información capaz de satisfacer las necesidades de conocimiento sobre una situación o problema específico, y que se utilizará para alcanzar los objetivos esperados. Estas fuentes se dividen en primarias y secundarias. Las fuentes primarias incluyen a los usuarios a quienes se les aplican instrumentos de investigación, es decir, datos que provienen directamente de la población de estudio. Las fuentes secundarias contienen la información primaria sintetizada para facilitar su acceso, es decir, son datos preelaborados (p. 2). Por lo tanto, las fuentes de información constituyen un paso fundamental dentro del marco metodológico. En esta sección, se detallarán las fuentes primarias y secundarias que se utilizarán para obtener datos relevantes para el posterior análisis y evaluación de resultados.

2.4.1 Fuentes primarias

Las fuentes primarias de información se obtendrán directamente de la empresa Holcim Modular Solutions, específicamente del equipo de producción y construcción. Estas fuentes proporcionarán información detallada sobre el proceso de planificación de la construcción en prefabricados, incluyendo aspectos como el cumplimiento de plazos, la eficiencia del proceso y la gestión adecuada de datos. A continuación, se describirán las actividades que respaldarán la obtención de estas fuentes primarias:

- Encuestas con miembros del Departamento de producción y construcción para comprender los procesos actuales, desafíos y oportunidades.
- Entrevistas con miembros del Departamento de construcción y producción para evaluar el procedimiento y su beneficio dentro de la optimización y eficiencia del proceso
- Observación directa de las dinámicas de trabajo dentro de los equipos de producción y construcción para identificar posibles áreas de mejora y colaboración.

2.4.2 Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias de información se emplean como complemento y respaldo de las fuentes primarias, con el propósito de contextualizar el proceso de planificación integral de prefabricados en la industria de la construcción. Estas fuentes ofrecerán información general, antecedentes y análisis de problemáticas similares en otras empresas. A continuación, se detallan las actividades que respaldarán la utilización de estas fuentes secundarias.

- Revisión de literatura académica y profesional sobre el proceso de planificación integral en construcción de prefabricados
- Análisis de estudios de caso de implementación de distintos procedimientos que conlleven el análisis de datos para el manejo de información dentro de la construcción en prefabricados

2.5 Descripción de técnicas e instrumentos

Este apartado se basa en definir de manera detallada los métodos y herramientas empleados para recolectar la información, lo cual representa un punto clave dentro de la investigación, ya que mediante estos medios se obtendrán los datos bases para la comprensión y evaluación de la implementación del procedimiento para la planificación integral en la construcción de prefabricados. Por lo tanto, a lo largo del apartado se mencionará y explicará cada uno de los instrumentos, resaltando su contribución con el cumplimiento de los objetivos.

2.5.1 Técnicas e instrumentos

Encuesta

Según Cisneros et al. (2022), la encuesta es uno de los instrumentos más utilizados debido a su capacidad para recopilar datos tanto cualitativos como cuantitativos y su facilidad de aplicación. Es fundamental que la encuesta esté respaldada por un cuestionario bien estructurado y automatizado para garantizar un manejo transparente de la información (p. 2). En este proyecto, se utilizará una encuesta para obtener información detallada sobre el proceso de planificación entre los equipos de producción y construcción. La encuesta consistirá en preguntas abiertas y se realizará de forma presencial, permitirá a los participantes detallar sus experiencias y señalar áreas de mejora en la ejecución de proyectos de planificación. Además, se evaluará la implementación de un procedimiento de datos para comparar el avance

real con el proyectado del proyecto, con el objetivo de identificar y medir cualquier desfase en las distintas etapas.

Observación directa participante

Este tipo de investigación, según Vitorelli et al. (2014), se caracteriza por las interacciones sociales entre el investigador y los sujetos de estudio, permitiendo una recolección de datos sistematizada. Su objetivo principal es identificar el sentido, la orientación y la dinámica del proceso (párr. 3). Con el fin de entender la dinámica del proceso, se llevará a cabo una observación participante para comprender la interacción entre los equipos de producción y construcción. La información se registrará enfocándose en los desafíos del proceso.

Búsqueda de información

Como se mencionó anteriormente, dentro de las fuentes de información secundaria se llevará a cabo una búsqueda en la literatura académica y profesional, así como en experiencias profesionales, con el objetivo de identificar las mejores prácticas en la industria para la planificación integral y el procedimiento de análisis de datos en la construcción de prefabricados. Esta revisión permitirá obtener recomendaciones e ideas para mejorar la planificación general.

2.5.2 Descripción de actividades para cada instrumento

Encuestas: Para este instrumento se seguirán las siguientes actividades

1. Preparación: antes de la encuesta se contactará a los sujetos seleccionados para brindarles la información y el propósito de la encuesta, aquí se acordará la fecha y hora de esta
2. Formulación de preguntas: se generarán preguntas abiertas que permitan al participante expresar los desafíos que presenta desde su área de trabajo.
3. Introducción: al comienzo de cada encuesta se explicará el objetivo de esta, esto con el fin que la persona esté al tanto del proceso.
4. Ejecución: se procede a realizar las preguntas en un orden lógico, con el fin de encontrar los puntos de mejora o desafíos desde una perspectiva más general a una específica.
5. Finalización: se busca que el encuestado haya terminado de explicar a detalle las respuestas y ejemplos de los desafíos.

Observación directa participante: para este instrumento, se tomará en cuenta las siguientes actividades

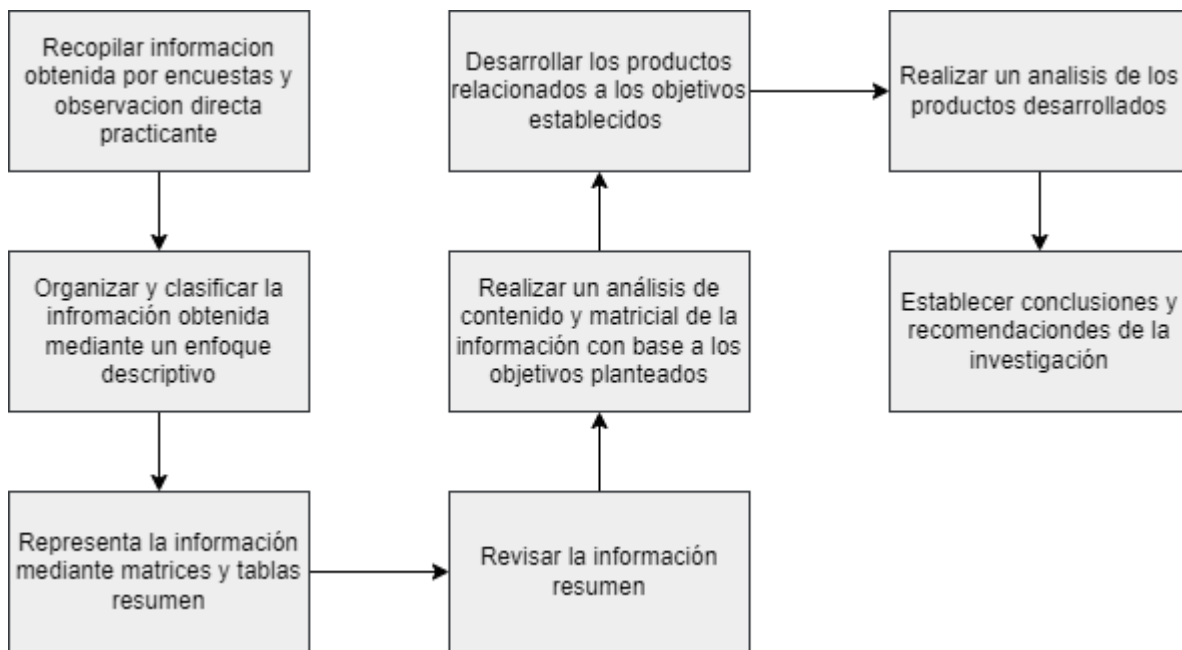
1. Documentación del proceso: Se tomará notas detalladas sobre el proceso de planificación actual, donde se tomará en cuenta cualquier punto de mejora o cuello de botella que se encuentre.
2. Recopilación visual: se capturarán imágenes de los documentos y mecanismos utilizados para llevar a cabo un procedimiento de análisis de datos e información.

3. Puesta en ejecución: una vez recopilados los datos y entendiendo el proceso, se realizará una búsqueda de una mejor y adecuada forma de hacer más eficiente el proceso de planificación optimizando recursos.

2.6 Análisis y procesamiento de la información

En cuanto al análisis y procesamiento de la información, Simao (2010) menciona que este supone organizar formas de establecer categorías, modelos, unidades descriptivas u otros para interpretar la información, dando así un sentido y significado al análisis (p. 2). En la figura 10, se desglosa de manera general el diagrama de análisis y procesamiento de información para este proyecto.

Figura 10. Desglose general del análisis y procesamiento de la información



Nota: Elaboración propia

El diagrama presentado ilustra un flujo de trabajo que describe un proceso de investigación estructurado en varias etapas. El proceso comienza con la recopilación de información obtenida mediante encuestas y observación directa participante, lo que implica la recolección de datos cualitativos dentro del contexto de estudio. A continuación, se organiza y clasifica la información obtenida mediante un enfoque descriptivo para facilitar su análisis posterior. Luego, la información se representa a través de matrices y

tablas resumen, permitiendo una visualización clara y estructurada de los datos. Una vez resumida la información, se revisa para asegurar su precisión y coherencia antes de proceder con el análisis.

En la siguiente fase, se realiza un análisis de contenido y matricial de la información basado en los objetivos planteados, guiando así el proceso hacia el desarrollo de productos o resultados específicos alineados con dichos objetivos. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis de estos productos para evaluar su eficacia y relevancia. Finalmente, el proceso culmina con el establecimiento de conclusiones y recomendaciones basadas en el análisis realizado. Este diagrama refleja un enfoque sistemático que integra la recopilación de datos, su análisis, y la generación de conclusiones y productos orientados a los objetivos de la investigación.

2.6.1 Presentación de los resultados

La presentación de los resultados debe ser clara y comunicar de manera efectiva las conclusiones obtenidas a través de los instrumentos de recolección de información. Al tratarse de una investigación con enfoque cualitativo, se utilizarán formatos descriptivos para presentar la información. A continuación, se detallan con relación a cada instrumento utilizado.

Resultados encuesta

En este caso, como señala Rincón (2014), la presentación de datos obtenidos mediante encuestas con preguntas abiertas representa un desafío descriptivo, por lo que se recomienda agrupar las respuestas en categorías o códigos que faciliten su visualización (p. 141). Por lo tanto, se empleará un enfoque descriptivo que resuma las respuestas de los participantes, organizándolas en función de temas o categorías relevantes. Primero, se clasificarán por persona y su rol en la empresa, seguidas de la pregunta y la respuesta correspondiente. Esta información se presentará en un cuadro explicativo que facilite la condensación y comprensión de los datos.

Resultados observación directa participante

Según Nuñez (2019), la presentación de los resultados de la observación se basa en un diario de campo en el que se registran los sucesos relevantes para el proceso en análisis, permitiendo luego elaborar una matriz que resuma los patrones más significativos (p. 54). En este sentido, la información se sintetizará en matrices que reflejen los patrones observados, incluyendo las interacciones entre el departamento de producción y el de construcción, la eficiencia en el manejo de la información, y la alineación de los recursos hacia un objetivo común o una secuencia constructiva. Además, se podrá optar por una contextualización del proceso en su conjunto, destacando las dinámicas clave que requieren mejoras.

Búsqueda de información

En cuanto a la revisión literaria sobre las buenas prácticas en la planificación en construcción de prefabricados, los resultados se presentarán en forma de resumen donde se destaquen las fuentes de información y la aplicación de estas dentro del proyecto.

2.6.2 Descripción del proceso de análisis

En este apartado, se describe el procesamiento de la información, técnicas de análisis que se utilizarán y la vinculación con la obtención de los productos esperados de acuerdo con los objetivos del proyecto.

2.6.2.1 Técnicas de análisis

- **Análisis de contenido:** Según Abela (2019), el análisis de contenido se basa en la lectura como un instrumento de recolección de información, la cual debe ser sistemática, objetiva y válida. Este enfoque permite evaluar la información mediante categorías establecidas (p. 1). En este proyecto, se aplicará un análisis de contenido cualitativo a las respuestas de las encuestas, con el objetivo de identificar sugerencias y propuestas que puedan abordar las dificultades observadas en el proceso.
- **Análisis de matrices:** Cuando se maneja una gran cantidad de información, las tablas o matrices resultan sumamente útiles. Sánchez (2018) destaca que estas son herramientas poderosas para organizar un gran volumen de datos, facilitando una lectura rápida y eficiente (p. 107). Los resultados de la observación directa participante se organizarán en matrices para mejorar su comprensión y permitir la identificación de tendencias y comportamientos clave dentro del proceso de planificación y el flujo de información.

2.6.2.2 Productos esperados

En el siguiente cuadro se muestran los objetivos específicos del proyecto, con los productos esperados en el desarrollo de la investigación.

CUADRO 3. PRODUCTOS ESPERADOS Y RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS	
Objetivo Especifico	Productos
Realizar un análisis de la planificación y programación actual entre la fabricación y el montaje de los elementos prefabricados para la identificación de las oportunidades de mejora.	• Diagrama de flujo del proceso de planificación y programación actual entre la fabricación y el montaje de los elementos prefabricados. Identificación de oportunidades de mejora en el proceso de planificación integral. • Procedimiento de planificación utilizado actualmente para la planificación y programación.
Investigar acerca de antecedentes de empresas constructoras de sistemas prefabricados para la identificación de buenas prácticas de planificación y programación entre la fabricación y el montaje de los elementos.	• Informe de investigación sobre antecedentes de empresas constructoras de sistemas prefabricados. • Buenas prácticas de planificación entre la fabricación y el montaje de los elementos prefabricados
Diseñar un procedimiento con base en los requerimientos de la empresa para la planificación y programación integral de los procesos de producción y montaje.	• Especificaciones detalladas del procedimiento para la planificación integral. • Prototipo o versión inicial de la herramienta diseñada.
Aplicar el procedimiento en un proyecto piloto para la validación de las mejoras identificadas en cuanto a la planificación y programación integral.	• Resultados de la validación de las mejoras identificadas en cuanto a la planificación integral.

Nota: Elaboración propia

Capítulo 3: Resultados y análisis

En este apartado se desarrollan los resultados obtenidos de acuerdo con los objetivos específicos planteados, esto con el fin de abarcar la mejora en el procedimiento de planificación y programación en la construcción en prefabricados de la empresa Holcim Modular Solutions. Estos resultados se basan en obtener una visión clara del proceso actual, dando énfasis en sus puntos de mejora y optimización.

3.1 Análisis de la situación actual sobre la planificación y programación de la empresa

Con el fin de abarcar el primer objetivo se realiza un análisis de la planificación y programación actual entre la fabricación y el montaje de los elementos prefabricados para la identificación de las oportunidades de mejora. Es fundamental conocer el flujo de información del procedimiento, además de las herramientas utilizadas en el mismo.

3.1.1 Flujo del proceso de planificación y programación actual

Mediante el método de observación directa, se logró determinar la situación actual sobre la planificación y programación de los elementos prefabricados en la empresa. Como lo menciona Viveros y Cortés (2021), un paso ideal para definir un proceso como tal es la utilización de un diagrama de flujo inicial, el cual se caracteriza por el fortalecimiento de los procesos generales de las actividades, enfocado hacia la resolución o manera de abarcar un problema o proceso planteado (p.8). Como se observa en la figura 11, como cualquier ciclo de vida del proceso, todo comienza en la entrada de una nueva oportunidad de proyecto, dónde el departamento comercial de la mano de anteproyectos, lo licitan y una vez adjudicado entra directamente como proyecto a la fase inicial de ingeniería, el cual es el departamento especializado en el diseño estructural de los elementos prefabricados y los planos de montaje en sitio. Posteriormente los planos y especificaciones técnicas pasan al departamento de producción mediante una orden de producción, el cual da el visto bueno para comenzar a la fabricación de elementos en la planta industrial, para su posterior

almacenamiento. Además, estas están sujetas a órdenes de cambio, las cuales se envían a la planta para ser ejecutada de manera inmediata. Una vez las piezas almacenadas, se abre paso al departamento de logística el cual tiene dos roles fundamentales, el envío de las piezas al sitio el cual va sujeto de un programa de despachos realizado por construcción. Además, de los movimientos internos de piezas para la producción, finalmente se encuentra el departamento de construcción el cual una vez en sitio se dedica al montaje de piezas de acuerdo con los planos de montaje y la secuencia constructiva del proyecto.

Por lo tanto, el diagrama refleja un flujo lineal de información, lo que indica que cada departamento depende secuencialmente de la acción del anterior. Este tipo de organización tiene como consecuencia una falta de interacción dinámica entre los departamentos, lo que puede generar problemas de comunicación, falta de visibilidad y dificultades para coordinar esfuerzos simultáneamente. En un proceso ideal, se deberían implementar mecanismos de retroalimentación y coordinación continua entre las áreas clave, como ingeniería, producción y logística, para anticiparse a problemas o requerimientos, en lugar de esperar la conclusión de una fase antes de actuar.

Asimismo, uno de los puntos críticos es la falta de una visión global del avance del proyecto en todas las fases. El diagrama sugiere que cada departamento maneja su propio seguimiento del proceso, pero no hay un sistema centralizado que integre la información y permita evaluar el avance en tiempo real de cada área. Esta fragmentación puede generar retrasos, ya que es difícil detectar desajustes entre producción y montaje. La implementación de un sistema de gestión de proyectos con dashboards podría proporcionar a todos los departamentos una visión unificada y sincronizada del estado del proyecto, lo que facilitaría la toma de decisiones rápidas y eficientes.

Las órdenes de cambio representan un punto clave en el proceso, ya que pueden generar retrasos importantes si no se gestionan correctamente. El flujo no identifica que las órdenes de cambio pueden ocurrir en varias etapas: antes de la producción, durante la producción o incluso después de que las piezas ya hayan sido fabricadas. La falta de un sistema automatizado que gestione y priorice estas órdenes puede causar confusión y generar problemas tanto en producción como en obra. Para mejorar, es necesario establecer un proceso de priorización automatizado que evalúe el impacto de cada orden de cambio en los plazos de entrega y en la secuencia de montaje.

El flujo muestra una clara desconexión entre los departamentos de ingeniería, producción y logística en cuanto al manejo de inventarios y la programación de producción y despachos. En primer lugar, la descoordinación entre ingeniería y producción, donde este último planifica sus actividades basándose en su capacidad máxima, que depende principalmente del número de moldes disponibles en planta. Por otro lado, ingeniería emite órdenes de producción siguiendo la lógica de montaje, es decir, priorizando primero la producción de elementos fundamentales como las fundaciones, seguido de columnas, vigas de entrepiso, techos y finalmente los elementos de amarre.

Este enfoque crea un cuello de botella, ya que la producción no puede superar la capacidad máxima de la planta, sin importar la cantidad de órdenes de producción que se generen desde ingeniería. Esto significa que, si el proceso de diseño de planos se concentra en un solo tipo de elemento, por más que se

acelere la entrega de esos planos, la producción estará limitada a su capacidad operativa. Para optimizar este proceso, es crucial calcular la capacidad máxima de la planta y ajustar la secuencia de producción para priorizar la elaboración de planos y órdenes de producción de acuerdo con esta capacidad, de modo que se maximicen los recursos disponibles.

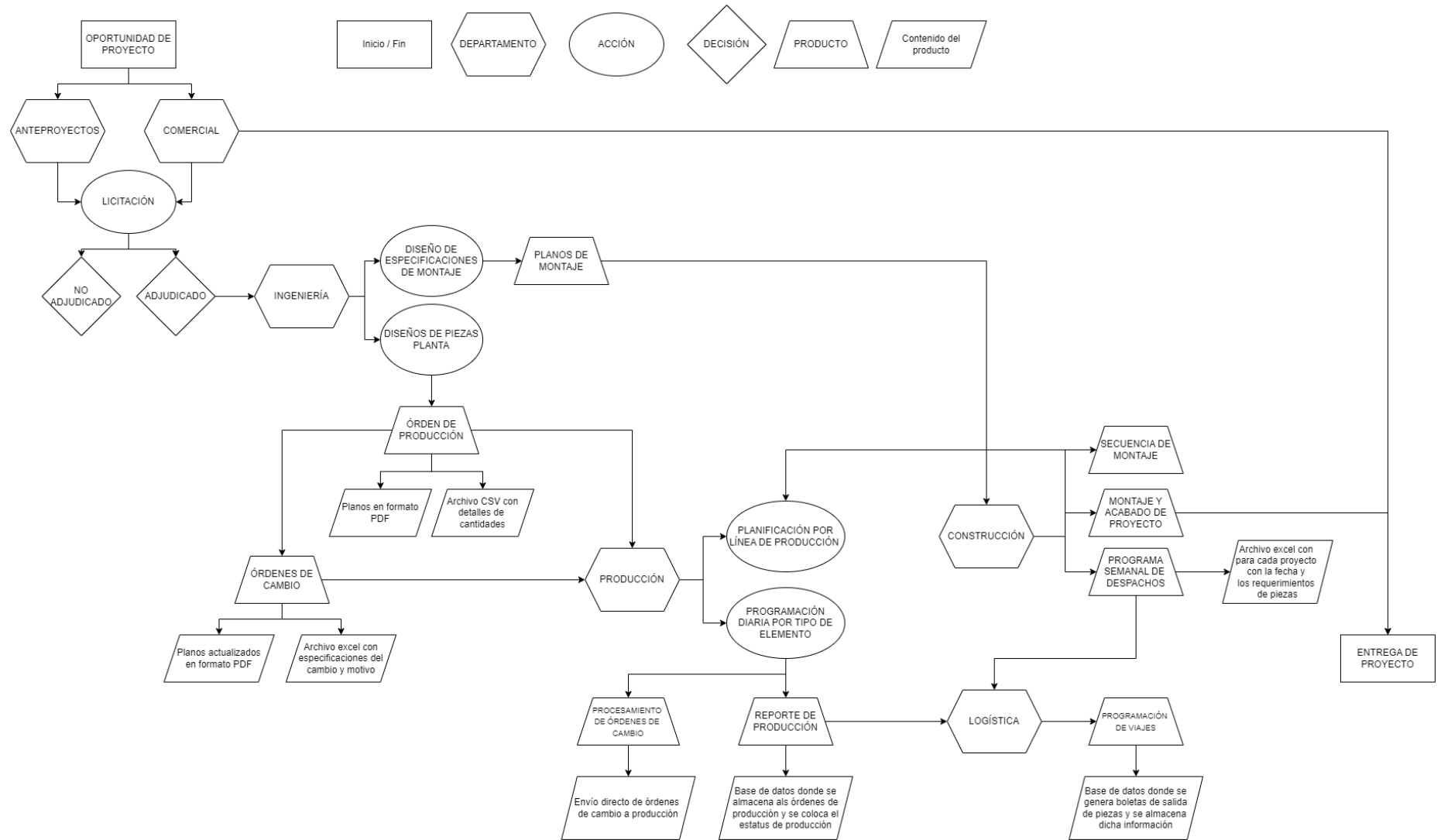
En cuanto a la relación entre producción y despachos, aunque existe un reporte de producción que alimenta el programa de despachos, este sistema no es óptimo. Un ejemplo es que una pieza puede estar en estado "producido" pero no lista para su envío, ya que aún requiere trabajos de acabado finales una vez desmoldada. Esto genera una discrepancia entre lo que producción reporta como finalizado y lo que realmente está disponible para despacho. La gestión logística depende de esta información para coordinar los envíos según las necesidades del sitio de construcción, pero la falta de sincronización entre los acabados y los despachos puede ocasionar descoordinación en los tiempos de montaje.

Por lo tanto, en este proceso, la etapa de producción se identifica como la ruta crítica dentro de la planificación y programación de un proyecto, ya que es la más vulnerable a generar atrasos. La producción depende directamente de las órdenes emitidas por el departamento de ingeniería, y a su vez, los departamentos de logística y construcción dependen de la disponibilidad de elementos fabricados para avanzar en el proyecto. Debido a esta interdependencia, es esencial desarrollar un cronograma basado en la secuencia de montaje y ajustado a la capacidad máxima de la planta, lo que permitiría a todos los departamentos trabajar en función de un objetivo común y mejorar la sincronización en todas las fases del proyecto. Donde al centralizar la información de la capacidad de producción, los avances en el diseño de planos y los requerimientos logísticos, se podría mejorar la visibilidad del estado real del proyecto y anticipar posibles retrasos, tomando decisiones en tiempo real que optimicen los recursos.

Finalmente, el diagrama refleja que la mayor parte de la información se gestiona a través de archivos Excel y PDFs, lo que sugiere un proceso manual y propenso a errores. Para mejorar, es esencial contar con una base de datos centralizada y automatizada, que permita a todos los departamentos acceder a información actualizada en tiempo real y visualizar el estado de cada etapa del proceso. Esto no solo mejoraría la visibilidad integral, sino que también reduciría los tiempos de respuesta ante problemas y facilitaría la toma de decisiones informadas.

El análisis del diagrama de flujo evidencia una serie de oportunidades de mejora que se centran en la integración de la información y la optimización de la comunicación entre departamentos. La implementación de sistemas centralizados de gestión de proyectos, junto con la automatización de las órdenes de cambio y la planificación de despachos, permitiría mejorar la eficiencia y el control de los plazos en el proceso de planificación y programación de elementos prefabricados.

Figura 11. Diagrama de flujo de proceso actual para la construcción en prefabricados



Nota: Elaboración propia

3.1.2 Resultados de entrevista a sujetos de información

A continuación, para identificar los puntos de mejora, es fundamental considerar las perspectivas de los principales involucrados en el proceso de planificación y programación. Estos incluyen al representante de producción y al encargado del montaje y construcción en sitio. Además, aunque el área comercial no forma parte directa del proceso, desempeña un rol clave al tener una visión global que asegura el cumplimiento de los plazos. Para analizar más a fondo el proceso dentro de la empresa, se llevaron a cabo entrevistas con los jefes de cada área: producción, construcción y comercial, cuyas respuestas se detallan a continuación.

Entrevista al jefe de producción

Entrevistado: Ing. Erick Rodríguez

¿Cuál es el procedimiento actual que sigue el departamento de producción para la planificación y programación de la fabricación de elementos prefabricados?

“El procedimiento actual de planificación y programación comienza con la recepción de la información clave del proyecto, como el tipo de elementos, plazos y presupuesto. Este proceso incluye una revisión de las líneas de producción para evaluar su disponibilidad y ajustar las prioridades según las necesidades de cada proyecto. La planificación y programación se activan oficialmente con la entrada de las órdenes de producción, lo que marca el inicio de la fabricación de los elementos.

Actualmente, seguimos un enfoque de programación a mediano y largo plazo, basado en los proyectos confirmados y la capacidad instalada de la planta. El proceso se desglosa en fases de producción que abarcan desde la preparación de los moldes hasta el curado y almacenamiento de los elementos. No obstante, el flujo de trabajo es relativamente rígido, lo que dificulta una rápida adaptación a cambios en las prioridades del proyecto. Además, se ha identificado que la coordinación con el área de montaje y otras áreas relacionadas no siempre es óptima, lo que genera desajustes en el cumplimiento de los plazos establecidos.”

El entrevistado describe un proceso estructurado que comienza con la recepción de la información clave del proyecto y la revisión de la capacidad de producción. Sin embargo, el sistema presenta rigidez, dificultando la adaptación a cambios de prioridad. La falta de coordinación con otras áreas, como montaje, genera retrasos en los plazos. Por lo tanto, la planificación actual parece bien definida, pero la falta de flexibilidad y la coordinación subóptima entre departamentos son áreas que necesitan mejoras. Implementar herramientas de programación más dinámicas y mejorar la comunicación podría mitigar los problemas mencionados.

¿Cómo se coordina el proceso de planificación entre la fabricación y el montaje de los elementos?

“La planificación debe alinearse con la secuencia de montaje, siguiendo un orden general y un requerimiento detallado de las piezas necesarias. Cuando ocurren cambios en el sentido de montaje, el equipo de montaje informa a producción, lo que puede impactar en los costos y en el cumplimiento

de los plazos. Sin embargo, la falta de integración en la gestión de datos y la falta de visibilidad en tiempo real generan cuellos de botella. La comunicación entre los equipos se realiza de manera manual o mediante reportes periódicos, lo que provoca retrasos en la respuesta ante cambios en obra.”

La planificación sigue una secuencia de montaje específica, pero la falta de visibilidad y gestión de datos en tiempo real genera cuellos de botella. La coordinación manual mediante reportes provoca retrasos en la respuesta a cambios. Se considera que existe una desconexión entre la fabricación y el montaje, lo que impide una respuesta ágil a cambios en obra. Por lo que un proceso de gestión de información en tiempo real podría optimizar la coordinación y mejorar la programación, alineando mejor los recursos de ambos departamentos.

¿Qué herramientas o software utilizan actualmente para gestionar la planificación y programación?

“Utilizamos una combinación de hojas de cálculo. Aunque estas herramientas nos permiten llevar un control de las órdenes de trabajo y la planificación diaria, no son lo suficientemente para ofrecer una visibilidad clara de todas las etapas del proyecto o permitir un seguimiento en tiempo real del avance, lo que dificulta la toma de decisiones o ajustes rápidos. Además, que no contamos con un sistema integrado que unifique la planificación de la producción con las necesidades del montaje en obra, lo que crea una desconexión entre ambos procesos.”

Si bien la utilización de softwares muchas veces facilita el proceso, es importante destacar que esta representa una inversión grande de adquisición de este, así como de mantenimiento de este. Además, de la curva de aprendizaje para que todos los usuarios sepan cómo manejar adecuadamente el software. Por lo que, con un buen procedimiento definido se puede optimizar mediante las hojas de cálculo, donde se centraliza la información en un solo lugar con el fin de generar un análisis de información ideal para cada proyecto.

¿Cómo manejan las interacciones y ajustes entre los departamentos de producción y montaje durante la planificación?

“Los ajustes se hacen de manera global mediante reuniones semanales donde revisamos el avance y los problemas en ambas áreas y de manera detallada con el ingeniero de sitio con el ingeniero de planificación de producción. Sin embargo, la reunión se vuelve extensa, perdiendo los focos claves de esta.

La coordinación entre producción y montaje es, en teoría, un proceso paralelo donde ambos departamentos deberían trabajar con la misma información actualizada, además que, esta metodología reactiva no es eficiente cuando surgen imprevistos, ya que las decisiones se toman sobre la marcha y los ajustes en la programación no siempre se reflejan de manera inmediata en el proceso productivo.”

El proceso reactivo y la falta de foco en las reuniones evidencian la necesidad de optimizar la gestión del tiempo y la priorización en las reuniones de coordinación. La mejora en la programación en tiempo real y reuniones más focalizadas podrían ayudar a una mejor planificación.

¿Qué factores influyen más en los tiempos de producción y montaje?

“Los factores que más influyen en los tiempos de producción, en orden de recurrencia, incluyen la cantidad de órdenes de cambio generadas, la disponibilidad de órdenes de producción justo a tiempo, la capacidad del personal, el estado de los moldes, así como el tiempo de fraguado y curado de los elementos lo cual engloba la capacidad de la planta. Un factor crítico es la alineación de las ventanas de tiempo entre producción y montaje; cualquier desfase en la obra puede retrasar la salida de los elementos prefabricados de la planta, lo que afecta nuestra capacidad de producción.”

Identificar y optimizar estos factores críticos, como reducir órdenes de cambio y mejorar la coordinación entre producción y montaje, ayudaría a evitar retrasos. Un sistema que permita prever estos cuellos de botella antes de que ocurran sería muy beneficioso.

¿Qué tipo de seguimiento realizan durante el proceso de fabricación para asegurar que se cumplan los tiempos planificados?

“Actualmente realizamos controles de producción semanales, donde se revisan los volúmenes de producción y los tiempos asignados a cada fase. Mediante el plan de producción se mide lo real vs lo producido y si una línea de producción como tal se compromete con los tiempos se busca una solución. Sin embargo, no disponemos de un sistema en tiempo real que nos permita visualizar el avance detallado de cada etapa, lo cual dificulta prever retrasos antes de que se conviertan en un problema crítico.”

Si bien se realizan controles semanales, pero no hay un sistema en tiempo real que permita visualizar el avance de manera detallada, lo que dificulta la identificación temprana de problemas. Por lo tanto, la falta de un sistema en tiempo real es un área clara de mejora. Implementar herramientas que permitan monitorear el progreso de cada fase en tiempo real ayudaría a detectar retrasos antes de que se conviertan en un problema.

¿Cómo se comunican las necesidades y los cambios de planificación entre los equipos de fabricación y montaje?

“Por lo general, las necesidades y cambios de planificación se comunican mediante correos electrónicos, llamadas telefónicas o en las reuniones semanales directamente con el encargado de planificación”

Lo que quiere decir que la falta de flujos de comunicación ágiles entre los departamentos es un punto débil. Mejorar los canales de comunicación, quizá mediante una plataforma colaborativa o centralizadas, permitiría una transmisión más rápida y eficiente de información crítica.

¿Cómo gestionan los imprevistos (retrasos, fallos de fabricación o montaje)?

“Se gestiona con el *buffer* de producción, los cuales se basan específicamente en la producción fines de semana, el aumentar cantidad de moldes y el conocido como re-uso de piezas, el cual se refiere a la utilización de un concreto que permita producir más de una pieza en el día. Sin embargo, no contamos con un protocolo formalizado para gestionar estos contratiempos, lo que genera demoras y sobrecarga de trabajo en ciertas áreas cuando ocurren cambios inesperados.”

No hay un protocolo formalizado para gestionar contratiempos, lo que genera sobrecargas de trabajo. De manera que la creación de un protocolo formal para la gestión de imprevistos ayudaría a reducir la carga de trabajo y los retrasos en la producción. La planificación de contingencias debería ser parte integral del proceso.

¿Dónde ve usted las principales áreas de oportunidad para mejorar la planificación y programación actuales?

“Una de las principales áreas de oportunidad se encuentra en el análisis de datos de producción, donde se debería de obtener rendimientos de producción con los cuales se planifica de manera adecuada mediante dichos rendimientos y no mediante la oferta comercial.”

El análisis de datos históricos y la alineación entre la oferta comercial y la capacidad real de producción son áreas clave para mejorar la planificación. Donde el uso de datos históricos para realizar análisis predictivos y planificar con base en la capacidad real de la planta mejoraría la eficiencia. Implementar un sistema de gestión de datos históricos permitiría identificar patrones y optimizar la programación.

¿Qué cambios considera prioritarios para optimizar la coordinación entre los departamentos de producción y montaje?

“Como ejecutores de este sistema constructivo, hace falta el departamento de control de proyectos que unifica todo el control de obra donde se centralice la información y permita un seguimiento en tiempo real de las distintas etapas del proyecto, facilitando la comunicación entre los equipos. Además, establecer reuniones de coordinación más frecuentes y crear flujos de comunicación más ágiles y efectivos permitiría ajustar rápidamente cualquier desvío en la planificación.”

Para el entrevistado la creación de un departamento de control de proyectos y una centralización de la información en tiempo real serían los cambios más importantes para mejorar la coordinación entre departamentos. Un proceso determinado con información centralizada que gestione los datos en tiempo real y una estructura de control más robusta son necesarios para optimizar la coordinación entre producción y montaje, evitando así retrasos y descoordinaciones.

¿Cómo se documenta el proceso de planificación y programación actualmente?

“El proceso se documenta principalmente a través de hojas de cálculo como lo es el programa de producción que almacena las ordenes de producción ingresadas y las piezas que ya concluyeron su etapa de fabricación.”

Actualmente, se realiza mediante hojas de cálculo, pero no hay un reporte consolidado que permita visualizar los avances reales del proyecto. El uso de hojas de cálculo limita la visibilidad y la gestión eficiente de los proyectos. Un sistema de reporte consolidado permitiría un seguimiento más preciso y una mejor toma de decisiones.

¿Qué tipo de datos históricos tienen sobre el desempeño de la planificación y cómo los utilizan para mejorar el proceso?

“De momento contamos con datos históricos de proyectos anteriores, sin embargo, estos no están dentro de una base de datos consolidada, por lo cual no se utiliza para mejorar el proceso mediante análisis de los mismos. Por lo tanto, al momento no se está utilizando esta información para identificar

tendencias o problemas recurrentes, aunque no tenemos un sistema formal de análisis que nos permita sacar el máximo provecho de estos datos. Una mejora en la recopilación y análisis de estos datos sería clave para optimizar nuestros procesos.”

Aunque se cuenta con datos históricos, no se utilizan adecuadamente para mejorar los procesos, ya que no están integrados en una base de datos consolidada. Donde la falta de un sistema de análisis de datos históricos representa una oportunidad perdida. Integrar esta información en un sistema de datos consolidado permitiría aprender de proyectos pasados y optimizar la planificación futura.

Entrevista al jefe de construcción

Entrevistado: Ing. Jimmy Brenes

¿Cuál es el procedimiento actual que sigue el departamento de producción para la planificación y programación de la fabricación de elementos prefabricados?

“Debe de tener varias aristas, primero la disponibilidad de moldes de la planta, después la secuencia de montaje del proyecto, aprovechamiento de las líneas de producción y los plazos de entrega del proyecto. Sin embargo, esta planificación a veces no refleja los cambios en obra de manera eficiente, lo que genera desajustes entre lo que necesitamos en el montaje y lo que está listo para ser despachado.”

De manera que lo anterior hace referencia a que la planificación y programación en producción se ve afectada por la falta de respuesta rápida a los cambios en la obra, lo que crea descoordinaciones. Esto sugiere la necesidad de un sistema de planificación más flexible que permita ajustes inmediatos, considerando los cambios en obra y mejorando la sincronización entre departamentos.

¿Cómo se coordina el proceso de planificación entre la fabricación y el montaje de los elementos?

“Una vez definida la secuencia de montaje con el cliente, se retroalimenta cuáles son los elementos para fabricar y a ser utilizados en sitio, posterior se da un seguimiento semanal en cuento a la producción con respecto al avance a obra, con el fin de realizarlos ajustes necesarios ya sea con las ordenes de producción o con las prioridades del programa de producción, a la vez que se coordina la disponibilidad inmediata o no de las piezas para envío a sitio, donde un punto de mejora es generar una manera de visualizar las piezas disponibles para la toma de decisiones”

La falta de visibilidad en tiempo real de las piezas disponibles impacta negativamente la coordinación entre los equipos. Esto refuerza la necesidad de un sistema digital que ofrezca visibilidad inmediata de la disponibilidad de los elementos y facilite la programación del montaje.

¿Qué factores determinan la secuencia y los tiempos de montaje de los elementos prefabricados?

“En sitio los principales factores son las inclemencias del clima, la planificación de obra y la optimización de los recursos, hora de entrega de las carretas y reprocesos en el proceso de arreglo de elementos o piezas mal marcadas. Además de los dobles movimientos en sitio, donde los viajes deben de llevar piezas con ubicación dentro del radio de giro de la grúa en sitio.”

La dependencia de factores externos y logísticos, como el clima y la disposición de piezas en el sitio, subraya la importancia de una planificación más detallada y flexible, que pueda anticipar estos factores y permitir ajustes rápidos para evitar ineficiencias, donde entra de manera clave la determinación de *buffer* de producción para la reacción rápida a cualquier cambio en lo previsto.

¿Existen discrepancias frecuentes entre el cronograma de fabricación y el de montaje? ¿Cómo se resuelven?

“Si existen discrepancias, para resolverlas, nos reunimos con el equipo de producción para ajustar las entregas y, en algunos casos, priorizamos ciertos elementos. Sin embargo, esto no siempre se puede hacer sin afectar la eficiencia de la producción”

Las discrepancias entre los cronogramas de producción y montaje son comunes, lo que provoca ineficiencias. La coordinación más fluida entre los equipos mediante reuniones más frecuentes y el uso de tecnología para integrar ambos cronogramas en tiempo real podría resolver este problema.

¿Qué información considera más importante recibir por parte del equipo de producción para programar el montaje?

“De la mano con el reporte de producción mediante lo conocido como estatus semanal de cada pieza, se debería de considerar un cronograma semanal y mensual de la producción, con lo cual se debería de medir lo proyectado contra lo real con el fin de obtener una medición de cada proceso con el fin de tener visibilidad sobre cualquier retraso o problema en la línea de producción que pueda afectar el cronograma. Idealmente, de debería contar con una herramienta que nos permita ver el avance en tiempo real facilitaría mucho la programación del montaje.”

La falta de acceso a datos en tiempo real dificulta la planificación eficiente del montaje. Implementar un sistema de seguimiento de producción que permita visualizar el avance de las piezas en cada etapa sería esencial para mejorar la programación y evitar contratiempos.

¿Existen problemas recurrentes de falta de coordinación o recursos que afecten el montaje?

“Si existen, pero de manera menos recurrente, donde el punto clave es la parte de logística la cual cuando se juntan varios proyectos de manera simultánea se genera un problema de recursos como lo es personal, carretas, disponibilidad de equipos especiales de transporte, lo cual se traduce a no lograr tener todos los requerimientos de los proyectos “

La falta de recursos y la coordinación logística son problemas recurrentes. Mejorar la planificación de recursos mediante un sistema que anticipe estos picos de demanda y optimice el uso de personal y equipos podría reducir los problemas logísticos.

¿Cómo se comunican las necesidades y los cambios de planificación entre los equipos de fabricación y montaje?

“La comunicación generalmente se realiza de una manera informal, no estandarizada mediante correos o llamadas, aunque la falta de un proceso integral que permita visualizar el estado actual de cada proyecto ayudaría a una coordinación efectiva.”

La informalidad en la comunicación entre los equipos de producción y montaje es una clara debilidad. La implementación de un sistema de comunicación estandarizado, posiblemente a través de un software de

gestión de proyectos, facilitaría una mejor coordinación y reduciría el tiempo de respuesta a cambios en la planificación.

¿Cómo afecta la programación de recursos y materiales a los plazos de montaje? ¿Cómo se gestionan los imprevistos?

“La naturaleza del negocio es proyectos fast-track, donde la información de los requerimientos de sitio es bastante ajustada a los plazos, lo que implica un trabajo de muy poca planificación con antelación, lo cual implica depender y presionar al equipo de cadena de suministros lo que conlleva problemas en generar un justo a tiempo para cumplir dichos requerimientos, además de perder el hilo de negociación con proveedores a los mejores precios. Esto conlleva a la gestión de imprevistos, como lo es cambios en cronogramas ajustando actividades”

La falta de planificación anticipada y la presión sobre los proveedores crea ineficiencias y aumenta el riesgo de imprevistos. Un enfoque más proactivo en la planificación de suministros, junto con un mejor uso de la información del proyecto, podría aliviar esta presión y mejorar el cumplimiento de los plazos.

¿Se utilizan datos o análisis previos para predecir o mejorar la eficiencia del montaje en nuevos proyectos?

“Si, se manejan indicadores por tipología de piezas y tipos de proyectos, como horas grúa por pieza y horas hombre por pieza. Los datos sobre tiempos y recursos utilizados en proyectos anteriores son valiosos, donde al lograr integrarlos en de manera integral para la planificación de los proyectos en sitio y que departamentos como producción y logística tengan una idea global de estos Mejoraría el análisis de estos datos y ayudaría a optimizar la eficiencia en futuros proyectos.”

Aunque se utilizan datos históricos, la falta de integración entre departamentos limita su potencial. Centralizar estos datos y realizar un análisis más exhaustivo permitiría optimizar la eficiencia del montaje y mejorar la coordinación entre todos los equipos involucrados.

Entrevista al jefe de comercial

Entrevistado: Ing. Randall Mora

¿Cómo se gestionan las expectativas de los clientes en relación con los plazos de entrega y montaje de los elementos prefabricados?

“Se gestiona dependiendo el tipo de cliente, para el caso del cliente con experiencia con este sistema constructiva se comienza haciendo una verificación de que la expectativa del cliente sea realista, seguidamente se realiza ingeniería de valor para lograr alcanzar los plazos requeridos, aumentando las capacidades de planta, recursos, traslapar actividades y el número de frentes de trabajo en el montaje. Por otra parte, si el cliente no tiene la experiencia con este sistema se analiza la propuesta, donde se negocia y se orienta al cliente a un plazo acorde para poder realizarlo”

La gestión de expectativas está bien estructurada, especialmente en cuanto a la adaptación a las necesidades del cliente. Sin embargo, la implementación de una planificación más precisa y ajustada desde el inicio, apoyada por datos reales de producción y montaje, podría reducir la necesidad de ajustes posteriores y aumentar la eficiencia.

¿De qué manera los cambios en los requerimientos del cliente (modificaciones en el diseño, tiempos, entre otros) afectan la planificación y programación actuales?

“Como cualquier proyecto, se debe de partir de la premisa que los cambios siempre van a existir, cuesta mucho encontrar un proyecto donde todo este definido como tal. De manera que se debe de tomar la cuenta la naturaleza del proyecto y la sofisticación de esos cambios, para nuestro mercado objetivo de naves industriales los cambios son recurrentes por el tipo de industria con cambios en cargas o diseños como tal. Por ende, cualquier orden de cambio tiene un costo y un plazo, de manera que un adecuado manejo de cambios permitiría generar una buena planificación y cronograma detallado del proyecto como tal para tomar decisiones.”

Los cambios en los requerimientos del cliente afectan significativamente la planificación y programación, generando la necesidad de ajustes continuos. La inclusión de mecanismos de control de cambios más robustos y la creación de cronogramas dinámicos que se adapten fácilmente a estos cambios podrían mejorar la respuesta a los imprevistos.

¿Cuál es el flujo de información entre el equipo comercial y los equipos de producción y montaje al momento de la ejecución del proyecto?

“La ruta de información comienza en lo que conocemos como reunión de arranque, la cual debe de brindar información suficiente para que el equipo de ingeniería, producción y construcción ejecuten el proyecto, esta debe incluye el presupuesto, oferta, contrato y cronograma global, además de la información de diseño y estudios preliminares. De manera que una vez el proyecto en ejecución, comercial continúe con el enfoque en ventas y de manera paralela tener un visual diario o periódico del avance del proyecto en cada una de las etapas de este.”

Aunque el flujo inicial de información parece bien estructurado, el seguimiento durante la ejecución podría mejorarse. Integrar herramientas que permitan la visualización del avance del proyecto en tiempo real fortalecería la coordinación entre los equipos y evitaría problemas de comunicación.

¿Qué nivel de participación tiene el equipo comercial en la planificación de los cronogramas de producción y montaje una vez se cierra un proyecto?

“El equipo comercial participa en las primeras fases de planificación, cuando se define el cronograma general y los plazos de entrega con el cliente. Sin embargo, nuestra participación es limitada una vez que el proyecto entra en fase de ejecución, lo que dificulta hacer ajustes basados en nuevas solicitudes del cliente, por lo que se debe de realizar cronogramas detallados para visualizar el tema de aprobaciones por parte de clientes y fechas límites. Idealmente, deberíamos tener mayor visibilidad sobre los cronogramas de producción y montaje a lo largo del ciclo del proyecto.”

La limitada participación del equipo comercial en las etapas posteriores de planificación impide realizar ajustes efectivos. Aumentar la visibilidad del equipo comercial sobre los cronogramas de producción y montaje permitiría una mejor gestión de expectativas y una mayor capacidad de respuesta a los cambios solicitados por los clientes.

¿Cómo se coordina el equipo comercial con el equipo de producción para asegurar que los plazos establecidos con el cliente se cumplan?

“Hoy en día se realiza de una manera informal, pero tiene que cambiar mediante la implementación de cronogramas detallados. A la vez de poder tener un visual para el seguimiento del avance del proyecto, lo cual ayudaría a tener información centralizada.”

La falta de formalidad en la coordinación es un área de mejora significativa. La implementación de un sistema de planificación y seguimiento digital centralizado, que permita a todos los equipos tener acceso a la información actualizada, podría mejorar notablemente la capacidad de cumplir con los plazos.

Desde la perspectiva comercial, ¿ha identificado áreas donde el proceso de planificación y programación entre la fabricación y montaje podría mejorar para cumplir mejor con los tiempos acordados?

“Usualmente nos alineamos a las capacidades máximas de la planta. Por el tamaño del mercado y el presupuesto, todo proyecto es de importancia para ganarlo, lo cual depende tanto del presupuesto de este como del plazo que se tenga propuesto. Por lo que, nosotros como departamento de comercial poder tener un visual general de los recursos disponibles como lo es la ruta crítica de moldes de planta es fundamental para prever las medidas necesarias al momento de ofertar u proyectos en específico, estas medidas pueden ser dentro de la negociación la implementación de un molde adicional, lugares de almacenamiento o un presupuesto mayor para poder utilizar diseños de mezcla de concretos con características muy específicas.”

La falta de visibilidad sobre la capacidad real de los recursos, especialmente los moldes, es una limitación importante. Mejorar la integración de la información entre los equipos de comercial, producción y montaje, permitiendo un análisis más detallado de la capacidad de planta, ayudaría a tomar decisiones más informadas y a planificar mejor los recursos.

¿Cree que la información que maneja el área comercial sobre los proyectos futuros se integra adecuadamente en la planificación y programación de los equipos de producción y montaje?

“No completamente. El mercado en el que trabajamos es muy cambiante, por lo que llegamos a compartir los detalles de los proyectos futuros con muy altas posibilidades de adjudicación con los equipos de producción y montaje. Esto con el fin de poder proyectar a largo plazo un panorama de cumplimiento de metas y capacidad de la producción en planta como de la capacidad de recursos en montaje.”

La falta de integración completa de la información comercial en la planificación es una limitante. Un sistema que permita a los equipos de producción y montaje visualizar de manera más clara y anticipada la cartera de proyectos futuros podría mejorar la capacidad de adaptación y planificación a largo plazo, optimizando los recursos y asegurando una mejor coordinación entre los equipos.

A partir de las entrevistas realizadas y el análisis de estas, se pueden identificar varias oportunidades de mejora en el proceso de planificación y programación de la fabricación y montaje de elementos prefabricados, destacando la importancia de integrar datos y mejorar la visualización en tiempo real. Aquí están algunos puntos clave:

Integración de procesos y datos

- Problema: Falta de un sistema que integre los datos de producción y montaje, lo que genera desconexiones entre ambos departamentos y afecta la coordinación.
- Oportunidad de Mejora: Implementar una plataforma centralizada que permita la actualización en tiempo real de la información tanto para el equipo de producción como para el de montaje, lo que facilitaría la toma de decisiones rápidas y mejoraría la eficiencia.

Visibilidad en tiempo real

- Problema: El seguimiento del avance del proyecto se realiza de manera manual, con reportes y reuniones, lo que genera retrasos en la respuesta a imprevistos y cambios.
- Oportunidad de Mejora: Implementar un sistema de seguimiento digital que permita visualizar en tiempo real el estado de cada fase del proyecto (diseño, fabricación y montaje), reduciendo los cuellos de botella y mejorando la capacidad de respuesta.

Coordinación y comunicación

- Problema: Las reuniones semanales y los medios de comunicación (correos y llamadas) son insuficientes para gestionar los ajustes en tiempo real.
- Oportunidad de Mejora: Mejorar la frecuencia y la calidad de las reuniones de coordinación, además de estandarizar la comunicación mediante un sistema digital que permita a todos los departamentos acceder a la misma información actualizada.

Optimización de recursos y logística

- Problema: La falta de planificación anticipada y los problemas logísticos (como la disponibilidad de transporte) generan retrasos en el montaje.
- Oportunidad de Mejora: Mejorar la planificación logística, integrando datos sobre la disponibilidad de recursos (carretas, equipos, entre otros) en la programación de proyectos, lo que ayudaría a evitar retrasos y optimizar los recursos en cada obra.

Análisis de datos históricos

- Problema: Aunque se cuenta con datos históricos, estos no se utilizan adecuadamente para predecir problemas o mejorar la planificación futura.
- Oportunidad de Mejora: Crear una base de datos ordenada e información que permita identificar patrones de problemas recurrentes y ajustar la planificación de nuevos proyectos en base a esta información, optimizando tanto los plazos como el uso de recursos.

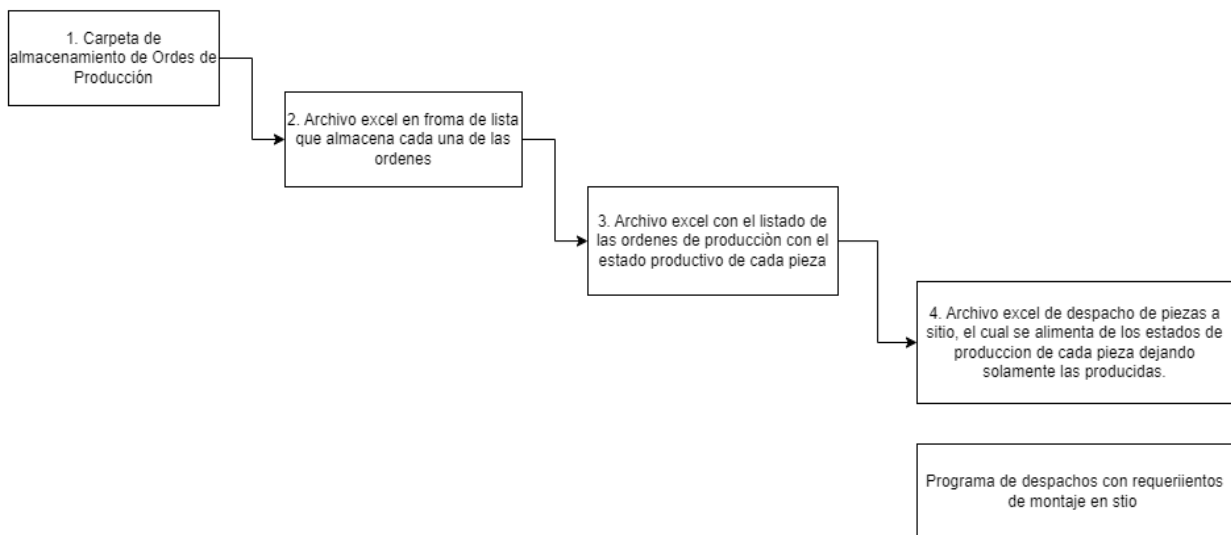
Mejor visualización para el área comercial

- Problema: El equipo comercial no tiene suficiente visibilidad de la capacidad de producción y montaje en tiempo real, lo que afecta la planificación y cumplimiento de plazos con los clientes.
- Oportunidad de Mejora: Ofrecer al área comercial una vista global y en tiempo real del avance de los proyectos, lo que les permitiría gestionar mejor las expectativas del cliente y ajustar plazos de manera más eficiente.

3.1.2 Herramientas utilizadas actualmente para la planificación y programación

Como el procedimiento actual utilizado para la planificación y programación actual, se tienen varios archivos, como se visualiza en la figura 12 el proceso de planificación y programación en este sistema constructivo depende mucho de distintas fuentes de información. Inicialmente, por lo que la parte de diseño estructural genera las llamadas ordenes de producción que básicamente son un archivo csv del cual se logra generar una base de datos. Posteriormente, se lleva un control de reportes de producción, donde se llena una base de datos con el estatus de cada pieza que básicamente hace referencia a pieza producida y pieza programada para producción, para finalmente llegar al archivo de logística y despacho, el cual realiza las boletas de salida y almacena los datos de las piezas enviadas a sitio.

Figura 12. Diagrama de flujo de herramientas utilizadas para el proceso de planificación y programación.



Nota: Elaboración propia

Profundizando más a detalle cada uno de los archivos, se obtiene que según la figura 12 para el punto 1 y 2, se obtiene el archivo en Excel® de orden de producción, el cual se ejemplifica en la figura 13, es

aquí donde se logra evidenciar puntos clave dentro de esta, las cuales son el tipo de elemento, la cantidad de estos, geometría o sección, el volumen de concreto, resistencia del concreto para el desmolde, resistencia del concreto a 28 días, kilogramos de acero y el peso en toneladas. Seguidamente, mediante el acomodo de estos archivos en un lugar específico en la nube, se genera una tabla a manera de base de datos tal como se ve en la figura 14 recopilando cada uno de las ordenes de producción, lo cual permite ver cuántos elementos por línea productiva tengo disponibles para producir.

Figura 13. Orden de producción

ORDEN DE PRODUCCIÓN
Planta de Prefabricado Pesado

ORDEN #: 1
[Actualizar Datos y Orden](#) [Crear Nueva Orden](#)

Nombre del Proyecto: BIGFOOT ZFL...
No. Proyecto: 1003 Nivel:

FECHA	ELEMENTOS PREFABRICADOS										ACERO		LISTA DE DISEÑO SEGURO	
	DESCRIPCION	TIPO	CANTIDAD	Resist. Final	Volumen [m³]	PESO (Ton)	IDENTIF. #1	IDENTIF. #2	IDENTIF. #3	No. GRAFO	COD. RENDIM	DENS. [kg/m³]		PESO [kg]
23-Sep-2024	Placa Estandar	1001	9	350.00	2.11	5.25	2.70	2.70	1.15	03-04-19-0	PE	89.85	189.34	1. Peso del elemento definido ☐
	Placa Estandar	1002	13	350.00	1.76	4.41	2.40	2.40	1.15	03-04-19-0	PE	101.46	178.68	2. Centrado de piezas asimétricas ubicado ☐
	Placa Estandar	1006	9	350.00	1.79	4.47	2.40	2.40	1.15	03-04-19-0	PE	101.53	181.59	3. Sistema de manipulación a torre indicado ☐
	Placa Estandar	1007	2	350.00	1.79	4.47	2.40	2.40	1.15	03-04-19-0	PE	101.53	181.59	Ubicación ☐
	Placa Estandar	1008	3	350.00	2.08	5.18	2.70	2.70	1.15	03-04-19-0	PE	89.59	186.44	Tipos ☐
	Placa Estandar	1009	1	350.00	2.11	5.25	2.70	2.70	1.15	03-04-19-0	PE	89.85	189.34	Capacidad ☐
	Placa Estandar	1012	2	350.00	1.61	4.03	2.40	2.10	1.15	03-04-19-0	PE	100.65	182.03	4. Ductos para apuntalamiento ubicado ☐
														5. Soportes temporales indicados ☐
														Herrajes ☐
														Puntales ☐
													Soldadura ☐	
													Otros ☐	
													6. Prestos para líneas de vida indicados ☐	
													Ubicación ☐	
													Tipos ☐	
													Capacidad ☐	
													7. Prestos para seguridad ☐	
													Solicitudes por Producción indicados ☐	

Nota: Holcim Modular Solutions, 2024

Seguidamente, en el punto 3 la misma base de datos de órdenes de producción que se mencionó, es donde se coloca el estatus de cada una de las piezas, como se observa en la figura 15, se coloca un estatus “p” cuando está producida, además que se agrega la fecha de producción, el número de boleta con el que se solicitó el concreto para colarlo y los metros cúbicos reales que se utilizaron para la producción de dicha pieza.

Figura 14. Base de datos ordenes de producción

A=2;5;7

Planta de Prefabricado Pesado
Programas de Producción
Fecha de actualización 23 de setiembre del 2024
F4

09:18:38 p. m.

CyD Plant
CyD

Estado PR	No. Orden	Fecha de Envío de Orden	Año	Fecha Despacho	Checklist	Supervisor	Fecha	Proyecto	Nivel	Elemento	Tipo	Cantidad	Peso total (Ton)	Volumen planificado	Volumen solicitada	Volumen real	F'c final	Longitud
	2	13/02/2024				Jose A Rojas	04/03/24	LAS BRISAS #15		Largueros	T3	1	1.06	0.44			700	12
	32	04/02/2024						INARI ZFE		Viga Hongo	3155	1	1.07	0.4			350	2
	1	05/08/2024				D.Chavez	07/06/24	HATILLO 4		Otros Varios	9001	1	4.74	1.94			350	5
	44	23/8/2024				Jose A Rojas	04/09/24	TRELLEBORG ZFE	Secundarias	Placa Estandar Secundarias	1111	1	3.23	1.3			280	1
	41	13/8/2024				Jose A Rojas	05/09/24	TRELLEBORG ZFE	Secundarias	Placa Estandar Secundarias	1110	1	3.19	1.31			280	1
	41	13/8/2024				Jose A Rojas	05/09/24	TRELLEBORG ZFE	Secundarias	Placa Estandar Secundarias	1103	1	6.17	2.49			280	3
	2	22/8/2024						CARAÑA - TRADE CENTER - ALCANTARILLA 27		Hiper Tee Puente	3101	1	50.22	19.76			700	26
	2	22/8/2024						CARAÑA - TRADE CENTER - ALCANTARILLA 27		Hiper Tee Puente	3101	1	50.22	19.76			700	26
	2	22/8/2024						CARAÑA - TRADE CENTER - ALCANTARILLA 27		Hiper Tee Puente	3101	1	50.22	19.76			700	26
	2	22/8/2024						CARAÑA - TRADE CENTER - ALCANTARILLA 27		Hiper Tee Puente	3101	1	50.22	19.76			700	26
	2	22/8/2024						CARAÑA - TRADE CENTER - ALCANTARILLA 27		Hiper Tee Puente	3101	1	50.22	19.76			700	26
	2	22/8/2024						CARAÑA - TRADE CENTER - ALCANTARILLA 27		Hiper Tee Puente	3101	1	50.22	19.76			700	26
	2	22/8/2024						CARAÑA - TRADE CENTER - ALCANTARILLA 27		Hiper Tee Puente	3101	1	50.22	19.76			700	26
	2	22/8/2024						CARAÑA - TRADE CENTER - ALCANTARILLA 27		Hiper Tee Puente	3101	1	50.22	19.76			700	26
	2	22/8/2024						CARAÑA - TRADE CENTER - ALCANTARILLA 27		Hiper Tee Puente	3101	1	50.22	19.76			700	26
	41	13/8/2024				Jose A Rojas	05/09/24	TRELLEBORG ZFE	Secundarias	Placa Estandar Secundarias	1102	1	5.82	2.34			280	2
	42	19/8/2024				Jose A Rojas	05/09/24	TRELLEBORG ZFE	Secundarias	Placa Estandar Secundarias	1105	1	4.76	1.93			280	1
	42	19/8/2024				Jose A Rojas	09/09/24	TRELLEBORG ZFE	Secundarias	Placa Estandar Secundarias	1107	1	3.82	1.56			280	2
	41	13/8/2024				Jose A Rojas	09/09/24	TRELLEBORG ZFE	Secundarias	Placa Estandar Secundarias	1109	1	0.97	0.39			280	1
	41	13/8/2024				Jose A Rojas	10/09/24	TRELLEBORG ZFE	Secundarias	Placa Estandar Secundarias	1109	1	0.97	0.39			280	1
	43	20/8/2024				Jose A Rojas	10/09/24	TRELLEBORG ZFE	Secundarias	Placa Estandar Secundarias	1108	1	6.74	2.74			280	3
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-02	1	1.74	0.7			700	4
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-03	1	1.98	0.81			700	4
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-04	1	2.12	0.87			700	5
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-05	1	2.25	0.93			700	5
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-06	1	4.97	2.04			700	10
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-07	1	4.51	1.86			700	10
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-08	1	4.65	1.92			700	11
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-09	1	4.79	1.97			700	11
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-10	1	4.75	1.96			700	11
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-11	1	4.61	1.9			700	11
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-12	1	4.48	1.84			700	10
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-13	1	4.34	1.78			700	10
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-14	1	4.20	1.73			700	10
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-15	1	4.06	1.67			700	9
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-16	1	3.93	1.62			700	9
	7	02/07/2024						NAVE CORONADO		Panel Vertical Normal	Pv-17	1	2.25	0.92			700	9
	6	09/04/2024				C Viquez	26/09/24	CARAÑA - TRADE CENTER - ALCANTARILLA 27		Loseta	6000	1	0.54	0.21			350	1
	6	09/04/2024				C Viquez	26/09/24	CARAÑA - TRADE CENTER - ALCANTARILLA 27		Loseta	6001	1	0.54	0.21			350	1
	6	09/04/2024				C Viquez	27/09/24	CARAÑA - TRADE CENTER - ALCANTARILLA 27		Loseta	6000	1	0.54	0.21			350	1

Nota: Holcim Modular Solutions, 2024

Figura 15. Base de datos reporte de producción

A=2;5;7



Planta de Prefabricado Pesado

Programas de Producción

Fecha de actualización 23 de setiembre del 2024

F4

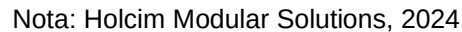
CyD Plant

CyD

Estado	No O	Fecha de Envío	Año	Fecha Despacho	Checklist	Supervisor	Fecha	Proyecto	Nivel	Elemento	Tipo	Cantidad	Peso total (Ton)	Volumen planificado	Volumen solicitada	Volumen real	F'c final	Longitud
p	1	13/9/2024			2513	C.Viquez	17/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5008	1	4.09	1.68	1.85		700	9
p	1	13/9/2024			2513	C.Viquez	17/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5009	1	4.21	1.73	1.95		700	10
p	1	13/9/2024			2514	C.Viquez	19/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5010	1	3.76	1.54	1.8		700	10
p	1	13/9/2024			2514	C.Viquez	20/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5011	1	4.43	1.82	2		700	10
p	1	13/9/2024			2514	C.Viquez	20/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5012	1	4.17	1.71	1.85		700	10
p	1	13/9/2024			2513	C.Viquez	17/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5014	1	4.14	1.7	1.9		700	9
p	1	13/9/2024			2513	C.Viquez	17/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5015	1	3.90	1.6	1.8		700	9
p	1	16/09/2024			2401	Camila Viquez	17/09/24	Puente Pejibaye		Viga Especial	3003	1	12.58	4.82	4.9		700	11
p	1	16/09/2024			2516	Camila Viquez	18/09/24	Puente Pejibaye		Viga Especial	3003	1	12.58	4.82	4.8		700	11
p	1	16/09/2024			2405	Camila Viquez	19/09/24	PUENTE PEJIBAYE		Viga Especial	3003	1	12.58	4.82	4.8		700	11
p	31	08/08/2024			2517	Camila Viquez	19/09/24	GT ZFLL		Viga Torre	3509	1	10.41	3.93	3.95		700	12
p	8	17/8/2024			3304	Camila Viquez	18/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Placa Estandar	1007	1	3.16	1.27	1.4		350	1
p	8	17/8/2024			3304	Camila Viquez	18/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Placa Estandar	1007	1	3.16	1.27	1.4		350	1
p	8	17/8/2024			3306	Camila Viquez	19/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Placa Estandar	1007	1	3.16	1.27	1.4		350	1
p	8	17/8/2024			3306	Camila Viquez	19/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Placa Estandar	1007	1	3.16	1.27	1.4		350	1
p	8	17/8/2024			3311	Camila Viquez	21/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Placa Estandar	1007	1	3.16	1.27	2.4		350	1
p	8	17/8/2024			3311	Camila Viquez	21/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Placa Estandar	1007	1	3.16	1.27	2.4		350	1
p	8	17/8/2024			3308	Camila Viquez	20/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Placa Estandar	1007	1	3.16	1.27	1.4		350	1
p	8	17/8/2024			3308	Camila Viquez	20/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Placa Estandar	1007	1	3.16	1.27	1.4		350	1
p	22	18/8/2024			3310	Camila Viquez	21/09/24	INTRICON ZFE		Placa Estandar	P3	1	2.44	0.98	1		280	2.30
p	22	18/8/2024			3310	Camila Viquez	21/09/24	INTRICON ZFE		Placa Estandar	P2	1	2.07	0.83	1		280	2.05
p	9	20/8/2024			2410	Camila Viquez	20/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Viga de Amarre Nave	3001	1	4.76	1.89	1.89		350	10
p	9	20/8/2024			2410	Camila Viquez	20/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Viga de Amarre Nave	3039	1	5.17	2.05	2.05		350	1
p	9	20/8/2024			2410	Camila Viquez	20/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Viga de Amarre Nave	3051	1	5.17	2.05	2.05		350	1
	1	09/11/2023						BARERRAS GEOTRAESA		Barrera New Jersey	Ba-01	1	1.69	0.69			350	
	1	09/11/2023						BARERRAS GEOTRAESA		Barrera New Jersey	Ba-01	1	1.69	0.69			350	
	1	09/11/2023						BARERRAS GEOTRAESA		Barrera New Jersey	Ba-01	1	1.69	0.69			350	
	1	09/11/2023						BARERRAS GEOTRAESA		Barrera New Jersey	Ba-01	1	1.69	0.69			350	
	1	09/11/2023						BARERRAS GEOTRAESA		Barrera New Jersey	Ba-01	1	1.69	0.69			350	
	1	09/11/2023						BARERRAS GEOTRAESA		Barrera New Jersey	Ba-01	1	1.69	0.69			350	
	1	09/11/2023						BARERRAS GEOTRAESA		Barrera New Jersey	Ba-01	1	1.69	0.69			350	
	3	31/07/2023						Durmientes INCOFER		Otros Otros varios	DU-01	21	0.15	0.06			600	
	3	31/07/2023						Durmientes INCOFER		Otros Otros varios	DU-01	21	0.15	0.06			600	
	3	31/07/2023						Durmientes INCOFER		Otros Otros varios	DU-01	21	0.15	0.06			600	
	3	31/07/2023						Durmientes INCOFER		Otros Otros varios	DU-01	21	0.15	0.06			600	
	3	31/07/2023						Durmientes INCOFER		Otros Otros varios	DU-01	21	0.15	0.06			600	
	3	31/07/2023						Durmientes INCOFER		Otros Otros varios	DU-01	21	0.15	0.06			600	
	3	31/07/2023						Durmientes INCOFER		Otros Otros varios	DU-01	21	0.15	0.06			600	
	3	31/07/2023						Durmientes INCOFER		Otros Otros varios	DU-01	2	0.15	0.06			600	
	14	13/12/2023				Jose A Rojas	09/02/24	EDIFICIO LOTE 4 ZFC	0+00	Panel Vertical	PV-01	1	4.99	2.05			700	1

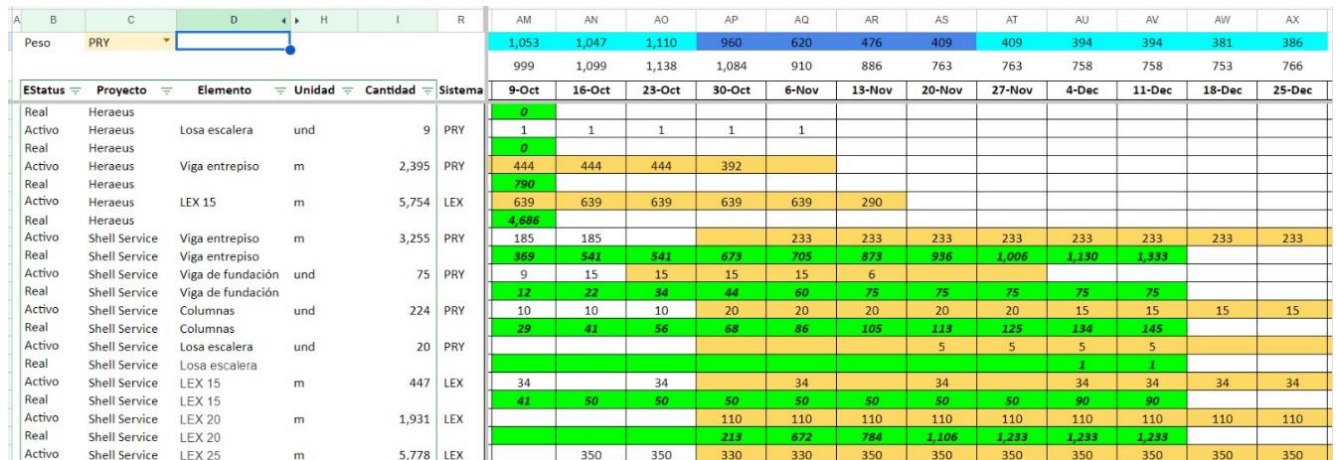
Nota: Holcim Modular Solutions, 2024

Figura 16. Programa de logística y despachos



57

Figura 17. Cronograma diagrama de Gantt por proyectos



Nota: Holcim Modular Solutions, 2024

Sin embargo, uno de los principales problemas de este cronograma habitual es el poco detalle visual que se tiene sobre la saturación de cada una de las líneas de producción, tanto a nivel de recursos como lo son cantidad de moldes como a nivel de personal, es decir cantidad de cuadrillas necesarias. Además, un factor e indicador de suma importancia es el tema de las toneladas que se planifican en un periodo de tiempo definido, dato fundamental para obtener distintos indicadores o estadística que permita tener un control general de cada proyecto, tanto en la fase de producción, es decir cuántas toneladas se van a realizar y a nivel de almacenamiento, con el fin de evaluar la capacidad de almacenamiento adecuado de cada una de las piezas de concreto.

A partir de la evaluación general de las herramientas actuales de planificación y programación, se identifican áreas clave en su suficiencia y pertinencia. Un aspecto fundamental es el control de inventario y estado de producción. Las herramientas descritas en las figuras 14 y 15, que incluyen bases de datos para seguimiento de órdenes y piezas producidas, permiten evitar la duplicación de planificación al mantener un registro actualizado. Además, ofrecen una visualización de las piezas enviadas a producción, permitiendo a ingeniería identificar fácilmente las piezas pendientes.

En cuanto a la herramienta de logística y despachos, su conexión con el sistema de producción proporciona una visualización de las piezas listas para despachar. Sin embargo, el proceso presenta cuellos de botella, ya que una pieza producida no necesariamente está lista para ser enviada. Es común que piezas requieran acabados adicionales, instalación de herrajes o tratamiento de superficies, lo cual genera demoras en el proceso de carga y despacho.

El cronograma semanal que se utiliza actualmente también presenta limitaciones. Al ser un sistema constructivo que prioriza rapidez de ejecución en sitio, el monitoreo detallado de la etapa productiva es esencial, ya que esta antecede a la instalación en el sitio. Sin embargo, el cronograma semanal dificulta este seguimiento detallado. En la práctica, el ritmo de la producción suele ser más lento que el del montaje, y las

órdenes de producción tienen aún menor rendimiento que la producción. Esto implica que un retraso en producción afecta directamente al montaje; si no se identifica a tiempo, la producción podría quedar incapaz de responder adecuadamente. Sin embargo, si los retrasos se detectan con anticipación, se pueden ajustar las capacidades productivas para cumplir los plazos. Lo mismo ocurre en el área de ingeniería, donde un retraso en la entrega de planos afecta las líneas de producción, aunque identificarlo con antelación permite compensar este impacto mediante ajustes en la capacidad productiva.

Actualmente, el cronograma tipo Gantt permite visualizar cada línea de producción de forma individual. Sin embargo, al programarse por proyecto y no en función de la capacidad máxima semanal de la planta, surge la necesidad de revisar cada línea para evitar sobrecargas de capacidad. Adicionalmente, aunque es importante medir lo programado frente a lo real, incluir esta información en el mismo cronograma genera contaminación visual, dificultando una interpretación rápida y precisa del estado del proyecto, lo cual limita su utilidad para la toma de decisiones inmediatas, crucial en este tipo de sistema constructivo.

El cronograma también presenta una limitación al enfocarse solo en la etapa de producción, sin ofrecer una visualización integrada de otros departamentos implicados. Esto incluye la falta de detalles sobre los requerimientos y tiempos de las órdenes de producción en cada línea y la coordinación con los plazos de construcción en sitio. Un enfoque más integral permitiría disponer de la mayoría de piezas listas antes de la instalación, apoyando el objetivo "fast track" del negocio.

3.1.3 Identificación de fortalezas y puntos de mejora en el proceso

Con base en lo mencionado, se obtienen distintos focos principales, como lo es fortalezas, debilidades y puntos de mejora, para los dos departamentos más involucrados en la ejecución de proyectos, producción y construcción. En el cuadro 4 se presentan las fortalezas, debilidades y puntos de mejora en relación con el análisis de la planificación y programación integral para el departamento de producción y construcción de la empresa Holcim Modular Solutions, basadas en los resultados obtenidos y el análisis del flujo de datos.

CUADRO 4. FORTALEZAS, OPORTUNIDADES, DEBILIDADES Y AMENAZAS

Fortalezas	Oportunidades
• División clara de responsabilidades: Existe una estructura bien definida entre los departamentos de ingeniería, producción, logística y construcción, donde cada área tiene roles específicos dentro del proceso, lo que facilita la especialización. • Control de inventario y estado de producción: Se utiliza una base de datos que permite llevar un seguimiento de las órdenes de producción, las piezas producidas, los volúmenes de concreto utilizados y el estatus de las piezas. • Uso de herramientas como el cronograma de producción en tipo diagrama de Gantt: La utilización de un cronograma en formato Gantt permite visualizar el plan de producción y el cumplimiento real, lo cual es positivo para evaluar el avance semanal de los proyectos.	• Integración de procesos y herramientas: Implementar una plataforma centralizada que permita la actualización en tiempo real de la información para todos los departamentos (producción, logística y construcción). Esto mejoraría la coordinación, optimizaría los recursos y permitiría la toma de decisiones más rápidas y eficientes. • Visualización integral del avance del proyecto: Crear un sistema de visualización que permita a todos los departamentos (comercial, producción, construcción y logística) ver el avance del proyecto en tiempo real, lo que mejoraría la visibilidad y el cumplimiento de plazos. • Planificación anticipada de logística: Desarrollar un sistema de planificación logística que integre datos sobre la disponibilidad de transporte y los requerimientos de piezas, optimizando la salida de elementos desde la planta hasta el sitio de construcción. • Análisis predictivo de datos históricos: Implementar análisis de datos históricos para identificar problemas recurrentes y ajustar la planificación de producción y montaje en base a patrones previos, mejorando la precisión en la planificación futura. • Control y priorización de órdenes de cambio: Mejorar el proceso de control de órdenes de cambio para que sean analizadas, aprobadas o rechazadas rápidamente, asegurando que las prioridades se asignen correctamente y los recursos se utilicen de manera eficiente. • Capacitación en herramientas digitales: Capacitar a los equipos en el uso de herramientas de planificación y análisis de datos para mejorar la adopción de nuevas tecnologías y garantizar un uso eficiente de los sistemas integrados.

Debilidades	Amenazas
• Falta de integración entre departamentos: El flujo de información es lineal, lo que dificulta la sincronización entre los distintos departamentos. Los departamentos de producción y construcción no tienen visibilidad en tiempo real de las etapas anteriores y posteriores, lo que afecta la toma de decisiones y la capacidad de responder a imprevistos. • Procesos manuales y desconexos: La dependencia de hojas de cálculo y la falta de una plataforma digital integrada genera retrasos y errores en el intercambio de información, afectando la planificación integral. • Falta de visibilidad global del proyecto: La información no se sintetiza ni se visualiza de manera integral, lo que dificulta el seguimiento y la toma de decisiones basadas en el avance real del proyecto. • Poca planificación de recursos logísticos: La logística y la gestión del transporte de piezas no están adecuadamente anticipadas, lo que genera retrasos en el montaje y problemas de almacenamiento. • Desconexión entre producción y construcción: El programa de requerimientos de piezas para la construcción no está conectado con las herramientas de planificación de producción, lo que genera problemas de coordinación entre las áreas.	• Resistencia al cambio: la mayoría de los colaboradores de la empresa llevan varios años realizando las funciones, por lo cual, su experiencia es de suma importancia, sin embargo, al implementar algún proceso muy diferente al actual se puede enfrentar a una resistencia en la mentalidad de trabajo. • Curva de aprendizaje lenta: implementar nuevos procesos optimizados genera una curva de aprendizaje.

Nota: Elaboración propia

El análisis FODA previamente descrito está estrechamente relacionado con la planificación y programación actual de la empresa. Entre las fortalezas destacadas, se encuentra la estructura bien definida en cada departamento, con roles claramente asignados. Por ejemplo, el departamento comercial se encarga de la adjudicación de proyectos, mientras que ingeniería desarrolla los diseños estructurales y planos de montaje. Producción fabrica las piezas siguiendo las especificaciones estructurales, logística gestiona el transporte y los movimientos internos, y construcción se ocupa del montaje final en el sitio. Esta organización facilita que cada departamento entienda claramente su meta dentro del proceso global, garantizando un flujo de trabajo coordinado.

Un aspecto crucial dentro de estas fortalezas es el control de inventario y del estado de la producción. Como se muestra en las figuras 14 y 15, producción documenta detalladamente cada elemento desde el plano hasta su fabricación, mientras que logística lleva el control del estado de los despachos, como se puede ver en la figura 16. Esto permite realizar un seguimiento preciso de las órdenes de producción, los volúmenes de concreto utilizados y el estatus de cada pieza. Adicionalmente, la utilización del diagrama de Gantt por parte del departamento de producción, como se observa en la figura 17, es una herramienta valiosa para visualizar el avance de cada proyecto y evaluar el progreso semanalmente.

Sin embargo, en cuanto a las oportunidades de mejora, es necesario integrar mejor los procesos y herramientas actuales. Aunque cada departamento cuenta con sus propias herramientas que generan información valiosa, esta información no está centralizada, lo que dificulta una visión global del proyecto y ralentiza la toma de decisiones. La creación de una plataforma integrada que consolide estos datos en tiempo real permitiría tomar decisiones más rápidas y efectivas. Además, es importante mejorar la visualización integral del avance del proyecto, ya que la dispersión de información en múltiples bases de datos genera demoras y dificulta la trazabilidad del proceso.

De la mano con las oportunidades de mejora, se tiene la implementación de herramientas digitales, lo cual es esencial para optimizar la planificación y programación en la construcción de elementos prefabricados. Dado que se genera una gran cantidad de datos para asegurar la trazabilidad de cada pieza, la tecnología es un aliado fundamental. Sin embargo, es importante considerar la curva de aprendizaje que implican estas nuevas tecnologías y las capacidades de los usuarios que las gestionarán. La adopción de estas herramientas requiere una inversión significativa tanto en tiempo como en recursos, especialmente en un sector como la construcción, donde prevalece el uso de procesos en papel.

Por lo tanto, es crucial que las nuevas herramientas sean fáciles de usar, evitando complejidades innecesarias que puedan generar errores. Un enfoque bien planificado y adaptado a los perfiles de los colaboradores mejorará el flujo de información y minimizará las equivocaciones, asegurando un mejor rendimiento en todo el proceso.

Un área de debilidad crítica es la gestión logística. Aunque el programa de planificación logística está basado en las piezas producidas, no siempre significa que estas estén listas para ser enviadas. A menudo, las piezas requieren acabados finales después de ser desmoldadas, lo que retrasa los despachos. Esto provoca cuellos de botella en el proceso de carga, ya que las piezas necesarias para los envíos no siempre

están listas, lo que genera tiempos de espera innecesarios. Sincronizar mejor el programa de despachos con los trabajos de acabado optimizaría significativamente la eficiencia de la carga y el transporte.

En cuanto a las amenazas, un desafío común en los proyectos son las órdenes de cambio. Estas suelen afectar los recursos y la programación, lo que requiere una gestión eficiente para priorizar las órdenes según el estado de la pieza, ya sea planificada, en producción o ya producida. Una priorización adecuada de estas órdenes permitirá establecer plazos claros para cada cambio y evitará interrupciones en el flujo de trabajo.

3.2 Identificación de buenas prácticas

Como parte de los resultados, con el fin de abarcar el segundo objetivo de investigar acerca de antecedentes de empresas constructoras de sistemas prefabricados para la identificación de buenas prácticas de planificación y programación entre la fabricación y el montaje de los elementos. Se tiene una revisión bibliográfica con respecto a las buenas prácticas sobre la planificación y programación de la producción y el montaje en sitio. En primer lugar, se comentan los antecedentes de empresas constructoras con el sistema prefabricado y después se analizará teoría sobre las buenas prácticas dentro del proceso de planificación y programación con el fin de valorar y analizar la aplicación de estas dentro de la empresa Holcim Modular Solutions.

3.2.1 Informe de investigación sobre antecedentes de empresas constructoras de sistemas prefabricados.

Como parte del informe sobre los antecedentes de empresas constructoras, se consideraron dos empresas costarricenses que marcaron un hito en el desarrollo del sistema constructivo en prefabricados: Productos de Concreto y Escosa.

Esta primera, Productos de Concreto (PC) ofrece una amplia gama de productos prefabricados de concreto, como bloques, adoquines, tuberías, entre otros. En el pasado, también se especializaba en servicios relacionados con infraestructura, edificación y obras civiles, lo que la consolidó como líder en este sector. Su enfoque en las buenas prácticas de planificación y programación le permitió destacarse y posicionarse como una de las empresas más influyentes en el mercado de prefabricados.

Por otro lado, Escosa, actualmente conocida como Eurobau, se distingue por proporcionar soluciones innovadoras para proyectos de infraestructura y edificaciones, tales como vigas, columnas, paneles y otros elementos estructurales prefabricados. Su enfoque en la calidad y la eficiencia le ha permitido participar en numerosos proyectos de gran envergadura en Costa Rica y la región, consolidándose como un referente en

la industria. Este manejo eficiente de la planificación y programación de sus proyectos ha sido clave para su buen posicionamiento en el sector de prefabricados.

En relación con Productos de Concreto (PC), el Ingeniero Carlos Rodríguez, quien tiene experiencia como coordinador de planificación en la empresa cuando esta lideraba la construcción de edificaciones y obras civiles con sistemas prefabricados, compartió las buenas prácticas que se implementaban en ese momento:

- Manejo de dos cronogramas: En la industria de la construcción, los tiempos no son absolutos y es necesario considerar distintos escenarios. Por esta razón, es esencial generar dos cronogramas. El primero es el cronograma ideal, que establece la meta a seguir y cumplir para la operación del proyecto. El segundo es el cronograma contractual, que incluye un margen de holgura en las diferentes etapas para absorber imprevistos típicos del proceso, como daños en grúas, falta de personal u órdenes de cambio.
- Centralización de la información: Un buen manejo de proyectos implica que la persona o departamento encargado de la planificación esté al tanto de todos los eventos que ocurren y cómo estos afectan los plazos de cada departamento. Esta centralización de la información es crucial para asegurar la coordinación y la eficiencia entre las distintas áreas.
- Control de cambios en el montaje: Dada la naturaleza de los proyectos, es común que factores como las condiciones del terreno, la logística, y la entrada de carretas o grúas al sitio provoquen cambios en la secuencia de montaje. Realizar visitas periódicas al sitio con los involucrados de los departamentos de construcción y logística permite anticiparse a estos cambios, minimizando los riesgos que pueden afectar la planificación y la ruta crítica del proyecto.
- Optimización de recursos: Aunque la planificación no es responsable directa de la calidad y el costo de las piezas fabricadas o del proyecto, es importante optimizar el proceso para cumplir con los plazos establecidos. Esto se logra asegurando que los tiempos de producción sean adecuados para garantizar tanto la calidad de las piezas como la eficiencia del proceso.
- Cronograma de producción basado en la capacidad de moldes: Cada proyecto tiene un diseño arquitectónico y cargas estructurales únicas, lo que provoca variaciones en la geometría de las piezas prefabricadas. Estas variaciones afectan la disponibilidad de los moldes y la ruta crítica de producción. Por lo tanto, el cronograma de producción debe basarse en la capacidad disponible de moldes, asegurando un balance que evite la saturación de las líneas de producción.

En relación con Escosa, hoy conocida como Eurobau, el ingeniero Julio Mena presentó en 2007 su Proyecto de Graduación enfocado en la optimización del montaje de estructuras prefabricadas de concreto. En dicho proyecto, se detallan las buenas prácticas que Escosa implementaba en ese entonces para la planificación y programación de proyectos. Entre las prácticas más destacadas se encontraba la identificación de los elementos prefabricados mediante códigos, lo que facilitaba un montaje rápido y preciso. Además, la coordinación del uso de grúas era clave, especialmente para elementos pesados, donde el uso simultáneo

de dos grúas era necesario para maniobrar vigas cerchas, evitando así accidentes. Asimismo, una secuencia de montaje eficiente comenzando con columnas y vigas, lo cual reducía los tiempos de ejecución y aseguraba la estabilidad estructural durante las fases iniciales.

Estas buenas prácticas generaban beneficios como la optimización del tiempo de ejecución al mejorar la interfaz entre la cimentación y el montaje de columnas. También permitían prever el uso eficiente de grúas y otros equipos, lo que a su vez mejoraba la seguridad en el proceso de montaje. En conjunto, estas prácticas contribuían a mejorar los plazos de ejecución, y se proponían las siguientes medidas:

- Organización del sitio de proyecto y planta de producción: La correcta distribución del sitio y la optimización de recursos como grúas son clave para el proceso. Definir previamente la ubicación del material prefabricado y el banqueo de grúas mejora la eficiencia y reduce movimientos innecesarios, optimizando el tiempo de montaje.
- Cálculos periódicos de capacidades máximas de producción: Es esencial calcular las capacidades máximas de producción en función de los moldes y el espacio disponible en la planta, lo que permite generar cronogramas más realistas y mejorar la precisión en el montaje, reduciendo riesgos y errores.
- Reducción y control del número de piezas prefabricadas: Simplificar los elementos prefabricados combinando componentes incrementa la eficiencia y reduce los costos operativos.
- Optimización del apilamiento de elementos en el patio y transporte: Colocar los elementos prefabricados en el orden de montaje dentro del tráiler, con las piezas que se utilizarán primero en la parte inferior, minimiza el uso de grúas y optimiza el tiempo y esfuerzo en el montaje.
- Chequeos constantes del cronograma general: Es crucial revisar periódicamente las actividades de montaje y ajustar los tiempos de inicio de tareas según sus predecesoras. Esto facilita el control y seguimiento del proyecto, permitiendo detectar y corregir errores a tiempo, mejorando la coordinación y evitando retrasos.

Las buenas prácticas implementadas en PC incluyen el manejo de dos cronogramas (ideal y contractual), la centralización de la información, el control de cambios en el montaje, la optimización de recursos y la planificación de la producción basada en la capacidad de los moldes. Estas prácticas aseguraban eficiencia, coordinación y cumplimiento de plazos en sus proyectos.

Por otro lado, Escosa, reconocida por su enfoque en soluciones estructurales prefabricadas como vigas y columnas, ha logrado un fuerte posicionamiento en la industria debido a su atención a la calidad y eficiencia en la planificación y programación. Las buenas prácticas de Escosa incluyen la identificación de elementos mediante códigos, la coordinación de grúas para un montaje preciso y la optimización de la secuencia de montaje. Además, se destaca la correcta organización del sitio de trabajo, el cálculo de capacidades de producción, la reducción de piezas prefabricadas y el control periódico de los cronogramas.

En conclusión, ambas empresas, a través de la implementación de buenas prácticas en planificación y programación, lograron optimizar el tiempo de ejecución, mejorar la seguridad y reducir costos. Su enfoque en la eficiencia y organización ha sido clave para su consolidación en el sector de prefabricados.

3.3 Diseño de procedimientos de planificación y programación

Con base en el análisis de oportunidades de mejoras visto anteriormente y con el fin de abarcar el objetivo tres de diseñar un procedimiento con base en los requerimientos de la empresa para la planificación y programación integral de los procesos de producción y montaje, se propone un replanteamiento del proceso y herramientas utilizadas para la planificación y programación de piezas, abarcando los hallazgos encontrados mediante la observación directa y las encuestas, además de la implementación de las buenas prácticas utilizadas en empresas constructoras con el mismo enfoque del sistema constructivo.

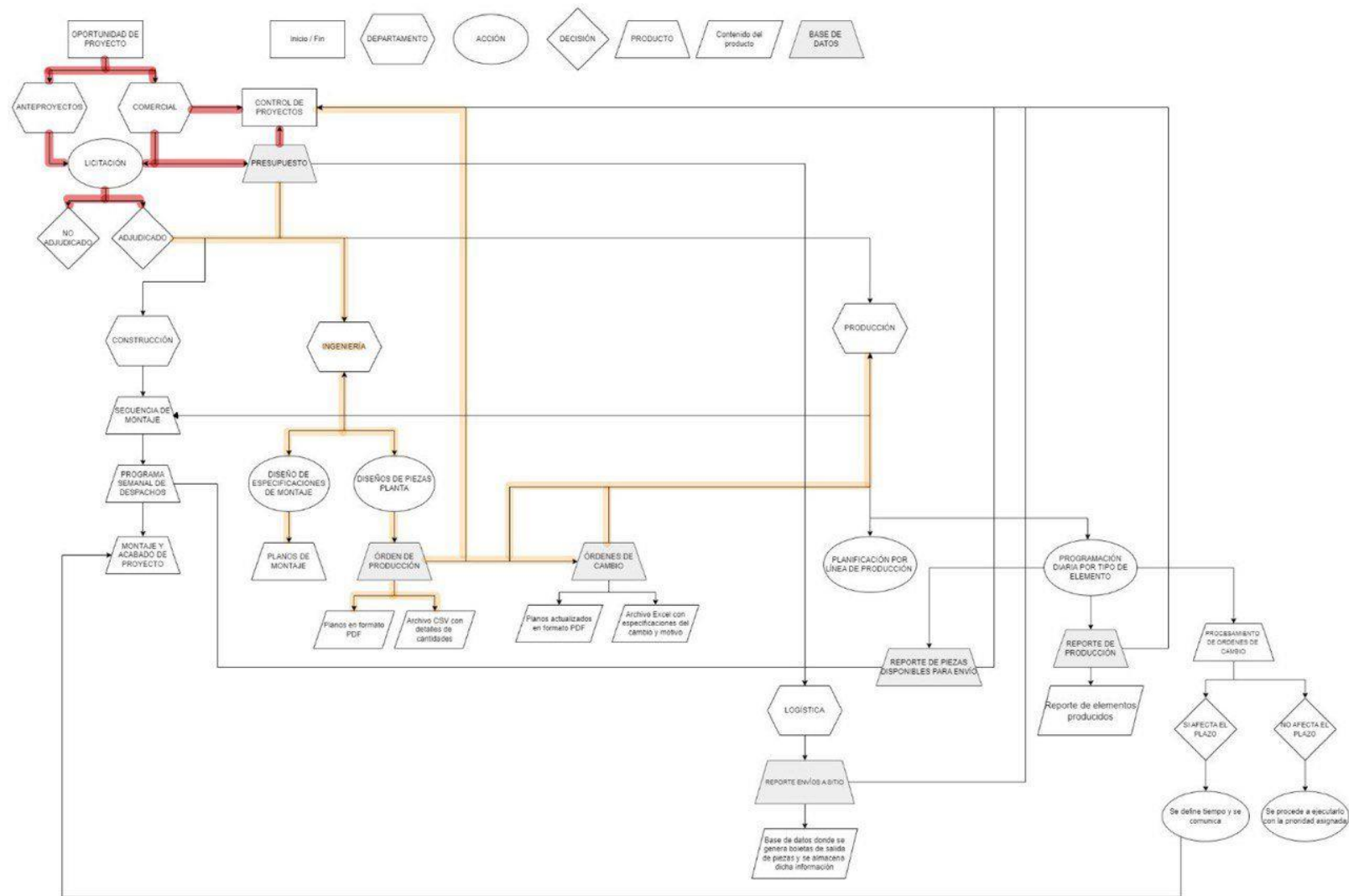
3.3.1 Especificaciones detalladas del procedimiento para la planificación integral.

En cuanto a las especificaciones detalladas del procedimiento, se identificaron dos enfoques clave. El primero es el flujo de información entre departamentos y la secuencia integral de este proceso. El segundo enfoque se centra en la ruta crítica de los proyectos, la cual, como se mencionó anteriormente, está vinculada a la producción de los elementos prefabricados. Este aspecto es crucial, ya que cualquier retraso en la producción puede impactar significativamente el avance del proyecto.

Flujo de información integral para la planificación y programación

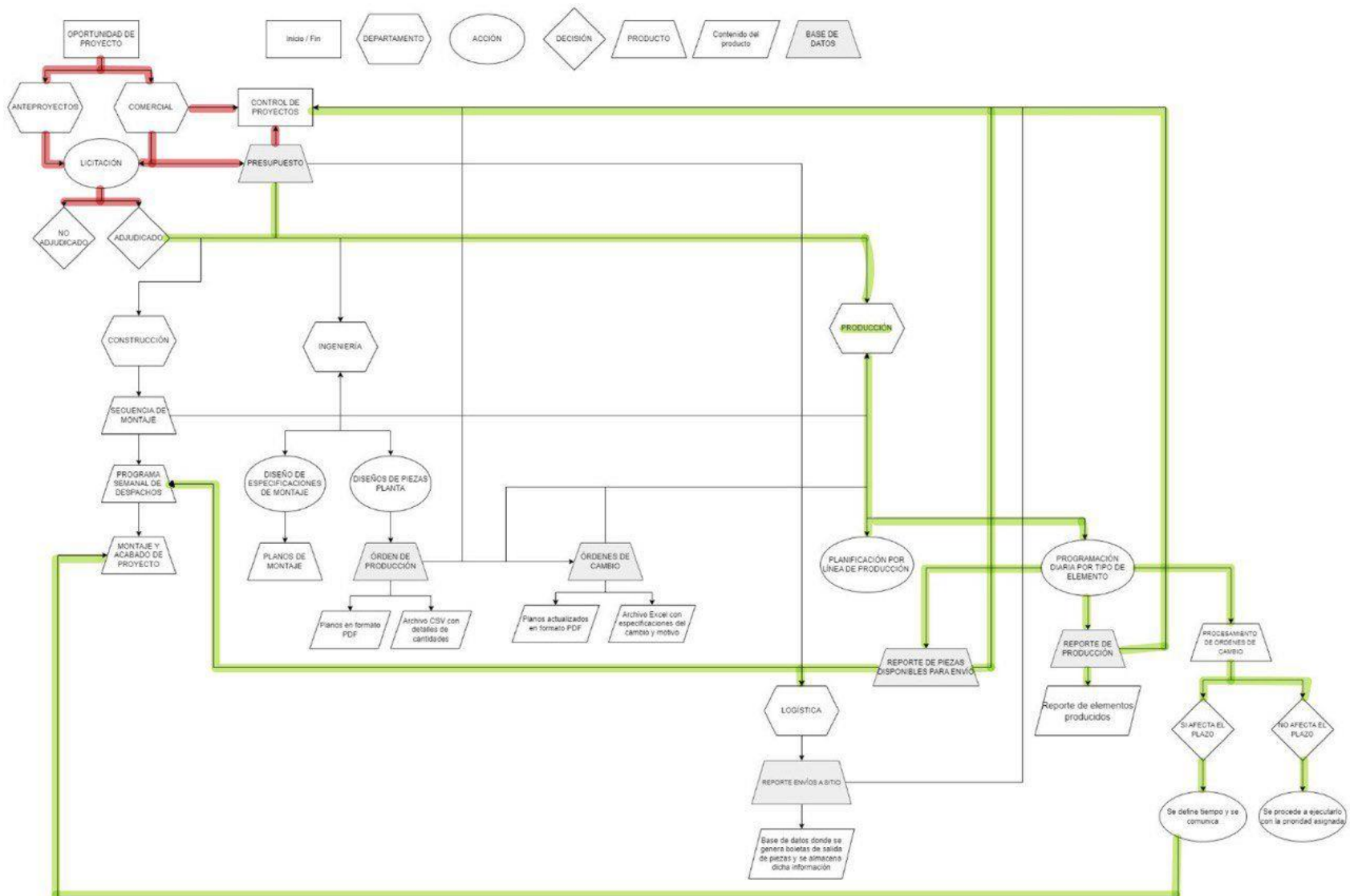
El nuevo procedimiento para la planificación integral de la construcción en prefabricados detalla especificaciones clave. Este incluye un flujo de información estructurado en secuencias adecuadas, que abarca los procesos, la gestión de información y la generación de datos históricos y en tiempo real, orientados a la toma de decisiones. Para comenzar, en las figuras a continuación se tiene el diagrama de flujo propuesto para el proceso de planificación, donde se integra toda la información de manera que cada departamento pueda tener una visual de las necesidades del proyecto como tal, donde se delimitan las bases de datos fundamentales que se deben alimentar mediante un proceso definido posteriormente con el fin de asegurar la calidad de la información, la cual nos va a generar el avance del proyecto.

Figura 19. Propuesta de diagrama de flujo de proceso para la construcción en prefabricados (ingeniería)



Nota: Elaboración propia

Figura 20. Propuesta de diagrama de flujo de proceso para la construcción en prefabricados (producción)



Nota: Elaboración propia

Proceso de planificación y programación integral para la producción y el montaje de elementos prefabricados de la empresa constructora Holcim Modular Solutions

Los diagramas de flujo muestran un esquema detallado del proceso de planificación y ejecución de proyectos de construcción con elementos prefabricados, donde se integran los diferentes departamentos (Comercial, Ingeniería, Producción, Construcción y Logística) para asegurar una secuencia de trabajo fluida y optimizada. A continuación, se presenta un análisis de este, destacando su contribución a la planificación y la visualización del avance de obra.

Los diagrama presenta una secuencia de flujo estructurada y coherente, comenzando con la identificación de la oportunidad de proyecto y avanzando de manera clara desde la licitación y adjudicación, pasando por los departamentos clave involucrados (Comercial, Ingeniería, Producción, Logística y Construcción). La interacción entre estos departamentos garantiza que los proyectos sigan un orden lógico, alineando cada fase con los objetivos generales del cronograma. Esta fase inicial, donde comercial interactúa con los departamentos operativos, permite la planificación temprana de actividades clave y la identificación de los recursos necesarios para cumplir con los plazos establecidos.

Desde el inicio, existe una interacción integral entre los departamentos de Construcción, Ingeniería, Producción y Logística, quienes se involucran en la planificación de la secuencia de montaje. Esto garantiza una sincronización eficaz entre el diseño, la producción de piezas y su eventual montaje, lo cual es fundamental para la planificación y programación. Al involucrar a todos los departamentos desde el principio, se obtiene una visión anticipada del estado del proyecto, facilitando el seguimiento y ajuste en tiempo real del cronograma.

El proceso se inicia con la oportunidad del proyecto, que es gestionada por el departamento Comercial y Anteproyectos, encargados de licitar y generar el presupuesto. Una vez adjudicado, los departamentos clave se coordinan para ejecutar el proyecto. El departamento de Construcción define la secuencia de montaje de acuerdo con las necesidades del sitio, transmitiendo esta información a Ingeniería, Producción y Logística para garantizar un flujo de trabajo eficiente.

A partir de la secuencia de montaje, se inicia el diseño estructural junto con los planos de taller de cada elemento. Estos documentos se gestionan en formato PDF, complementados con archivos Excel que contienen detalles importantes para el control dentro de la base de datos. Tanto las órdenes de producción como las órdenes de cambio se almacenan en distintas bases de datos, lo que permite un control detallado de su estado. Las órdenes de cambio se priorizan según su impacto en el proyecto, asegurando que cualquier afectación en los plazos acordados o fechas comprometidas sea comunicada con anticipación.

Existe un control centralizado de órdenes de producción y cambios, lo que permite un monitoreo detallado del estado de cada pieza. Este sistema garantiza que los cambios se gestionen de manera transparente y se evalúe su impacto en los plazos de entrega. Este enfoque facilita una programación más precisa y ajustes rápidos en caso de modificaciones de diseño, contribuyendo también a la identificación de problemas recurrentes para mejorar la planificación en futuros proyectos.

Una vez consolidadas las órdenes de producción, estas pasan a la ruta crítica, que implica la planificación y programación detallada de las actividades en producción. A través de un cronograma de Gantt, se desglosa un programa específico por tipo de pieza acorde a la secuencia de montaje. El diagrama también

indica una programación diaria por tipo de elemento, optimizando los recursos de la planta y priorizando la producción de elementos críticos. Se implementa un reporte de producción y un reporte de piezas disponibles para envío, lo que facilita la coordinación de despachos y minimiza retrasos en la planta.

Este sistema de reportes permite a Logística visualizar el estado de cada pieza y optimizar el proceso de envío, evitando cuellos de botella y generando un historial de rendimientos que dura una pieza en darle el acabado final para encontrarse disponible para envío, lo cual mejora la eficiencia en proyectos futuros. Además, la programación detallada por tipo de pieza proporciona una visualización clara de los elementos listos para ser enviados al sitio, lo que facilita la coordinación con el equipo de montaje y ajusta el plan de despachos.

Por último, el departamento Comercial, que conoce el alcance, plazo y costo del proyecto, debe contar con una visualización del avance para la toma de decisiones. El acceso en tiempo real a la base de datos que muestra el progreso en las diferentes etapas de construcción permite al equipo Comercial responder rápidamente a cualquier solicitud o negociación con el cliente, mejorando la capacidad de gestión y satisfacción del cliente.

Concisamente, este diagrama de flujo ofrece una estructura altamente eficiente para la planificación y ejecución de proyectos con elementos prefabricados, integrando a todos los departamentos clave desde las primeras etapas del proyecto hasta su finalización, lo que facilita la toma de decisiones informadas y la optimización de los recursos.

Cronograma ruta crítica: Diagrama de Gantt

Para mejorar el flujo de trabajo, el diagrama establece que la etapa de producción de las piezas representa la ruta crítica del proyecto, funcionando como el eje central que conecta a todos los demás departamentos. Por ello, es fundamental alinear esta fase con un cronograma preciso, lo cual permite sincronizar el cronograma de ingeniería con los requerimientos de la planta y sus líneas productivas en función de la capacidad máxima. A partir de esta planificación, se determina la cantidad de piezas a producir en un tiempo específico, de acuerdo con los requisitos del montaje en sitio.

En caso de que surjan retrasos en la entrega de órdenes de producción de ingeniería, estas pueden adaptarse a los requerimientos de sitio, los cuales presentan una mayor flexibilidad. Sin embargo, cualquier modificación en los plazos de producción, ya sea una extensión o reducción del tiempo, debe ser atendida y optimizada dentro de la planta para asegurar el cumplimiento de los requerimientos del proyecto.

El cronograma de producción, considerado como la ruta crítica, regula tanto la llegada de órdenes de producción desde el departamento de Ingeniería como el cumplimiento de las entregas de piezas en el sitio de construcción. Al centrarse en esta ruta crítica, se logra una proyección más precisa de las fechas de entrega de los planos y de los envíos de piezas, lo que facilita la coordinación entre los tres departamentos involucrados: Ingeniería, Producción y Construcción. Esto garantiza un flujo de actividades ordenado y una mejor alineación con los plazos del proyecto.

Para asegurar un margen adecuado en el montaje, se parte de datos fundamentales proporcionados por el departamento de Construcción, como la secuencia de montaje y la fecha de ingreso al sitio y fin del montaje. De este modo, se garantiza que el 80% de las piezas estén producidas antes de su llegada, lo que brinda un margen de seguridad para cumplir con los requisitos del montaje una vez que se circulen los cronogramas de despachos, por lo tanto, en los cronogramas, tanto el contractual como el ideal, se visualiza el detalle diario de las cantidades de elementos destinados al departamento de ingeniería y producción, a la vez que se visualiza el tiempo en sitio de construcción con el montaje, lo cual permite medir que los dos primeros departamentos mencionados terminen su parte de la operación antes del fin del montaje. .

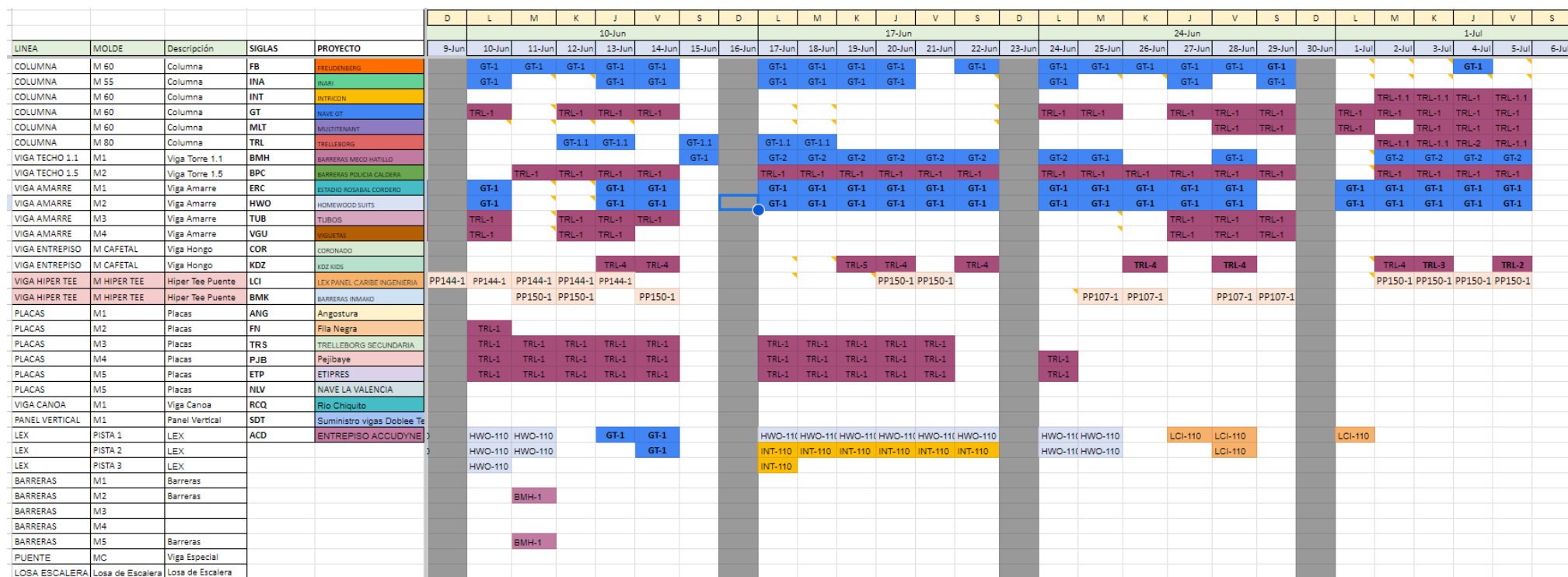
Basándose en las buenas prácticas, se propone la utilización de dos cronogramas: uno ideal y otro contractual, ambos complementarios. El cronograma ideal ha sido ajustado para proporcionar un nivel de detalle diario en función de la capacidad máxima de la planta, considerando la cantidad de moldes disponibles, a diferencia del cronograma actual, que organiza la producción semanalmente por proyecto y tipo de elemento. El cronograma de producción (ruta crítica) propuesto en la figura 22 desglosa la producción diaria por moldes, asignando un código de proyecto y utilizando colores específicos para visualizar la ocupación de las líneas productivas. Esto permite observar fácilmente la saturación semanal o mensual de la planta.

Este cronograma también está en formato tabular (ver apéndice 1), permitiendo realizar análisis de datos y evaluar diferentes escenarios, como el cronograma contractual. En este último, como se visualiza en la figura 23 se suma una holgura de tres días a cada elemento, basándose en la experiencia, lo que otorga suficiente tiempo para reajustar el programa en caso de imprevistos. Las holguras se gestionan principalmente aumentando el uso de líneas productivas, reutilizando piezas o incrementando la producción diaria, incluso incluyendo turnos de producción los sábados, aunque estos no estén considerados en los cronogramas.

El cronograma de producción, alineado con la fecha de ingreso al sitio, genera a su vez requerimientos para el departamento de Ingeniería, que debe ajustarse a la capacidad de la planta y la secuencia de montaje, lo cual se refleja en la figura 24 de cronograma ideal (interno) general por departamento. Según la experiencia recogida en las entrevistas, se establece que los planos de taller de cada pieza deben ser entregados seis días antes de la fecha de producción, considerando tres días para el uso del molde, un día para el proceso de materiales (corte y doblado de aros y varillas), y entre uno y dos días para el armado de la pieza.

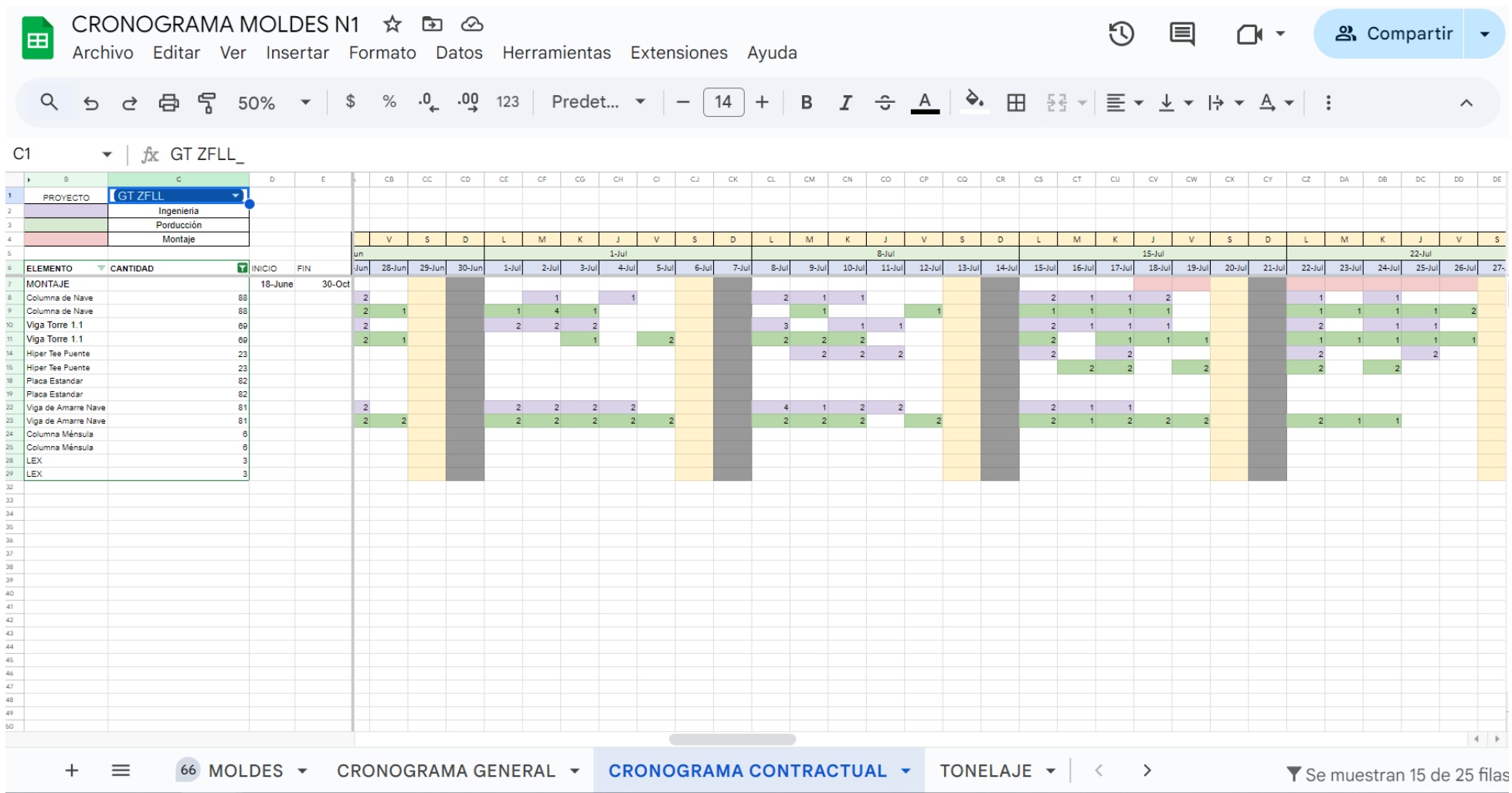
De esta forma, en un solo archivo, alimentado una sola vez, se generan los cronogramas contractuales (figura 23) e ideales (figura 24) por proyecto, integrando los departamentos de Ingeniería y Producción con base en la fecha de inicio en el sitio y la secuencia de montaje, la cual se refleja en el programa una vez se empiecen a generar los programas de despachos, lo cual de empieza a visualizar en el cronograma ideal generado. Este archivo se utiliza posteriormente para comparar lo planificado con lo real, evaluando la recepción de órdenes de producción y las piezas producidas, y determinando así los porcentajes de adelanto o atraso del proyecto.

Figura 22. Cronograma de producción basado en las capacidades máximas de la planta.



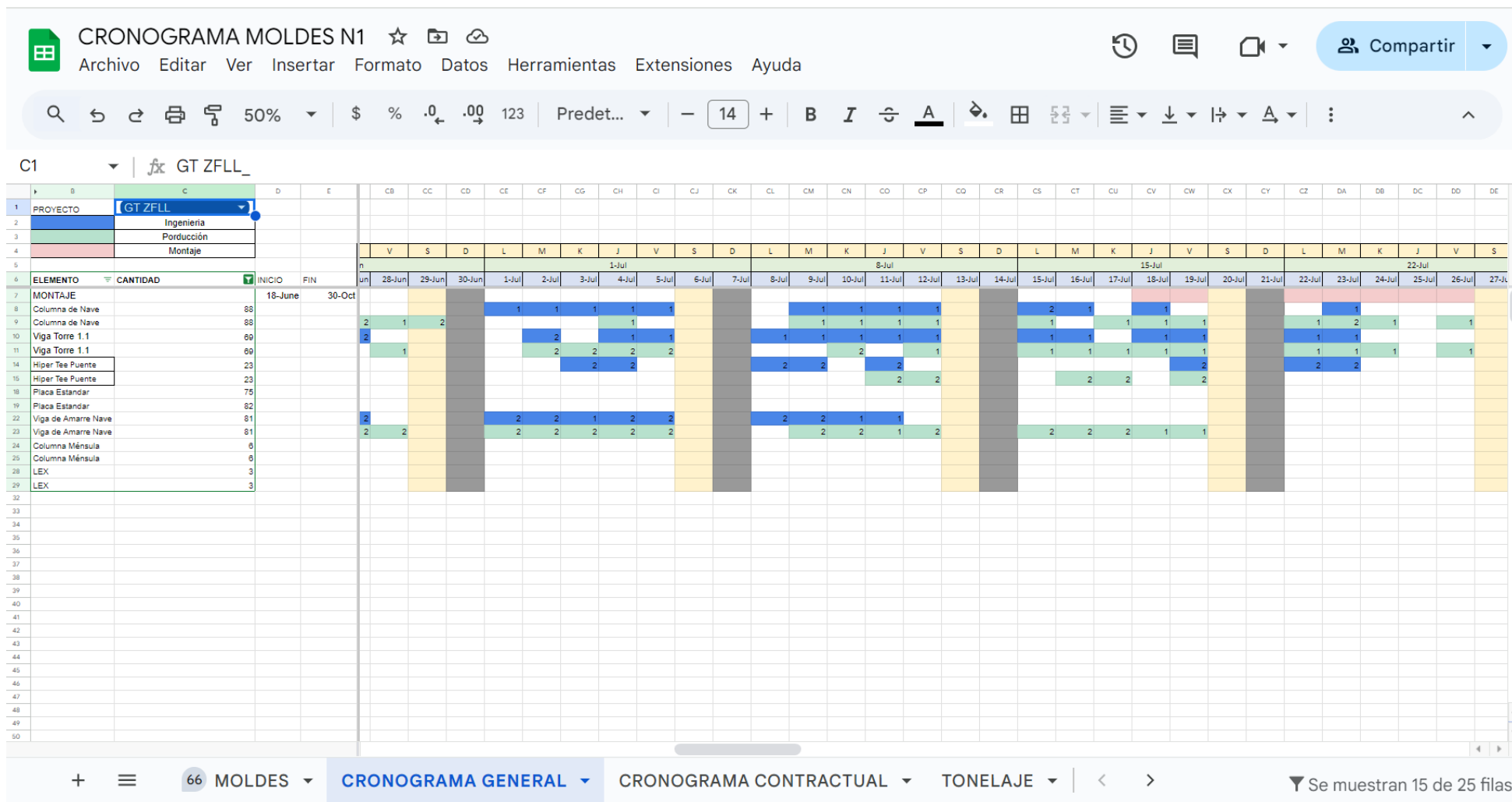
Nota: Elaboración propia

Figura 23. Cronograma contractual



Nota: Elaboración propia

Figura 24. Cronograma ideal o interno



Nota: Elaboración propia.

3.3.2 Prototipo o versión inicial de la herramienta diseñada.

En cuanto al prototipo de la herramienta, esta se relaciona con el análisis y visualización del avance de cada proyecto, donde se centraliza en tener un panorama del avance del proyecto en cada una de las etapas, de la mano con un seguimiento de los cronogramas antes mencionados. Esto con el fin que dentro de la planificación y programación se puede priorizar elementos en las diferentes líneas productivas de acuerdo con los mismos avances o requerimientos en sitio.

Asimismo, las órdenes de cambio (OC) son un paso crítico dentro del proceso, donde se puede ver afectado el plazo del cronograma, es por ello que la herramienta busca gestionar adecuadamente dichas órdenes de cambio, definiendo el estado de producción de la pieza cuando ingresa dicha OC con el fin de ver las repercusiones que esta tiene sobre la pieza y el compromiso de montaje.

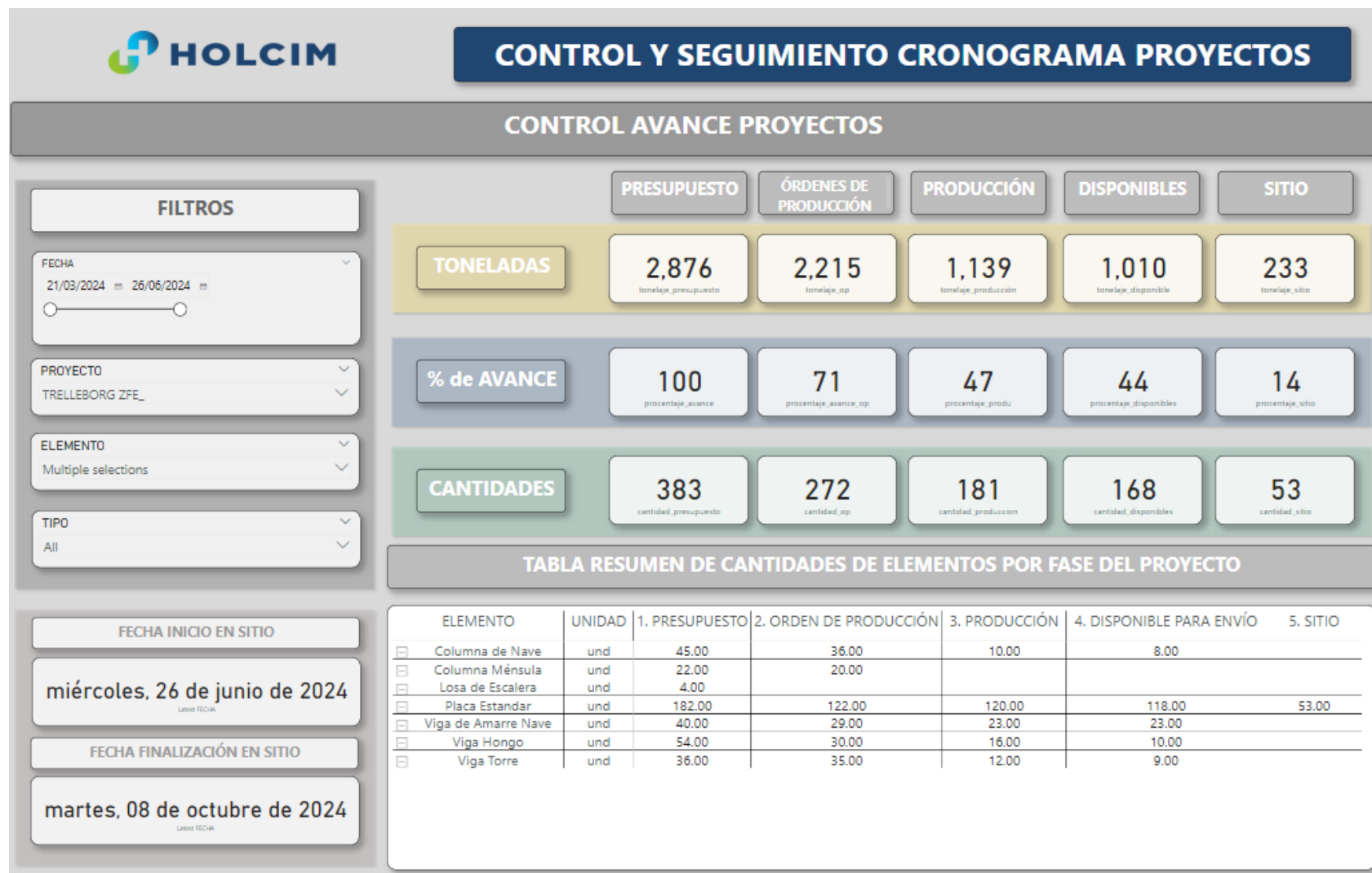
De manera similar, se optimiza la problemática de la carga de piezas, donde el programa de despachos se genera de una manera automática para tener un visual de las piezas y una vez el ingeniero de sitio realice el programa semanal pueda tener una visualización en tiempo real de las piezas, pudiendo tomar decisiones. A la vez que los demás departamentos van a tener un visual de dicho programa para dado el caso que se necesite reasignar prioridades.

Además, con la herramienta se pretende generar un análisis de visualización eficiente de datos históricos de proyectos, donde se puedan evaluar tendencias de las órdenes de cambio, capacidades máximas de producción de la planta, máximos y mínimos de órdenes de producción procesadas en un periodo de tiempo, cantidad de órdenes de cambio con respecto a la ordenes de producción, tiempo que se tarda cada tipo de elemento en salir de molde y estar lista para envío. Esto con el objetivo de canalizar los puntos de mejora en cada etapa y rendimientos de cada equipo de trabajo, donde con esta información se conoce los puntos clave a optimizar para mejorar el ciclo del proceso como tal.

Control de proyecto y seguimiento de cronograma

Para el control de proyectos y el seguimiento del cronograma, es fundamental disponer de información en tiempo real, ya que permite tomar decisiones oportunas en la planificación y programación para cumplir con los plazos establecidos desde el inicio. En la construcción con elementos prefabricados, una de las características principales es la rapidez de instalación en el sitio, lo que hace que la planificación previa sea esencial. En esta etapa se define la ruta crítica del proyecto, de manera que cualquier retraso en esta línea impacta directamente el cronograma general. Por ello, es indispensable contar con una visualización clara del progreso del proyecto, lo cual permite optimizar el uso de los recursos. En la figura 25 se muestra un prototipo de la herramienta de planificación, diseñada para centralizar y visualizar el control del avance en las distintas fases o departamentos que contribuyen al resultado final.

Figura 25. Herramienta de control de avance de proyectos en ejecución

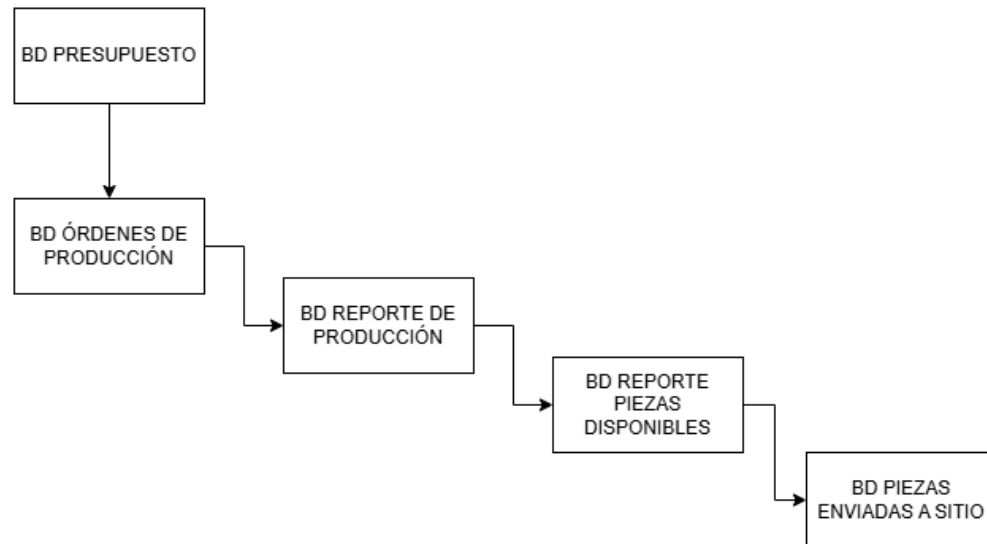


Nota: Elaboración propia.

El propósito de esta herramienta es optimizar el proceso de planificación y programación mediante una gestión electrónica de datos que permita la creación de bases de datos funcionales para el control del proyecto, facilitando así la toma de decisiones de planificación. Para generar el dashboard mostrado en la figura 25, se desarrolló un proceso de gestión de datos que aprovecha las fortalezas y buenas prácticas ya existentes, al tiempo que aborda las áreas de mejora identificadas.

En la figura 26 se presenta un sistema de bases de datos simplificado que integra el presupuesto, documento clave para reflejar el porcentaje de avance en cada etapa. Aunque el presupuesto se basa en supuestos, en algunos proyectos pueden surgir variaciones debido a cambios en la cantidad de piezas causados por modificaciones en el diseño estructural. Esta herramienta ofrece una visión clara de las piezas que deben planificarse y permite detectar alertas ante variaciones significativas entre las órdenes de producción y el presupuesto, así como identificar ahorros potenciales en el proyecto.

Figura 26. Sistema de base de datos integral simplificado para control de avance de proyectos



Nota: Elaboración propia.

Además, se conservaron las bases de datos de órdenes de producción (figura 14) y de reportes de producción (figura 15), necesarias para organizar tanto las piezas pendientes como las ya fabricadas. Sin embargo, se observó la falta de visualización de las piezas listas para envío, lo que generaba un cuello de botella en logística al momento de programar cargas, ya que no había certeza sobre si el acabado final de las piezas estaba completo.

Para resolver este problema, se creó el reporte de piezas disponibles (figura 27), donde cada responsable valida que una pieza esté terminada y lista para su envío. Este reporte se digitaliza en la base de datos, lo que no solo reduce el cuello de botella logístico, sino que también garantiza una práctica óptima en el proceso de planificación y programación: verificar la calidad de las piezas antes de enviarlas al sitio.

Dado que el montaje debe ser rápido, estas piezas deben cumplir con las especificaciones de los planos y tener un acabado de calidad para su instalación directa.

Para optimizar el flujo de información y garantizar que los datos respondan a las necesidades de cada etapa o departamento, el programa de logística y despachos (figura 16) se actualizó para conectarse con el reporte de piezas disponibles en lugar del reporte de producción. Esto facilita una visualización clara de los elementos listos para ser cargados y enviados, minimizando los tiempos de carga y permitiendo realizar más viajes diarios al sitio. Como resultado, se acelera el montaje y se maximizan los recursos, evitando tiempos muertos tanto en el sitio de construcción como en la planta de producción.

Simplificando y dirigiendo adecuadamente el proceso de gestión de información, se ha logrado una herramienta altamente funcional para la recopilación y análisis de datos en la planificación. Esta herramienta no solo aprovecha las fortalezas de las herramientas actualmente en uso, sino que centraliza la gestión de manera que ofrece una visión clara y confiable para la planificación y programación de proyectos. Una ventaja significativa de esta herramienta es que conserva los archivos de entrada de datos y el personal encargado de esta tarea cuenta con varios años de experiencia en el lugar de trabajo, lo que garantiza la calidad de los datos ingresados. Este factor es esencial en un sistema de gestión electrónica de datos, ya que asegura la confiabilidad de los avances reportados y la precisión en la toma de decisiones.

La funcionalidad de esta herramienta se destaca por su diseño intuitivo y el uso de filtros estratégicos que mejoran la toma de decisiones y optimizan el proceso de planificación. En la parte superior izquierda, se encuentran los filtros esenciales para el análisis, en primer lugar, el filtro de fecha, el cual permite evaluar o monitorear los avances hasta una fecha específica, o bien, medir el progreso de diferentes proyectos en un período determinado, ya sea semanal o mensual. Esto facilita una revisión detallada y ajustada al marco temporal que se requiera. El filtro de proyectos muestra únicamente los proyectos en ejecución. Al seleccionar un proyecto, se visualizan su fecha de inicio y de finalización de montaje, así como el avance detallado por cada departamento. Esta información es clave para establecer prioridades, ya que permite identificar qué proyectos requieren mayor atención en función de sus fechas de ingreso y salida del sitio. Los filtros de elemento y tipo son sumamente útiles para evaluar el rendimiento de cada línea productiva por departamento dentro de un período específico. Además, ofrecen una visión de las líneas con mayor saturación, lo cual resulta crítico en caso de estar considerando una oferta para un elemento de una línea productiva saturada, ya que permite ajustar los plazos ofrecidos al cliente con mayor precisión.

Figura 27. Reporte de piezas disponibles para envío

 Planta de Prefabricado Pesado Programas de Producción Fecha de actualización 25 de Octubre del 2024 F4 09:55:23 p. m. CyD Planta CyD										17/10/2024			
Fecha	Proyecto	Nivel	Elemento	Tipo	Cantidad	Peso total (Ton)	Volumen planos	F'c final	Longitud (M)	Color	Marchamo	Ciclo	Fecha marchamo
27/08/24	Multitenant 3 ZFLL		Columna de Nave	2055	1	5.91	2.201	350	9.93		3094		16/10/2024
28/08/24	Multitenant 3 ZFLL		Columna de Nave	2055	1	5.91	2.201	350	9.93		2931		16/10/2024
28/08/24	Multitenant 3 ZFLL		Columna de Nave	2055	1	5.91	2.201	350	9.93		2932		16/10/2024
28/08/24	Multitenant 3 ZFLL		Columna de Nave	2055	1	5.91	2.201	350	9.93		2882		16/10/2024
30/08/24	Multitenant 3 ZFLL		Columna de Nave	2055	1	5.91	2.201	350	9.93		3093		16/10/2024
30/08/24	Multitenant 3 ZFLL		Columna de Nave	2055	1	5.91	2.201	350	9.93		2934		16/10/2024
30/08/24	Multitenant 3 ZFLL		Columna de Nave	2055	1	5.91	2.201	350	9.93		2933		16/10/2024
12/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Viga de Amarre Nave	3038	1	4.83	1.91	350	11.1		3206		15/10/2024
25/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5002	1	3.13	1.28	700	8.62		3203		16/10/2024
25/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5003	1	3.47	1.42	700	8.62		3181		17/10/2024
25/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5003	1	3.47	1.42	700	8.62		3182		17/10/2024
23/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5001	1	3.66	1.5	700	8.62		3121		16/10/2024
25/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5003	1	3.47	1.42	700	8.62		3184		17/10/2024
23/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5001	1	3.66	1.5	700	8.62		3122		17/10/2024
23/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5001	1	3.66	1.5	700	8.62		3123		17/10/2024
25/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5001	1	3.66	1.5	700	8.62		3201		17/10/2024
26/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5003	1	3.47	1.42	700	8.62		3124		16/10/2024
26/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5003	1	3.47	1.42	700	8.62		3125		16/10/2024
23/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5001	1	3.66	1.5	700	8.62		3185		17/10/2024
26/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5003	1	3.47	1.42	700	8.62		3183		17/10/2024
28/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5003	1	3.47	1.42	700	8.62		3205		16/10/2024
28/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5003	1	3.47	1.42	700	8.62		3204		16/10/2024
28/09/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5003	1	3.47	1.42	700	8.62		3202		16/10/2024
20/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Viga de Amarre Nave	3001	1	4.76	1.89	350	10.99		3207		15/10/2024
21/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Columna de Nave	2049	1	5.39	2.01	350	9.3		2917		16/10/2024
26/09/24	Multitenant 3 ZFLL		Viga de Amarre Nave	3009	1	4.83	1.91	350	11.1		3152		15/10/2024
28/09/24	ETIPRESS ZFE		Viga de Amarre Nave	3101	1	4.43	1.72	350	10.08		3209		15/10/2024
30/09/24	ETIPRESS ZFE		Viga de Amarre Nave	3101	1	4.43	1.72	350	10.08		3208		15/10/2024
01/10/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5004	1	2.66	1.08	700	8.62		3186		17/10/2024
30/09/24	ETIPRESS ZFE		Columna Ménsula	2014	1	3.40	1.27	700	5.51		3210		15/10/2024
02/10/24	ETIPRESS ZFE		Columna Ménsula	2003	1	1.23	0.25	700	9.23		2918		15/10/2024
02/10/24	ETIPRESS ZFE		Columna Ménsula	2014	1	3.40	1.27	700	5.51		3142		15/10/2024
03/10/24	ETIPRESS ZFE		Columna Ménsula	2003	1	1.23	0.25	700	9.23		3156		15/10/2024
03/10/24	ETIPRESS ZFE		Columna Ménsula	2014	1	3.40	1.27	700	5.51		3143		15/10/2024
04/10/24	ETIPRESS ZFE		Columna Ménsula	2003	1	1.23	0.25	700	9.23		3154		15/10/2024
04/10/24	ETIPRESS ZFE		Columna Ménsula	2014	1	3.40	1.27	700	5.51		3144		15/10/2024
07/10/24	ETIPRESS ZFE		Columna Ménsula	2014	1	3.40	1.27	700	5.51		2925		15/10/2024
10/10/24	ETIPRESS ZFE		Columna Ménsula	2014	1	3.40	1.27	700	5.51		3141		15/10/2024
11/10/24	ETIPRESS ZFE		Columna Ménsula	2014	1	3.40	1.27	700	5.51		3145		15/10/2024
15/10/24	ETIPRESS ZFE		Columna Ménsula	2014	1	3.40	1.27	700	5.51		3180		16/10/2024
03/10/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5019	1	3.39	1.39	700	8.93		3134		16/10/2024
03/10/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5020	1	3.51	1.44	700	9.209		3133		10/10/2024
03/10/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5021	1	3.97	1.63	700	9.49		3095		16/10/2024
03/10/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5022	1	4.09	1.68	700	9.49		3135		10/10/2024
03/10/24	J LA VALENCIA		Panel Vertical de Ventana	5023	1	4.21	1.73	700	9.49		3137		10/10/2024
09/10/24	Multitenant 3 ZFLL		Columna de Nave	2001	1	5.40	2.02	350	9.3		3171		16/10/2024
10/10/24	Multitenant 3 ZFLL		Columna de Nave	2002	1	5.40	2.02	350	9.3		3172		16/10/2024

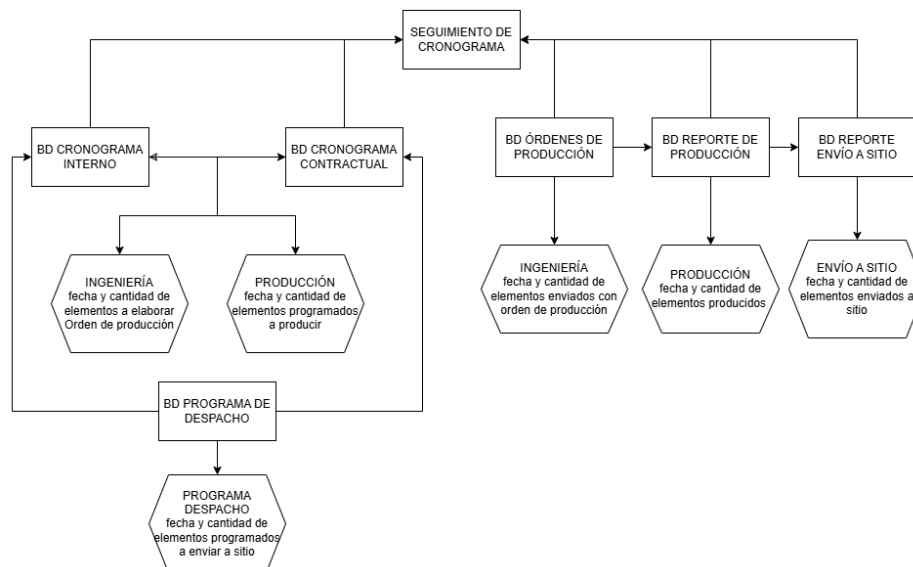
Nota: Holcim Modular Solutions, 2024

Si bien es indispensable contar con un control del avance del proyecto, es aún más fundamental disponer de una herramienta que permita medir lo planificado contra lo real. Esto facilita el seguimiento del cronograma establecido, permitiendo identificar adelantos o retrasos actuales, como se muestra en la herramienta de la figura 29. Su propósito es dar seguimiento a los avances del proyecto y señalar áreas o etapas que enfrentan dificultades.

Por ejemplo, si la fase de ingeniería presenta un desfase en el cronograma, se puede evaluar si la causa es la falta de recursos, como dibujantes para generar planos de montaje y piezas, o si un proyecto específico se encuentra retrasado debido a que sus recursos han sido reasignados a otro de menor prioridad. En el caso de producción, si surgen retrasos, la herramienta ayuda a detectarlos para proceder a revisar el cronograma y determinar si estos son producto de la capacidad de la planta, permitiendo tomar decisiones basadas en el presupuesto, como activar buffers de producción los sábados, reutilizar moldes, o fabricar moldes adicionales para ese elemento. También permite evaluar si el retraso es causado por una distribución inadecuada de las líneas productivas hacia proyectos de menor prioridad o con fechas de ingreso a sitio más lejanas.

Este *dashboard*, al igual que el anterior, cuenta con un sistema de gestión electrónica de datos que integra el cronograma, tanto interno como contractual, con los reportes de órdenes de producción, fase de producción y envíos a sitio, como se observa en la figura 28. Alimentado por estos datos y el programa semanal de despachos, ofrece una proyección clara y semanal de metas para cada departamento, facilitando la asignación de recursos necesarios para cumplir el cronograma. Además, permite tomar decisiones anticipadas cuando se detectan imprevistos que puedan afectar las fechas de entrega de cada departamento.

Figura 28. Sistema de base de datos integral para seguimiento de cumplimiento de cronograma



Nota: Elaboración propia.

La herramienta proporciona un panorama integral de planificación, por ejemplo, al establecer metas semanales para cada departamento. Si se anticipa que algún equipo no podrá cumplir con los plazos, se puede reasignar la prioridad a proyectos adelantados o ajustar el espacio de producción para recuperar cualquier retraso. Este enfoque permite priorizar las rutas críticas de producción y montaje, garantizando la continuidad del cronograma mediante el monitoreo y ajuste constante.

El funcionamiento de la herramienta es intuitivo y visualmente claro. Permite ver el cronograma proyectado, incluyendo la cantidad de piezas programadas para producción, las ya producidas, y las de envío a sitio, comparándolas con los datos reales para mostrar el porcentaje de diferencia. Esta diferencia permite identificar retrasos, adelantos o cumplimientos en el cronograma.

Los filtros son fundamentales para maximizar el rendimiento de la herramienta, el filtro de categoría, permite elegir entre el cronograma interno o contractual. Si al analizar un proyecto se encuentra un desfase importante comparado con el cronograma interno, se puede hacer la comparación con el contractual. Si el desfase persiste, se puede tomar acción inmediata, aumentando las líneas de producción o reasignando recursos para asegurar el cumplimiento de los plazos establecidos. El filtro de fecha, es esencial para evaluar el progreso de cada proyecto hasta una fecha específica o revisar las metas de la semana para cada equipo de trabajo. Además, permite realizar análisis de tendencias y proyecciones en un periodo de tiempo, como revisar el cumplimiento del cronograma del mes anterior o analizar las próximas dos semanas para ajustar la cantidad de moldes y dar prioridad a los proyectos en curso.

Esta herramienta está diseñada para responder a la naturaleza dinámica de la construcción en prefabricados, donde la rapidez en la toma de decisiones es clave para la planificación y programación de las etapas previas al montaje. Al ofrecer una visión completa y organizada, facilita una distribución óptima de los elementos en las líneas de producción y asegura la correcta asignación de recursos desde la fase de diseño.

Figura 29. Herramienta de seguimiento de cumplimiento de cronograma



Nota: Elaboración propia

Control de priorización de Ordenes de Cambio

El control de órdenes de cambio es fundamental, ya que estas tienden a generar reprocesos que pueden ocasionar retrasos significativos. Esto es especialmente crítico cuando una orden afecta una pieza clave para continuar con el montaje; por ejemplo, si afecta una viga de techo que debe instalarse siguiendo la secuencia de montaje marco por marco. En tal caso, un retraso en esa viga paralizaría el proceso, ya que sin su colocación no se puede avanzar con otros elementos.

La herramienta presentada en la figura 32 está diseñada para monitorear en tiempo real las fechas de entrada de órdenes de cambio para las piezas a producir en planta. Esto es crucial, ya que la producción representa la ruta crítica del proceso de construcción en este sistema. La herramienta permite relacionar la fecha de ingreso de cada orden de cambio con el estatus actual de la pieza afectada, generando un sistema de semáforo que indica la prioridad de ejecución de cada cambio.

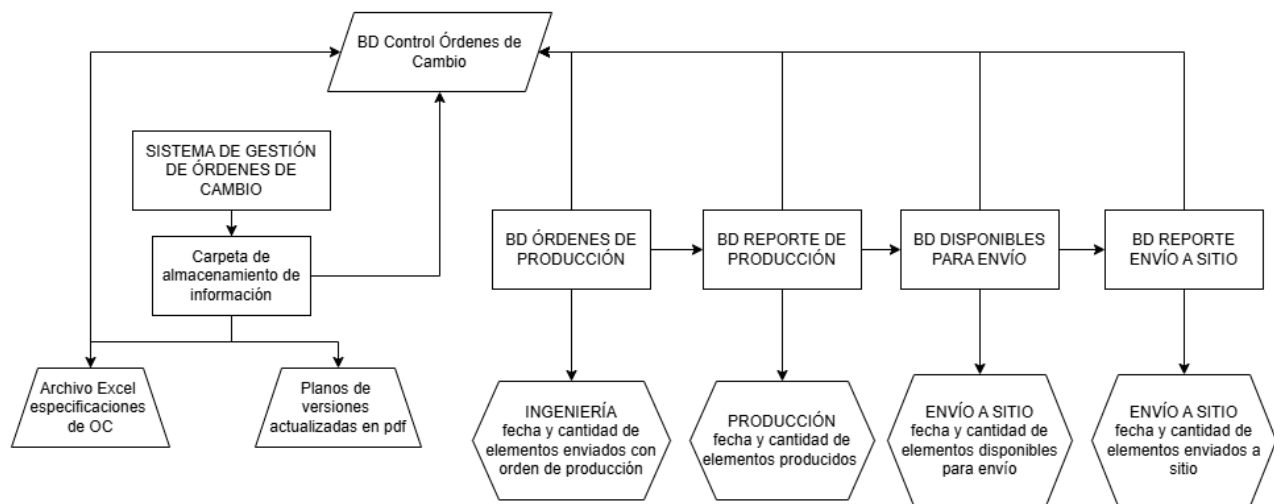
Si la pieza está en estado 'planificada', la orden de cambio se puede gestionar sin urgencia. Si la pieza ya se encuentra en producción y requiere un cambio de herrajes, ductos o gazas, estos pueden agregarse en el patio sin causar un retraso significativo, siempre y cuando el acabado final esté pendiente. Sin embargo, si el cambio requiere modificaciones en la geometría o armadura, esto sí generará un retraso considerable, ya que será necesario reprogramar la producción de la pieza o realizar ajustes mediante picado y colado en el área de almacenamiento.

En caso de que la orden de cambio afecte una pieza que ya esté en estado 'disponible', cualquier modificación de herrajes, ductos o gazas afectará el plazo acordado, ya que implica realizar movimientos adicionales para extraer la pieza almacenada y llevarla a un área de acabado, lo que requiere tiempo y la disponibilidad de grúas.

El escenario más crítico ocurre cuando la pieza ya está en el sitio de montaje. En este caso, aunque se haya cumplido el plazo de entrega, se debe evaluar cuidadosamente cómo ejecutar la orden de cambio, ya sea realizando el ajuste con la pieza montada o desinstalándola. La herramienta emite una alerta especial cuando la pieza está en sitio para facilitar la toma de decisiones.

Aunque la herramienta ofrece una interfaz intuitiva, cuenta con un sistema de gestión electrónica de datos en segundo plano. Este sistema incluye el almacenamiento organizado de información en carpetas compartidas con las versiones actualizadas de los planos y un documento Excel (figura 31) donde se detallan las órdenes de cambio. Estos datos se almacenan en una base de datos conectada a los reportes de órdenes de producción, fase de producción, piezas disponibles para envío y envíos a sitio, generando así la información de semáforo antes mencionada.

Figura 30. Sistema de gestión de datos para control de órdenes de cambio



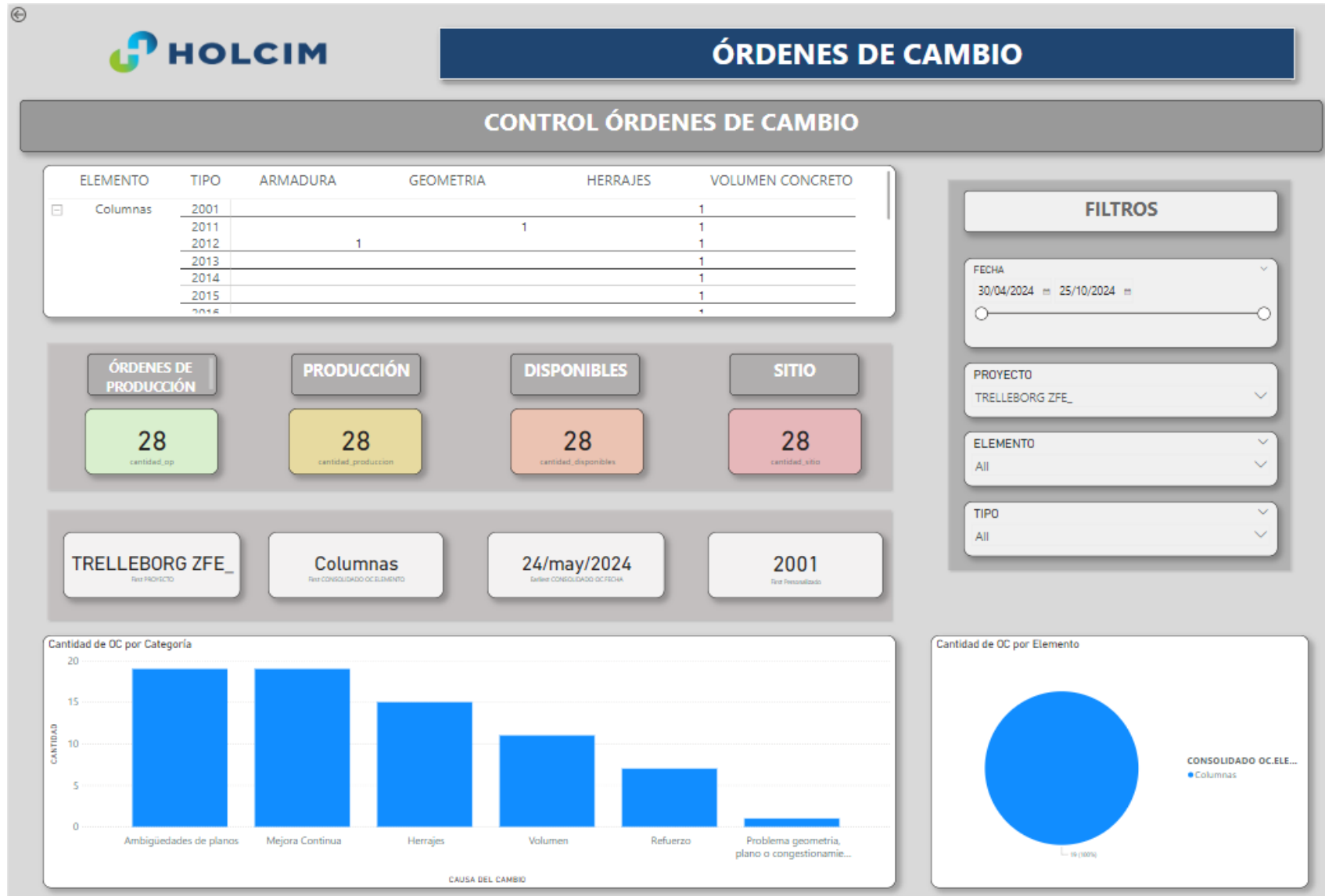
Nota: Elaboración propia.

Figura 31. Documento de orden de cambio

CONTROL DE CAMBIOS EN PROYECTOS PREFABRICADO PESADO		Versión 1	HOLCIM
CONTROL DE CAMBIO:			
Fecha de Propuesta para Cambio:		Código de proyecto:	
martes, 15 de octubre de 2024		1015	
INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO			
Nombre del Proyecto:		Solicitud de Cambio #14	
MULTITENANT 3			
Persona que solicita el cambio:			
☐ Ing. Construcción	☒ Ing. Producción	☐ Ing. Diseño	
Nombre y Firma:			
CAUSA DEL CAMBIO:			
☐ Solicitud Cliente	☐ Mejora Continua		
☒ Cambios Ingenieros de Diseño			
☐ Ambigüedades de planos	☐ Restricciones temporales de producción		
☐ Problema geometría, plano o congestionamiento			
ELEMENTO QUE AFECTA			
☐ Herrajes	☐ Moldes(laterales, separadores)		
☐ Refuerzo	☐ Gazas		
☐ Volumen	☐ Ductos		
DETALLE DEL CAMBIO POR REALIZAR:			
Descripción del cambio por realizar:			
1. Se debe cambiar el nombre de las siguientes columnas: 2003-2015, 2005-2019, 2009-2021, 2011-2025			
Justificación del cambio:			
Cambio del ing de diseño.			

Nota: Holcim Modular Solutions, 2024

Figura 32. Herramienta de control de órdenes de cambio



Nota: Elaboración propia.

La herramienta está diseñada para ser intuitiva, permitiendo al usuario gestionar eficientemente el control de cambios en las piezas, lo cual es crucial para la planificación y programación del proceso de producción y montaje de elementos prefabricados. En primer lugar, presenta una tabla de resumen que categoriza los elementos según el tipo de cambio: armadura, ductos, gazas, geometría o herrajes. Esto permite una visión clara y rápida de los ajustes necesarios.

El sistema de semáforo es una característica clave de la herramienta, ya que ofrece una visualización del estado de cada orden de cambio en relación con su impacto en los plazos de planificación. El color verde representa las órdenes de producción y significa que no afectan los plazos establecidos, mientras que el estado amarillo, correspondiente a la fase de producción, indica que se debe evaluar el tipo de cambio. Si el ajuste es menor, como en herrajes o ductos, puede completarse en la etapa de acabado, pero si implica cambios en la geometría o armado, es necesario reprogramar la producción. El estado de 'disponible' enciende alertas, ya que los cambios en piezas ya acabadas y almacenadas en el patio pueden exigir movimientos y ajustes que impactan el cronograma. Finalmente, el estado de 'sitio' representa la mayor prioridad, pues la pieza ya está en el proyecto y cualquier ajuste debe ser ejecutado de manera urgente para minimizar su impacto en la obra.

La herramienta incluye opciones de filtro por fecha, que permiten analizar los cambios en tiempo real. Al seleccionar la fecha actual, el usuario puede ver los elementos en cada fase del semáforo, facilitando la toma de decisiones y la priorización dentro de la planificación y programación de recursos. Además, la herramienta incluye un gráfico de recurrencias de causas de órdenes de cambio, proporcionando una visión de las razones más frecuentes. Esto permite identificar patrones y tomar acciones preventivas para optimizar el proceso. También se incluye un análisis de los elementos que más comúnmente reciben órdenes de cambio. Con esta información, es posible ajustar la planificación, como, por ejemplo, aumentando el intervalo entre la recepción de la orden de producción y la fecha de colado planificada, dando así espacio para incorporar cualquier cambio estructural solicitado por el cliente y evitando reprocesos que afecten el cronograma general.

Programa de despachos a sitio

Un elemento clave para optimizar la planificación y programación es el seguimiento desde el punto final: el sitio de montaje. Por ello, el programa de despachos semanal, compartido los miércoles para la semana siguiente, debe proporcionar en tiempo real el estatus de las piezas requeridas en sitio. Esto permite activar alertas de inmediato si alguna pieza no está producida ni planificada, lo cual ayuda a evitar retrasos.

La figura 33 muestra el programa de despachos, el cual incorpora un sistema de semáforo visual que facilita la identificación de alertas. Este programa se nutre automáticamente de bases de datos estandarizadas, simplificando la gestión de datos y mostrando el estatus de cada pieza. El color verde indica que la pieza con la cantidad requerida está disponible para su envío; el amarillo, que la pieza está producida pero falta el acabado final; el naranja, que la pieza tiene orden de producción y está planificada, emitiendo

una alerta para que el cronograma de producción de planta priorice esta pieza o verifique si la fecha de producción programada cumple con el plazo necesario. Finalmente, el rojo señala que la pieza aún no tiene orden de producción, activando todas las alarmas para el departamento de ingeniería, que debe priorizar el diseño correspondiente.

El objetivo del programa de despachos es mejorar el proceso de pedido y envío de piezas al sitio, facilitando la coordinación entre logística y montaje mediante un acceso claro al estado de producción. Esta herramienta es esencial para que el ingeniero residente tenga una visión precisa del estado de las piezas solicitadas, permitiendo una comunicación oportuna con el ingeniero de planta. Así, si varias piezas se encuentran en estado rojo, el ingeniero residente puede coordinar ajustes en los cronogramas de producción y acabados, asegurando una planificación ágil y reduciendo el riesgo de atrasos.

Figura 33. Programa de despachos montaje

PROGRAMA DE DESPACHOS											
Nombre del Proyecto		Multitenant 3 ZFLL_	Ing Residente								
Fecha de actualización		24-10-24	Maestro de obras								
DESPACHO							PRODUCCIÓN				LOGISTICA
# VIAJE	Fecha	Hora	Nivel	Elemento	TIPO	Cantidad	Estatus de producción	Peso unitario	Peso total	Comentario	Boleta despacho
1	30-10-24	9:00 AM	0	Placa Estandar ▼	1006	1	VERDE	3.92	3.92		
				Placa Estandar ▼	1003	1	VERDE	3.35	3.35		
				Placa Estandar ▼	1001	1	VERDE	3.1	3.1		
				Placa Estandar ▼	1002	1	VERDE	2.77	2.77		
				Placa Estandar ▼	1003	1	VERDE	3.35	3.35		
				Placa Estandar ▼	1004	1	VERDE	3.49	3.49		
2	31-10-24	6:00 AM	0	Placa Estandar ▼	1005	1	VERDE	2.3	2.3		
				Placa Estandar ▼	1003	2	VERDE	3.35	6.7		
				Placa Estandar ▼	1004	2	VERDE	3.49	6.98		
				Placa Estandar ▼	1007	1	VERDE	3.16	3.16		
3	1-11-24	6:00 AM	0	Placa Estandar ▼	1007	1	VERDE	3.16	3.16		
				Placa Estandar ▼	1003	1	VERDE	3.35	3.35		
				Placa Estandar ▼	1004	1	VERDE	3.49	3.49		
4	4-11-24	6:00 AM	0	Columna de Nave ▼	2001	1	VERDE	5.4	5.4		
				Columna de Nave ▼	2054	1	VERDE	5.91	5.91		
				Columna de Nave ▼	2053	1	VERDE	5.39	5.39		
				Columna de Nave ▼	2002	1	VERDE	5.4	5.4		
5	4-11	1:00 PM	0	Columna de Nave ▼	2055	2	VERDE	5.4	10.8		
				Columna de Nave ▼	2052	1	AMARILLO	5.39	5.39		
				Columna de Nave ▼	2003	1	AMARILLO	5.4	5.4		
6	5-11	6:00 AM	0	Columna de Nave ▼	2051	1	AMARILLO	5.39	5.39		
				Columna de Nave ▼	2004	1	ROJO	-	-		
				Columna de Nave ▼	2059	1	ROJO	-	-		
				Columna de Nave ▼	2050	1	ROJO	-	-		
7	5-11	1:00 PM	0	Columna de Nave ▼	2005	1	AMARILLO	5.4	5.4		
				Columna de Nave ▼	2055	1	VERDE	5.4	5.4		

Nota: Elaboración propia

Además, el programa de despachos busca establecer un control efectivo para el departamento de logística. Una vez se realiza la carga y se emite la boleta de salida, esta información se refleja automáticamente en el programa, permitiendo tanto al sitio mantener un control actualizado del inventario de piezas en el proyecto como al departamento de logística gestionar las salidas para cada proyecto de manera precisa.

Análisis de datos históricos

El análisis de datos históricos es esencial para optimizar el proceso de planificación y programación. Este análisis debe considerar factores críticos como la capacidad máxima de la planta, el número máximo de proyectos simultáneos y la cantidad de líneas de producción activas. Además, es fundamental evaluar la capacidad máxima para generar órdenes de producción y la diferencia porcentual en relación con la producción real. También es importante analizar la capacidad de envío de piezas al sitio en un periodo determinado, los tiempos entre la recepción de una orden de producción y la producción de ese elemento, así como el intervalo entre la producción de la pieza y su disponibilidad para el envío.

Asimismo, el análisis de órdenes de cambio es crucial: se deben identificar los casos más frecuentes, el promedio de órdenes de cambio por proyecto y los elementos en los que estos ajustes son más comunes. Esta información permite ajustar los planes y cronogramas de manera precisa, anticiparse a posibles incumplimientos de plazos y abordar áreas de mejora que optimicen los procesos.

Este análisis histórico se convierte en una herramienta estratégica, permitiendo que la planificación y programación se adapten a las condiciones reales de la operación. Así, se logra cumplir los plazos con la rapidez y eficiencia que caracteriza a la construcción en prefabricados, respondiendo de manera eficaz a las demandas del mercado.

La herramienta permite realizar un seguimiento detallado de puntos clave en cada etapa del proceso hasta el montaje en sitio, utilizando gráficos e indicadores estratégicos, mostrados en las figuras 34 y 35. La primera figura se centra en las etapas iniciales de construcción, la planta de producción y el control de ingreso de órdenes de producción, facilitando el monitoreo exhaustivo de cada aspecto. Un gráfico presenta el tonelaje de producción mensual, lo cual permite identificar el pico de producción y analizar las prácticas o condiciones que posibilitaron ese alto rendimiento. Esto ofrece un marco de referencia para replicar dichas condiciones en el proceso de planificación y programación.

Además, la herramienta proporciona tres indicadores fundamentales para la planificación y programación. El primero es el promedio de tonelaje de producción, calculado por mes o periodo específico. Este dato es esencial, ya que la capacidad máxima de la planta se basa en el tonelaje producido; conocer el promedio recurrente permite ajustar los cronogramas para que se adapten a la capacidad productiva, optimizando el flujo de trabajo y permitiendo superar metas establecidas cuando sea posible.

El segundo indicador clave es la cantidad máxima de proyectos en ejecución simultáneamente. Este valor resulta crucial en la construcción de prefabricados, especialmente en proyectos industriales y comerciales, ya que un incremento en los proyectos simultáneos podría sobrepasar la capacidad máxima. Esto permite anticipar y tomar decisiones preventivas en la planificación, como alargar plazos o aumentar la capacidad productiva según sea necesario para evitar atrasos.

El tercer indicador relevante es la cantidad máxima de líneas de producción activas en un periodo dado. Este dato es fundamental para la asignación eficiente de mano de obra y recursos, ya que, si todas las líneas están activas, no todas podrían operar a plena capacidad cada día. Monitorear este dato permite

priorizar elementos y optimizar la utilización de recursos, manteniendo la planificación y programación acorde a las capacidades reales de producción.

Por otra parte, el control de órdenes de producción es indispensable para asegurar un flujo equilibrado en la planificación. Conocer el promedio de toneladas generadas en órdenes de producción en un periodo específico ofrece un punto de referencia para definir cuántas toneladas se pueden generar sin sobrepasar las capacidades del cronograma. Esto evita establecer metas inalcanzables que puedan llevar a incumplimientos repetidos.

Finalmente, el porcentaje de diferencia entre las toneladas en órdenes de producción y las toneladas producidas es un factor crítico. Para mantener un flujo adecuado, las órdenes de producción deben superar ligeramente la cantidad producida en un periodo determinado, lo cual se refleja en un porcentaje positivo. Sin embargo, un aumento excesivo en este porcentaje indicaría una subutilización de las líneas de producción o una programación no optimizada, lo que podría resultar en retrasos. Controlar este porcentaje permite mantener un equilibrio, asegurando que el proceso de planificación y programación se ajuste a las condiciones del proyecto y la capacidad de la planta, optimizando así los recursos y el cumplimiento de plazos.

La figura 35 muestra la segunda parte de la herramienta de análisis de datos históricos, centrada en el seguimiento de piezas enviadas a sitio. Al igual que en otras fases, se monitorean las toneladas de piezas enviadas mensualmente, permitiendo identificar el mes de mayor volumen y analizar las prácticas que facilitaron ese nivel de producción. Entre los indicadores clave, uno de los más importantes es el promedio de toneladas enviadas en un periodo específico, el cual resulta esencial en la planificación, ya que el envío de piezas es un cuello de botella tanto para el avance en sitio como para la continuidad de la producción en planta. El espacio limitado y la necesidad de mantener una secuencia ordenada de envíos son factores críticos para no detener la producción activa ni el montaje en sitio. Este indicador proporciona una visión del avance del proyecto y del espacio disponible, lo cual permite ajustar el flujo de producción y garantizar que el promedio de piezas enviadas sea acorde o mayor al de producción, manteniendo así un ritmo de salida adecuado.

Otro indicador relevante es la cantidad máxima de proyectos despachados de forma simultánea. Este valor permite anticiparse a retrasos en el envío de piezas, especialmente cuando se gestionan varios proyectos en paralelo. Aunque cada proyecto puede estar en fases distintas (diseño, envío, montaje), la coincidencia en la fase de envíos puede saturar la capacidad. Si se detecta un volumen de proyectos mayor a la capacidad de despacho simultáneo, es necesario planificar recursos adicionales, como transportes y personal de carga, para garantizar un flujo continuo sin interrupciones.

En cuanto a la disponibilidad de piezas, se lleva un seguimiento continuo desde la generación de reportes de piezas listas para envío, optimizando así la logística de carga y asegurando que las piezas lleguen en el momento adecuado. El primer indicador en esta línea es el promedio de toneladas en estado de disponibilidad para envío durante un periodo, que debería superar las toneladas enviadas a sitio. Esto refleja que las piezas están completamente acabadas y listas para montaje, sin necesidad de ajustes adicionales en el sitio. Otro indicador fundamental es el porcentaje de diferencia entre toneladas disponibles y toneladas

enviadas a sitio. Un valor positivo indica que existen suficientes piezas listas para envío, asegurando que el proceso de carga se realice con rapidez y permitiendo múltiples viajes en un mismo día. Un porcentaje negativo, en cambio, sugiere que las piezas están siendo acabadas el mismo día de su envío, lo cual retrasa todo el proceso y afecta el cronograma del proyecto. Si el indicador positivo crece excesivamente, esto puede reflejar un estancamiento de piezas en el almacén, generalmente debido a un retraso en el sitio o un cambio en la fecha de recepción del proyecto. En estos casos, es necesario reprogramar y priorizar las líneas de producción con salida prevista, deteniendo aquellas piezas que aún no tienen un destino definido.

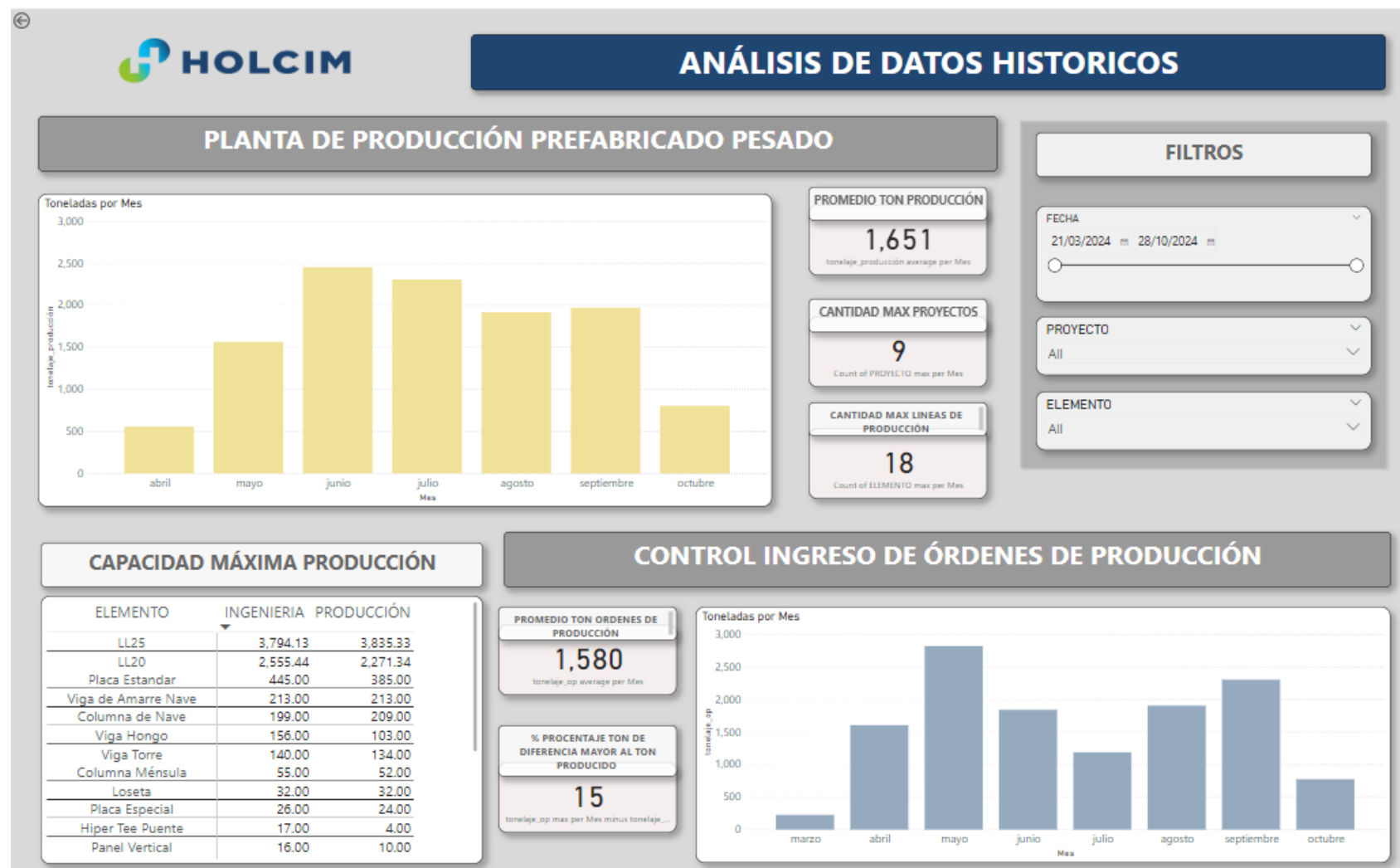
Este conjunto de indicadores es clave para ajustar de manera integral la planificación de la ruta crítica, incluyendo producción y despacho, y para optimizar el proceso logístico de carga y envío a sitio. La información obtenida permite mantener un flujo continuo y bien sincronizado, asegurando que la planificación y programación respondan de forma efectiva a las demandas del proyecto.

El análisis de tiempos por etapas o procesos es fundamental en el proceso de planificación y programación, ya que permite conocer la cantidad de días que históricamente toma pasar de una etapa a otra. Estos datos brindan una base confiable para definir tiempos aproximados en la generación de cronogramas. En primer lugar, el indicador de tiempo de producción mide el lapso desde que se recibe una orden de producción hasta que la pieza está fabricada. Este tiempo promedio se presenta tanto de forma global como desglosado por elemento en una tabla, lo que permite evaluar el rendimiento específico de cada tipo de pieza. De igual manera, el indicador de piezas disponibles muestra el tiempo promedio en días desde que una pieza es producida hasta que obtiene el acabado necesario para estar lista para su envío al sitio. También se analiza el tiempo de despacho, es decir, el promedio y el desglose por elemento de los días necesarios para cargar y enviar las piezas a sitio una vez que están disponibles. Dar seguimiento constante a estos datos es clave, ya que el objetivo es reducir los tiempos en cada etapa y facilitar un flujo rápido y eficiente de producción a montaje, generando así un proceso cíclico en la construcción.

Por otro lado, el análisis de datos históricos relacionados con las órdenes de cambio es igualmente indispensable. Aquí se deben considerar factores como el tipo de material que requiere más ajustes, ya sea armaduras, herrajes, ductos, gases, entre otros, para identificar las tendencias más comunes y programar de antemano un margen adicional en el cronograma para aquellos elementos que tienden a recibir más modificaciones. Esto reduce el impacto de las órdenes de cambio una vez producido el elemento, minimizando retrasos significativos. Además, se analiza el tipo de elemento más afectado por órdenes de cambio, lo cual permite ajustar los tiempos de producción para esos elementos específicos en los cronogramas futuros.

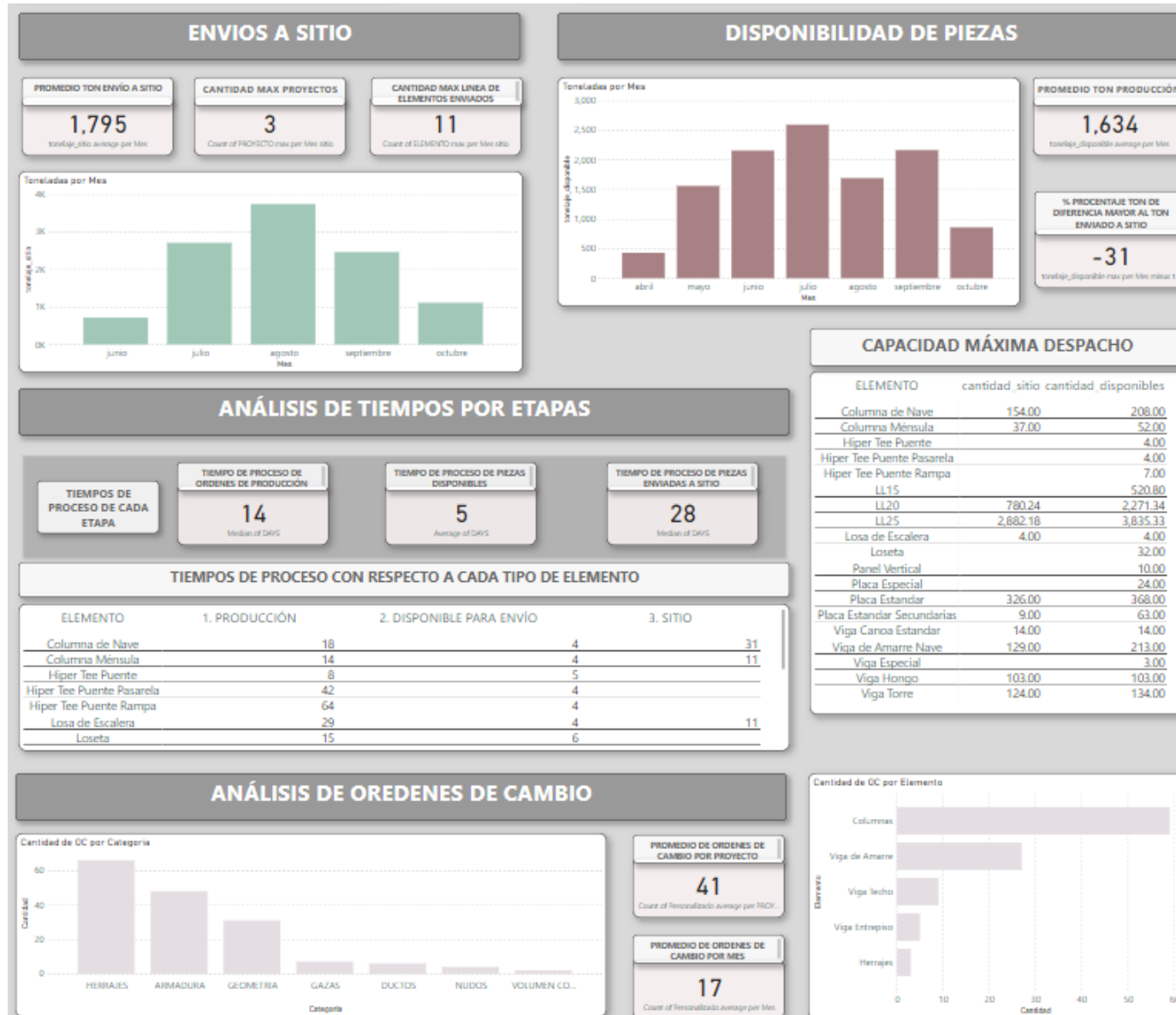
Contar con indicadores como el promedio de órdenes de cambio por proyecto es esencial, ya que permite evaluar tendencias a lo largo del tiempo (por ejemplo, mensualmente) y establecer metas para reducir la frecuencia de órdenes de cambio en proyectos futuros. Estos indicadores no solo ayudan a optimizar la planificación y programación, sino que también ofrecen una visión proactiva que facilita la mejora continua en la eficiencia de los procesos constructivos.

Figura 34. Herramienta para el análisis de datos históricos e indicadores



Nota: Elaboración propia

Figura 35. Herramienta para el análisis de datos históricos e indicadores



ANÁLISIS DE ORDENES DE CAMBIO

Cantidad de OC por Categoría

PROMEDIO DE ORDENES DE CAMBIO POR PROYECTO

41

Count of Personalizado average per PROJ

PROMEDIO DE ORDENES DE CAMBIO POR MES

17

Count of Personalizado average per Mes

Cantidad de OC por Elemento

Nota: Elaboración propia

3.4 Aplicación y evaluación del procedimiento en un proyecto piloto

Con base al análisis de resultados, la presentación del prototipo de la herramienta y con el fin de abarcar el objetivo cuatro de aplicar el procedimiento en un proyecto piloto para la validación de las mejoras identificadas en cuanto a la planificación y programación integral. Se propone un plan piloto del proceso y herramientas utilizadas para la planificación y programación de piezas con el proyecto de nave industrial Trelleborg, abarcando las herramientas y el proceso mencionado.

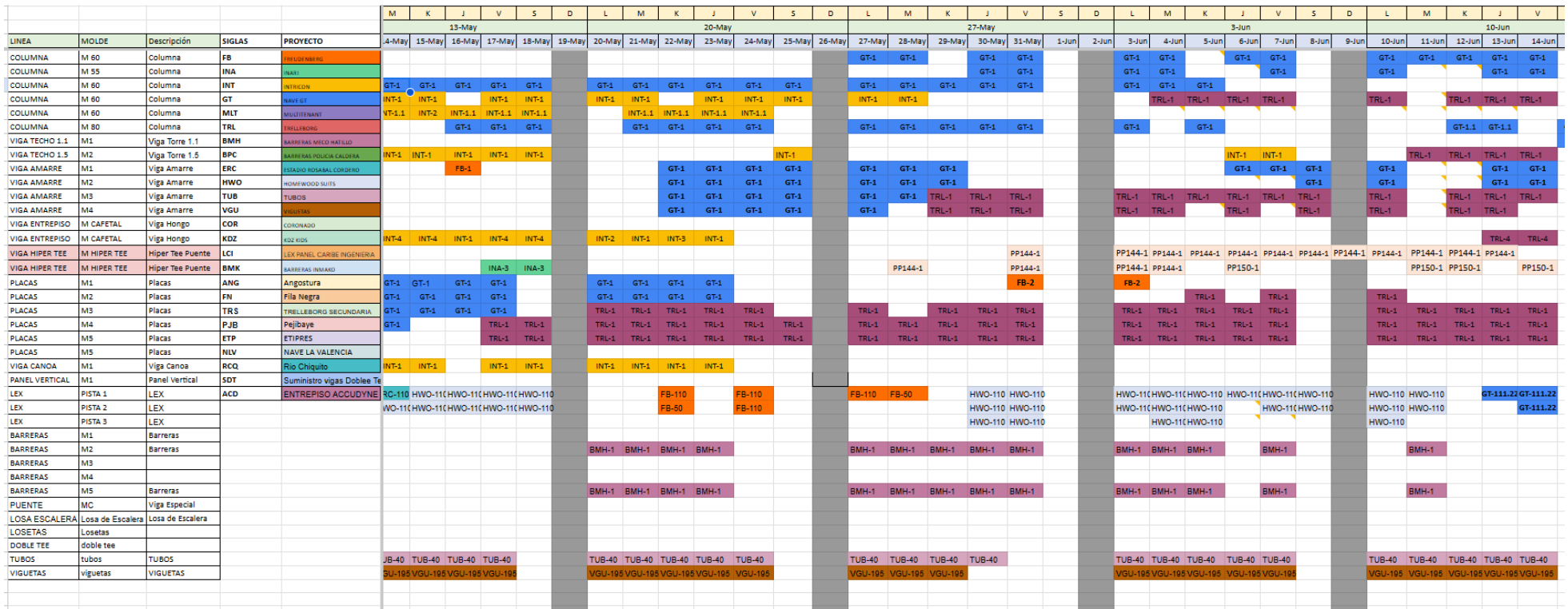
3.4.1 Aplicación del procedimiento y herramientas en el proyecto piloto.

El proceso comienza con la entrega de la información de presupuesto y plazo contractual de montaje proporcionada por el departamento comercial a todos los departamentos involucrados. Una vez compartida esta información, el equipo de construcción realiza la visita al sitio para definir la secuencia de montaje en función de la logística y condiciones específicas del terreno del proyecto. Con todos los departamentos alineados en el objetivo inicial, el departamento de producción utiliza las cantidades y toneladas establecidas en el presupuesto para planificar el cronograma de producción (como se muestra en la figura 36), organizando la fabricación de cada pieza en función de la capacidad de los moldes. Esto permite optimizar la producción de la planta con el objetivo de tener alrededor del 80% de las piezas listas antes de la fecha de ingreso al sitio.

Con el cronograma de producción ya definido y las cantidades de piezas previstas, se genera automáticamente el cronograma interno (figura 37), el cual servirá como referencia para las mediciones de avance posteriores. Al mismo tiempo, se crea el cronograma contractual (figura 38), que se entrega al cliente y se utiliza para medir el progreso del proyecto, con la intención de mantener siempre un adelanto con respecto a este cronograma. El cronograma interno permite al departamento de ingeniería definir un plan de trabajo detallado para cumplir con la entrega de órdenes de producción necesarias, de acuerdo con la secuencia de montaje. Un punto crucial en esta etapa es que cualquier cambio en la cantidad de piezas por elemento debe ser comunicado de inmediato al equipo de producción, de modo que se ajuste el cronograma y se reflejen las cantidades reales en los diseños y planos.

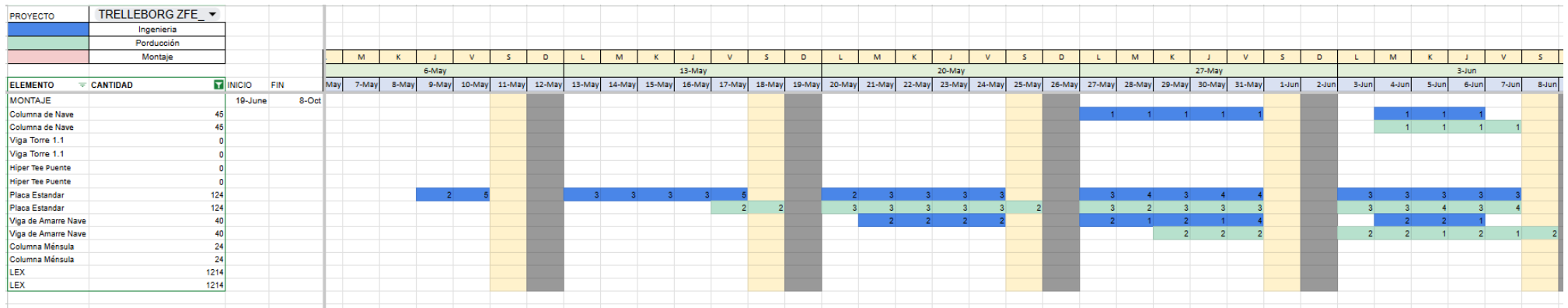
Una vez establecidas las metas de las fases iniciales, como ingeniería y producción, se procede al seguimiento diario mediante la herramienta de control y monitoreo de cronograma. Como se observa en la figura 39, al realizar un corte en la fecha de ingreso al sitio, el 19 de junio, se refleja un avance del 57% en las órdenes de producción y un 39% en la producción efectiva, lo cual indica que el nivel de producción sobrepasa el objetivo del 30% de piezas terminadas con corte a la fecha de ingreso a sitio. Esta discrepancia no activa alertas, dando un visto bueno al comienzo en sitio, sin embargo, se vuelve crucial en esta etapa darle seguimiento minucioso al cronograma establecido, ya que una vez en sitio el montaje puede acelerarse y producción e ingeniería no pueden quedarse atrás.

Figura 36. Cronograma de producción para el proyecto Trelleborg



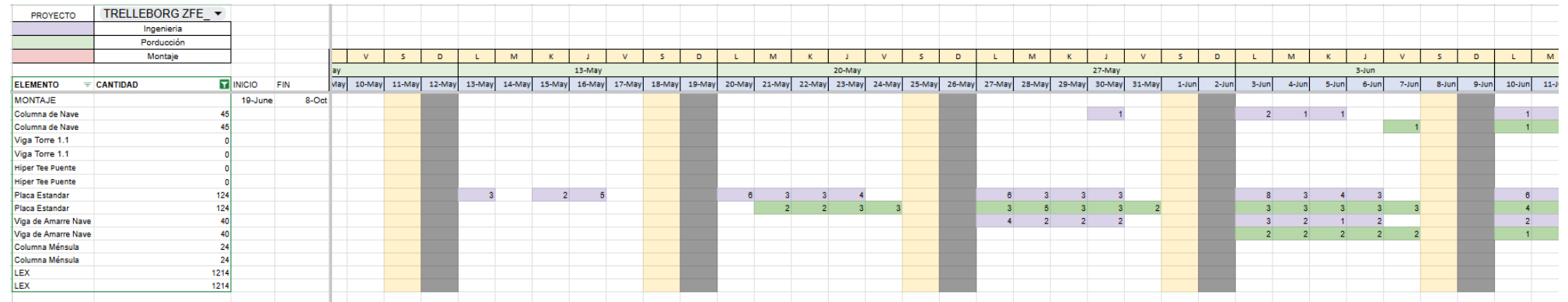
Nota: Elaboración propia

Figura 37. Cronograma integral interno para el proyecto Trelleborg



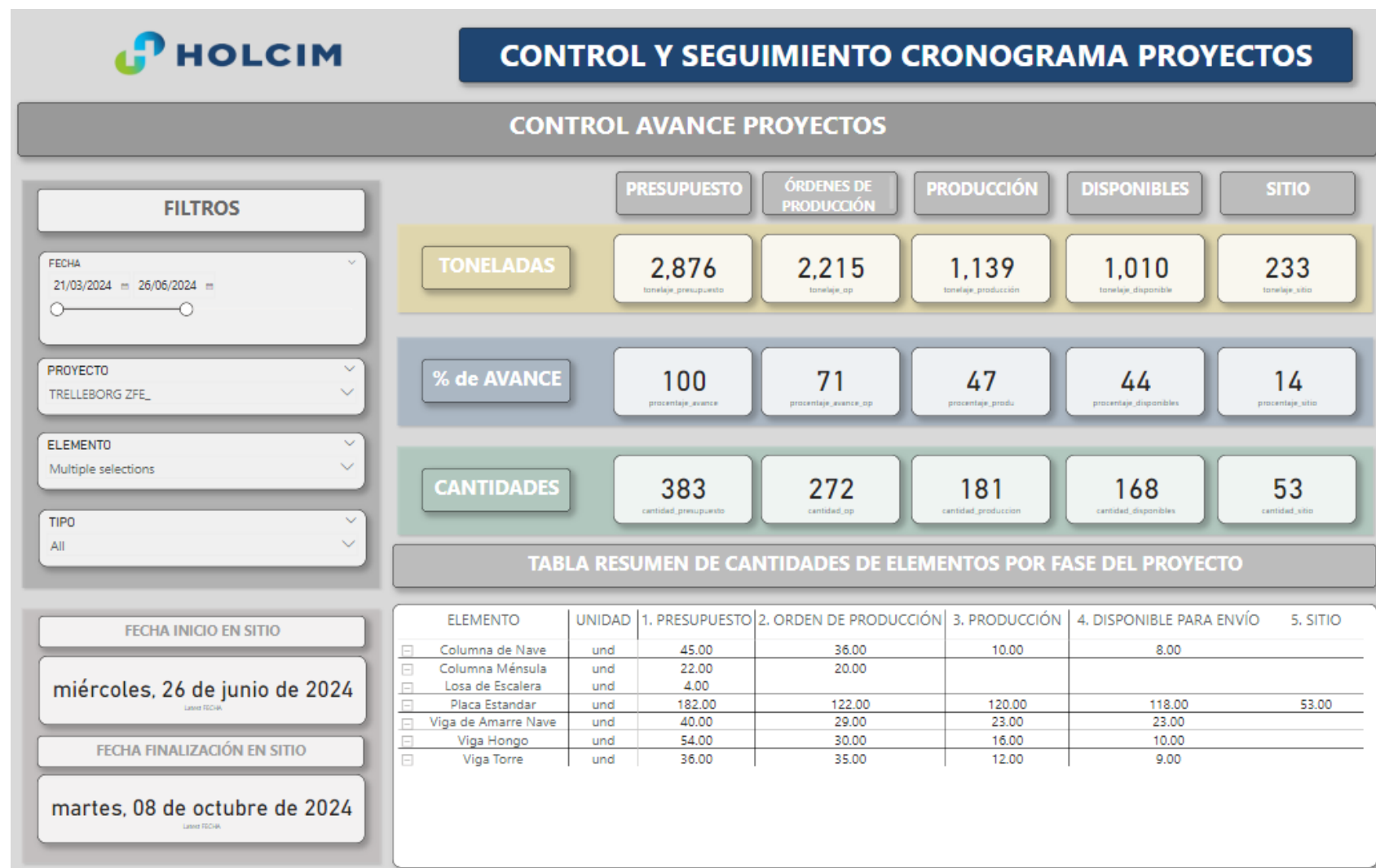
Nota: Elaboración propia

Figura 38. Cronograma integral contractual para el proyecto Trelleborg



Nota: Elaboración propia

Figura 39. Control avance del proyecto Trelleborg



Nota: Elaboración propia

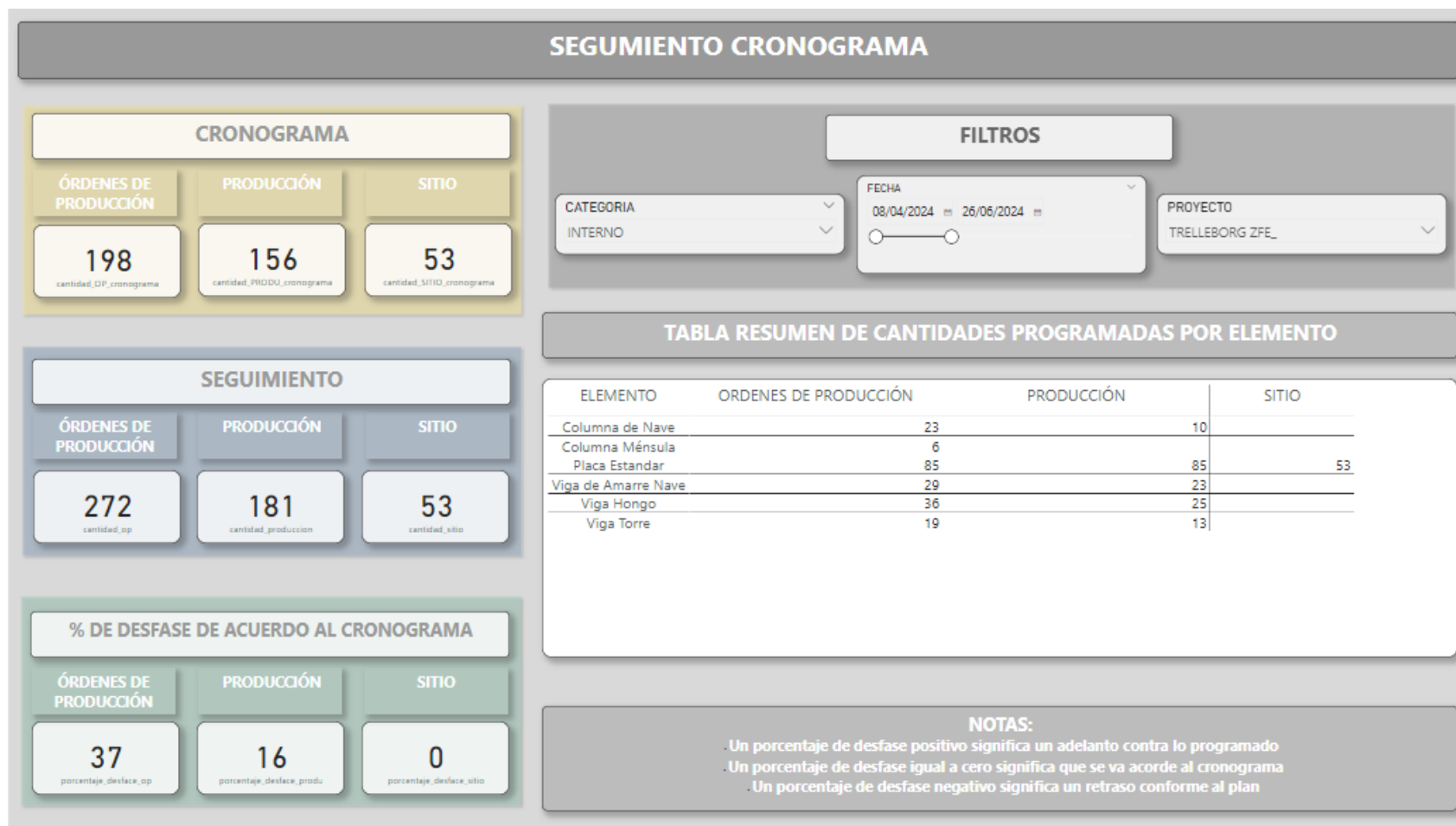
Una vez visualizado el control de avance del proyecto, se utiliza la herramienta de seguimiento para evaluar si existen desfases entre la ejecución real en sitio y el cronograma interno (figura 40). En este caso, no se observan desfases significativos; al contrario, el proyecto presenta un adelanto en la ejecución. Esto se debe a la planificación ajustada a las características específicas del proyecto Trelleborg, una nave de gran área y, por ende, con un alto volumen de piezas. Para este tipo de proyecto, se optó por una planificación que limitara la producción inicial al 30%, con el fin de no sobrepasar la capacidad de almacenamiento, la cual se estimó en unas 1,700 toneladas. Dado que había otros cuatro proyectos en producción simultáneamente, la estrategia fue iniciar con un 30% y acelerar la producción una vez que el montaje comenzara en el sitio, de modo que se pudiera superar la proyección sin comprometer el espacio.

Paralelamente, se da seguimiento al programa de despachos, otra fuente clave de información en contacto directo con el sitio del proyecto. Como se observa en la figura 41, el estado de las piezas destinadas al sitio permite verificar rápidamente el cumplimiento de los requerimientos de entrega. Aunque la mayoría de las piezas están listas para el envío, algunas se encuentran en estado amarillo o rojo. Las piezas en amarillo reciben prioridad para el acabado, y aquellas en rojo, que requieren atención urgente, reciben prioridad para la generación de planos. Este nivel de detalle y seguimiento garantiza que los recursos se asignen adecuadamente y que se cumplan los despachos con la documentación correspondiente de cada pieza.

Este proceso de monitoreo también pone en evidencia una realidad común en los proyectos constructivos: aunque la producción y montaje de piezas son gestionados por Holcim Modular Solutions, la generación de órdenes de producción depende del departamento de ingeniería y está sujeta a la aprobación de planos por inspección. Las piezas que aparecen en rojo en el programa de despachos (figura 42) no han sido aprobadas y, por lo tanto, no pueden ser producidas ni enviadas, generando un atraso directo en el sitio. Gracias a la disponibilidad de las herramientas de planificación y seguimiento para todos los departamentos, incluyendo comercial, se logró coordinar un seguimiento efectivo de las aprobaciones, acelerando el proceso y mitigando retrasos.

El uso de estas herramientas en cada etapa del proceso permite no solo mantener un control detallado de cada fase, sino también actuar rápidamente ante cualquier desfase, reasignando prioridades y optimizando la programación para asegurar que el proyecto avance conforme a los objetivos establecidos.

Figura 40. Seguimiento de cronograma del proyecto Trelleborg



Nota: Elaboración propia

Figura 41. Programa de despachos proyecto Trelleborg



PROGRAMA DE DESPACHOS

Nombre del Proyecto		Trelleborg ZFE_	Ing Residente								
Fecha de actualización		12-06-24	Maestro de obras								
DESPACHO							PRODUCCIÓN				LOGISTICA
# VIAJE	Fecha	Hora	Nivel	Elemento	TIPO	Cantidad	Estatus de producción	Peso unitario	Peso total	Comentario	Boleta despacho
1	30-10-24	9:00 AM	0	Placa Estandar ▼	1006	1	VERDE	3.92	3.92		9648
				Placa Estandar ▼	1003	1	VERDE	3.35	3.35		1490
				Placa Estandar ▼	1001	1	VERDE	3.1	3.1		8916
				Placa Estandar ▼	1002	1	VERDE	2.77	2.77		9995
				Placa Estandar ▼	1003	1	VERDE	3.35	3.35		3436
				Placa Estandar ▼	1004	1	VERDE	3.49	3.49		8322
2	31-10-24	6:00 AM	0	Placa Estandar ▼	1005	1	VERDE	2.3	2.3		1396
				Placa Estandar ▼	1003	2	VERDE	3.35	6.7		1286
				Placa Estandar ▼	1004	2	VERDE	3.49	6.98		3146
				Placa Estandar ▼	1007	1	VERDE	3.16	3.16		9410
3	1-11-24	6:00 AM	0	Placa Estandar ▼	1007	1	VERDE	3.16	3.16		7814
				Placa Estandar ▼	1003	1	VERDE	3.35	3.35		7189
				Placa Estandar ▼	1004	1	VERDE	3.49	3.49		9217
4	4-11-24	6:00 AM	0	Columna de Nave ▼	2001	1	VERDE	5.4	5.4		6782
				Columna de Nave ▼	2054	1	VERDE	5.91	5.91		3347
				Columna de Nave ▼	2053	1	VERDE	5.39	5.39		3612
				Columna de Nave ▼	2002	1	VERDE	5.4	5.4		6911
5	4-11	1:00 PM	0	Columna de Nave ▼	2055	2	VERDE	5.4	10.8		9953
				Columna de Nave ▼	2052	1	AMARILLO	5.39	5.39		7739
				Columna de Nave ▼	2003	1	AMARILLO	5.4	5.4		6808
6	5-11	6:00 AM	0	Columna de Nave ▼	2051	1	AMARILLO	5.39	5.39		8446
				Columna de Nave ▼	2004	1	ROJO	-	-		9064
				Columna de Nave ▼	2059	1	ROJO	-	-		9986
				Columna de Nave ▼	2050	1	ROJO	-	-		1961
7	5-11	1:00 PM	0	Columna de Nave ▼	2005	1	AMARILLO	5.4	5.4		3713
				Columna de Nave ▼	2055	1	VERDE	5.4	5.4		5392
				Columna de Nave ▼	2049	1	VERDE	5.39	5.39		7207

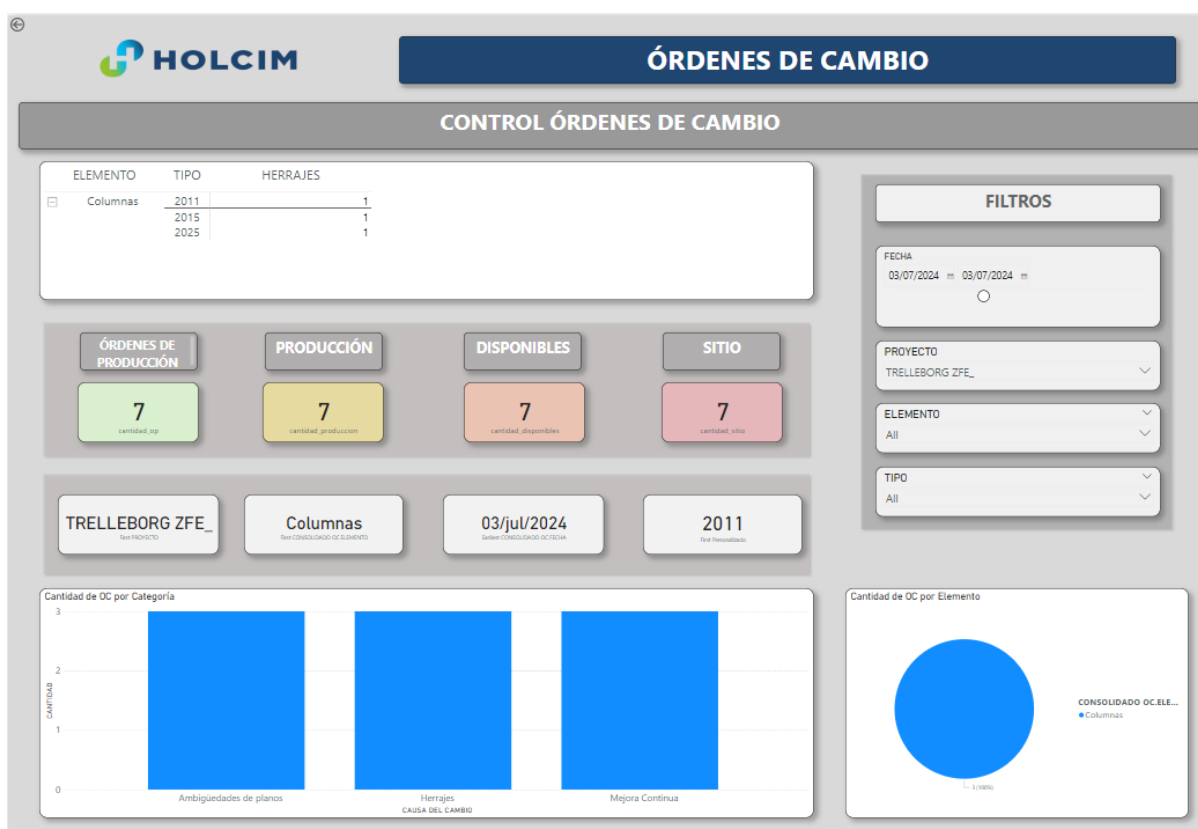
Nota: Elaboración propia

En conjunto con el seguimiento de proyectos, se implementó la herramienta de control de órdenes de cambio, como se muestra en la figura 42, filtrando diariamente el día correspondiente para identificar posibles órdenes de cambio recientes. Esta herramienta permite visualizar de inmediato el estatus del tipo de elemento afectado y su categoría, lo que facilita evaluar si es necesario ajustar el cronograma.

Para el proyecto Trelleborg, el control de órdenes de cambio del 3 de julio de 2024 (figura 40) permitió detectar una modificación en los herrajes de las columnas de tipología 2025. En orden de producción, se tenían cinco unidades de esta columna, con tres ya producidas y una disponible. La herramienta facilitó la rápida toma de decisiones estratégicas: se priorizó la colocación de herrajes en las dos columnas aún sin producir, asegurando que este ajuste no impactara significativamente el cronograma. Para las dos columnas ya producidas, el ajuste de herrajes se incluyó en la fase de acabado, evitando un reproceso y generando solo un día de retraso en el cronograma. Finalmente, la columna ya terminada fue localizada en el área de almacenamiento para realizar el reproceso, generando un atraso de tres días.

El uso de esta herramienta agilizó la identificación de órdenes de cambio y permitió tomar decisiones informadas y precisas, minimizando el impacto en el cronograma y manteniendo la eficiencia en el proceso de planificación y programación.

Figura 42. Control ordenes de cambio para el proyecto Trelleborg



Nota: Elaboración propia

3.4.2 Resultados de la validación de las mejoras identificadas en cuanto a la planificación integral.

La validación de resultados se estructura en tres categorías clave: planificación, optimización de recursos y diseño de procedimientos. Cada una de estas categorías contribuye a fortalecer el proceso de planificación y programación, maximizando el uso de herramientas para lograr una ejecución eficiente y coordinada del proyecto.

Planificación, esta categoría aborda la estructuración de los procesos de producción y los requerimientos de montaje en sitio. La generación de cronogramas integrales, ajustados a las necesidades y objetivos específicos del proyecto, permite una alineación precisa entre la secuencia de producción y las demandas de montaje. Una vez definida la secuencia e inicio en sitio, se prioriza la capacidad de la planta para que el cronograma de ingeniería se ajuste a las exigencias de montaje, garantizando un enfoque integral del proceso.

La rapidez es un factor fundamental en esta etapa: una vez definido el programa de producción, se genera el cronograma contractual interno, permitiendo que todos los departamentos inicien el proyecto bajo un mismo objetivo, alineando sus actividades desde el inicio. Además, el proceso de planificación incorpora el control de órdenes de cambio, lo cual facilita la rápida evaluación y priorización de estos ajustes. Un manejo efectivo de las órdenes de cambio minimiza su impacto en el cronograma general y optimiza el uso de recursos, evitando reprocesos y costos innecesarios. Con estas herramientas, los departamentos pueden adaptar sus operaciones con mayor agilidad.

Optimización de recursos, aquí se aborda uno de los puntos críticos del proceso: la logística, un área que puede convertirse en cuello de botella si no se maneja eficientemente. La planificación anticipada de logística permite prever la disponibilidad de transporte y los requerimientos específicos de las piezas, lo cual optimiza la cadena de suministro desde la planta hasta el sitio de construcción. Esta planificación asegura que las piezas lleguen en el momento adecuado, minimiza tiempos de espera y reduce riesgos de cuellos de botella en la producción y el montaje, impulsando la eficiencia del proceso en general.

Además, el análisis predictivo de datos históricos es fundamental para detectar patrones recurrentes y ajustar la planificación de producción y montaje en función de experiencias pasadas. Esta herramienta predictiva permite anticipar problemas y planificar soluciones preventivas, incrementando la precisión en la planificación futura y evitando costos adicionales. Así, es posible adaptar el cronograma a las necesidades específicas de cada proyecto y fortalecer la estrategia integral de planificación.

Diseño de procedimiento, este aspecto es clave para un manejo eficiente de la información y la optimización de la gestión de datos en todas las etapas del proyecto. La integración de procesos y herramientas en una plataforma centralizada permite que todos los departamentos (producción, logística y construcción) accedan a una fuente de información actualizada en tiempo real, lo cual agiliza la comunicación y la coordinación interdepartamental. Este enfoque reduce los errores y minimiza retrasos derivados de la falta de información o de comunicaciones no sincronizadas.

Por otro lado, la visualización integral del avance del proyecto y seguimiento de cronograma es crucial para monitorear en tiempo real el progreso de las actividades, lo que otorga a los departamentos de comercial, producción, construcción y logística una visibilidad clara sobre el cumplimiento de los plazos. Esta herramienta permite detectar y corregir desviaciones en etapas tempranas, facilitando ajustes en el cronograma y reduciendo el impacto potencial en el proyecto. Además, esta visualización mejora el compromiso de los equipos al ofrecer una representación tangible del avance, promoviendo una colaboración más cohesionada.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Con respecto a realizar un análisis de la planificación y programación actual entre la fabricación y el montaje de los elementos prefabricados para la identificación de las oportunidades de mejora:

- La evaluación del proceso actual de planificación y programación de producción y montaje identificó fortalezas y áreas de mejora.
- Entre las fortalezas destacan la clara división de responsabilidades por departamento, el control de inventarios y estados de producción, y el uso de herramientas como diagramas de Gantt para cronogramas.
- Sin embargo, se detectaron debilidades significativas, como la falta de integración entre departamentos, procesos manuales y desconectados, ausencia de visibilidad global del proyecto, deficiente planificación logística y una desconexión entre producción y construcción.
- Estas observaciones permitieron proponer mejoras clave, como integrar procesos y herramientas, visualizar de manera integral el avance del proyecto, planificar la logística con mayor antelación, usar análisis predictivos basados en datos históricos y establecer controles eficientes de órdenes de cambio.

En cuanto a la investigación acerca de antecedentes de empresas constructoras de sistemas prefabricados para la identificación de buenas prácticas de planificación y programación entre la fabricación y el montaje de los elementos:

- Se identificó la importancia de usar dos cronogramas (interno y contractual), desarrollar cronogramas de producción basados en la capacidad de moldes y centralizar la información sobre el avance de cada proyecto.
- Otras prácticas relevantes incluyen el control eficiente de cambios y la optimización del número de piezas prefabricadas, orientadas a mejorar los tiempos de ejecución y cumplir los requerimientos en obra.
- Estas estrategias fortalecen la eficiencia y organización, consolidando la competitividad en el sector de prefabricados.

En cuanto a diseñar un procedimiento con base en los requerimientos de la empresa para la planificación y programación integral de los procesos de producción y montaje:

- Se diseñó un flujo de trabajo que integra todos los departamentos bajo un objetivo común.
- Los requerimientos de obra alimentan el cronograma de producción según la capacidad máxima de la planta, promoviendo la coordinación entre departamentos.
- Se implementaron herramientas de monitoreo en tiempo real que permiten evaluar el avance de las etapas del proyecto y el cumplimiento del cronograma.
- Estas herramientas facilitan la toma de decisiones estratégicas, como la priorización o aceleración de proyectos, y fortalecen el control de órdenes de cambio para minimizar atrasos.

Finalmente, en cuanto a la aplicación del procedimiento en un proyecto piloto para la validación de las mejoras identificadas en cuanto a la planificación y programación integral:

- Se desarrolló un diagrama de flujo integral y visualizaciones centralizadas de datos que mejoran el monitoreo de plazos y ofrecen información en tiempo real sobre la eficiencia constructiva.
- Esta innovación permitió identificar cuellos de botella y adoptar acciones correctivas, optimizando continuamente el proceso de construcción prefabricada.
- Los resultados validaron la efectividad del procedimiento, resaltando su impacto positivo en el cumplimiento de plazos y en la gestión integral de los proyectos.

Recomendaciones

- En cuanto a las jefaturas de los departamentos de producción, ingeniería y construcción se recomienda que establezca una cultura de gestión de información, donde se capacite al personal en específico a ingenieros de planta y residentes a recopilar datos de calidad, costo y plazos de los proyectos, esto con el objetivo de generar un histórico lo suficientemente adecuado para lograr tener valores de indicadores, rendimientos, plazos, máximos y mínimos adecuados para cada departamento.
- Los ingenieros de producción y construcción deben tener en cuenta el costo asociado a un atraso en los cronogramas establecidos, esto con respecto a lo que dice presupuesto, con el fin de llevar el costo del proyecto de la mano con el plazo establecido.
- La jefatura de producción y comercial debe tener en cuenta la calidad de los elementos, donde se generen datos que despliegue resistencias finales de las piezas, diseño de mezcla utilizado, materiales utilizados en las reparaciones una vez producida, forma adecuada de carga y almacenamiento, entre otras, esto con el fin de generar un sistema de datos de calidad adecuado para el control interno y del cliente.
- Crear un sistema de planificación logística anticipada para coordinar el transporte de los elementos prefabricados. Utilizando un análisis predictivo basado en datos históricos para optimizar los cronogramas de despacho, implementando simulaciones de escenarios para prever posibles retrasos y tomar decisiones proactivas.
- Promover reuniones regulares entre las jefaturas de producción, ingeniería, construcción y comercial para alinear objetivos y revisar avances. De la mano con un desarrollo de indicadores de desempeño comunes que midan la colaboración entre departamentos.

Referencias

- Abela, J. (2019). Las técnicas de Análisis de Contenido: Una revisión actualizada. Fundación Centro Estudios Andaluces. Departamento Sociología Universidad de Granada
- Acosta, Z. (2008). Fuentes de información para la recolección de información cuantitativa y cualitativa. Elaborado en el año 2008 y adecuado para el DGPP 2009. Docente de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica
- Chan, W. T., & Hu, H. (2002). Production scheduling for precast plants using a flow shop sequencing model. *Journal of computing in civil engineering*, 16(3), 165-174.
- Charaja, F. (2009). El mapic en la metodología de investigación. UNAP.
- Chi, S., Suk, S.J., Kang, Y. and Mulva, S.P. (2012). "Development of a data mining-bases analysis framework for multi-attribute construction project information." *Advanced Engineering Informatics*, 26(3), 574-581.
- Cisneros, A., Guevara, A., Urdánigo, J. & Gárces, E. (2022). Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que apoyan a la Investigación Científica. *Ciencias Económicas y Empresariales Artículo de Investigación*. DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i41.2546>
- Corona, A., Fonseca, M., & Alvarez, Y. (2022). El objeto y el sujeto en la investigación científica. *Medisur vol.20 no.1 Cienfuegos*
- Deutsch, R. and Leed, A.P. (2015). "Leveraging data across the building lifecycle." *Procedia Engineering*, (118), 260-267.
- García, J., Reding-Bernal, A., & López-Alvarenga, J. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación educ. médica vol.2 no.8 Ciudad de México oct./dic. 2013*
- Gómez Gómez, L. M., & Escobar Montenegro, A. J. (2010). Implementación del sistema pretensado en una planta de producción de postes para líneas aéreas de energía y telecomunicaciones. Universidad de Nariño.
- Gomez, J., Villasis, M., Novales, M., & Guadalupe, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, vol. 63, núm. 2, abril-junio, 2016, pp. 201-206 Colegio Mexicano de Inmunología Clínica y Alergia, A.C. Ciudad de México, México.

- Han, Z., & Wang, Y. (2017). The applied exploration of big data technology in prefabricated construction project management. In ICCREM 2017 (pp. 71-78).
- Holcim Modular Solutions. (2023). Manual técnico de productos. Holcim Costa Rica.
- Ko, C. H., & Wang, S. F. (2010). GA-based decision support systems for precast production planning. *Automation in construction*, 19(7), 907-916.
- Konczak, A., & Paslawski, J. (2015). Decision support in production planning of precast concrete slabs based on simulation and learning from examples. *Procedia Engineering*, 122, 81-87.
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Charles, R. and Byers, A.H. (2011). Big Data: the next frontier for innovation, competition, and productivity, McKinsey Global Institute, Chicago.
- Martinez-Gonzalez, J. (2023). Tipos de investigación. Con-Ciencia Serrana Boletín Científico de la Escuela Preparatoria Ixtlahuaco Publicación semestral, Vol. 5, No. 9 (2023) 34-35.
- México 2015. Tercera Edición
- Núñez, L. (2019). La observación participante. Edición FUOC, 2019. Realización editorial: Oberta UOC Publishing, SL.
- Pérez, E, C. (2010). Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elementos prefabricados de hormigón. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras a la Ingeniería
- Quecedo, R., & Castaño, C. (2002). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. Revista de Psicodidáctica, núm. 14, 2002, pp. 5-39 Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea Vitoria-Gazteis, España
- Rincón, W. (2014). Preguntas abiertas en encuestas ¿cómo realizar su análisis? Comunicaciones en Estadística diciembre 2014, Vol. 7, No. 2, pp. 139–156. Universidad Santo Tomas.
- Rivas, L. (2015). Capítulo 6. La Definición de variables o categorías de análisis. ISBN: 970-93878-6-3
- Sacks, R., Eastman, C. M., & Lee, G. (2004). Process model perspectives on management and engineering procedures in the precast/prestressed concrete industry. *Journal of construction engineering and management*, 130(2), 206-215.
- Sanchez, L. (2018). Las matrices o tablas de doble entrada: una aplicación práctica en las investigaciones de diseño. México Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.
- Simao, V. (2010). Formación continuada y varias voces del profesorado de educación infantil de Blumenau: Una propuesta desde dentro. Programa de doctorado. Universidad de Barcelona.
- Tazarv, M., & Saiid Saiidi, M. (2016). Low-damage precast columns for accelerated bridge construction in high seismic zones. *Journal of Bridge Engineering*, 21(3), 04015056.
- Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. Docente de la Maestría en Orientación de la Universidad de Costa Rica San José, Costa Rica.
- Vitorelli, K., Magalhaes, A., Santos, C., Garcia, C., Ribeiro, P., & Mendes, M. (2014). Hablando de la Observación Participante en la investigación cualitativa en el proceso salud-enfermedad. *Index Enferm* vol.23 no.1-2 Granada ene./jun. 2014

- Wang, Z., Hu, H., Gong, J., & Ma, X. (2018). Synchronizing production scheduling with resources allocation for precast components in a multi-agent system environment. *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 131-142.
- Yuan, Z., Man, Q., Guan, Z., Yi, C., Zheng, M., Chang, Y., & Li, H. X. (2024). Simulation and optimization of prefabricated building construction considering multiple objectives and uncertain factors. *Journal of Building Engineering*, 86, 108830.
- Zhou, G.Q., Wang, L.B., Wang, D. and Reichle, S. (2010). "Integration of GIS and data mining technology to enhance the pavement management decision making." *Journal of Transportation Engineering*, 136(4), 332-341.
- Novas, J. (2010). Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países de desarrollo. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional Politécnica de Madrid
- Yin, S., Ping Tserng, H., Wang, J.C. & Tsai, S.C. (2009). Developing a precast production management system using RFID technology. Elsevier B.V. www.elsevier.com/locate/autcon
- Jang, J.Y., Ahn, S., & Kim, T.W. (2023). Cloud-based information system for automated precast concrete transportation planning. Elsevier B.V. www.elsevier.com/locate/autcon
- Ho Ko, C. & Wang, S. (2010). GA-based decision support systems for precast production planning. Elsevier B.V. www.elsevier.com/locate/autcon

Apéndices

Apéndice A: Base de datos tabular cronograma (ejemplo)

FECHA	CANTIDAD	DESCRIPCION	PROYECTO	TON	DIA	ELEMENTO	GRUPO	CATEGORIA
<i>martes, 14 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Tuesday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>miércoles, 15 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Wednesday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>jueves, 16 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Thursday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>jueves, 16 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Thursday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>viernes, 17 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Friday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>viernes, 17 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Friday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>sábado, 18 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Saturday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>sábado, 18 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Saturday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>lunes, 20 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Monday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>martes, 21 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Tuesday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>martes, 21 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Tuesday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>miércoles, 22 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Wednesday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>miércoles, 22 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Wednesday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>jueves, 23 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Thursday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>jueves, 23 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Thursday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>viernes, 24 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Friday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>viernes, 24 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Friday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>sábado, 25 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Saturday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>lunes, 27 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Monday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>lunes, 27 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Monday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>lunes, 27 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Monday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>martes, 28 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Tuesday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>martes, 28 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Tuesday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>martes, 28 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Tuesday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>miércoles, 29 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Wednesday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>miércoles, 29 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Wednesday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO
<i>jueves, 30 de mayo de 2024</i>	1	Columna de Nave	GT ZFLL_	12.2968762711864	Thursday	Columna de Nave	PRODUCCIÓN	INTERNO

Apéndice D: Base de datos piezas disponibles para envío (ejemplo)

FECHA	PROYECTO	ELEMENTO	TIPO	TONELAJE	MARCHAMO	AÑO	MES	Inicio de la semana	CATEGORIA	GRUPO	CANTIDAD	LONGITUD
45575	ETIPRESS ZFE	LL15	6002	1.67583		2024	10	lunes, 7 de octubre de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	7.44	1
45457	GT ZFLL	LL25	6102	2.44035		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	8.7	1
45457	GT ZFLL	LL25	6102	2.44035		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	8.7	1
45457	GT ZFLL	LL25	6108	3.12727		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45457	GT ZFLL	LL25	6108	3.12727		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45457	GT ZFLL	LL25	6108	3.12727		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45457	GT ZFLL	LL25	6108	3.12727		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45457	GT ZFLL	LL25	6103	3.47878		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	8.71	1
45457	GT ZFLL	LL25	6104	4.02489		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	10.07	1
45457	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45457	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45456	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45456	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45456	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45456	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45456	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45456	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45456	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45456	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45456	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45456	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45457	GT ZFLL	LL25	6107	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45457	GT ZFLL	LL25	6112	2.40377		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	6.01	1
45457	GT ZFLL	LL25	6112	2.40377		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	6.01	1
45457	GT ZFLL	LL25	6105	2.82381		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	10.07	1
45457	GT ZFLL	LL25	6106	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45457	GT ZFLL	LL25	6106	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45457	GT ZFLL	LL25	6109	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45457	GT ZFLL	LL25	6109	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45457	GT ZFLL	LL25	6110	4.45388		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	11.15	1
45457	GT ZFLL	LL25	6111	2.06151		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	6.01	1
45457	GT ZFLL	LL25	6113	2.40377		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	6.01	1
45457	GT ZFLL	LL25	6114	1.26543		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	4.68	1
45457	GT ZFLL	LL25	6114	1.26543		2024	6	lunes, 10 de junio de 2024	PROYECTOS	4. DISPONIBLE PARA ENVÍO	4.68	1

Apéndice E: Base de datos piezas enviadas a sitio (ejemplo)

FECHA	PROYECTO	TIPO	TONELAJE	LONGITUD	AÑO	MES	ELEMENTO	CATEGORIA	Inicio de la semana	CANTIDAD	GRUPO
miércoles, 12 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 12 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 12 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 12 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 12 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 12 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 12 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
jueves, 13 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
jueves, 13 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
jueves, 13 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
jueves, 13 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
jueves, 13 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
jueves, 13 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
jueves, 13 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
jueves, 13 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
jueves, 13 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
jueves, 13 de junio de 2024	GT ZFL_	1012	5.45027	2.4	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
viernes, 14 de junio de 2024	GT ZFL_	2001	12.00893	14.1	2024	6	Columna de Nav	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
viernes, 14 de junio de 2024	GT ZFL_	2002	12.00893	14.1	2024	6	Columna de Nav	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
sábado, 15 de junio de 2024	GT ZFL_	2048	11.48189	13.056	2024	6	Columna de Nav	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
sábado, 15 de junio de 2024	GT ZFL_	2047	11.94224	13.56	2024	6	Columna de Nav	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
sábado, 15 de junio de 2024	GT ZFL_	2048	11.48189	13.056	2024	6	Columna de Nav	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
sábado, 15 de junio de 2024	GT ZFL_	2046	11.94224	13.56	2024	6	Columna de Nav	PROYECTOS	lunes, 10 de junio de 2024	1	5. SITIO
lunes, 17 de junio de 2024	GT ZFL_	2043	10.62568	12.386	2024	6	Columna de Nav	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
lunes, 17 de junio de 2024	GT ZFL_	2044	10.62568	12.386	2024	6	Columna de Nav	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
lunes, 17 de junio de 2024	GT ZFL_	2045	11.48189	13.056	2024	6	Columna de Nav	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
lunes, 17 de junio de 2024	GT ZFL_	2003	12.00893	14.1	2024	6	Columna de Nav	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 19 de junio de 2024	TRELLEBORG ZFE_	1003	6.2877	2.125	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 19 de junio de 2024	TRELLEBORG ZFE_	1003	6.2877	2.125	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 19 de junio de 2024	TRELLEBORG ZFE_	1003	6.2877	2.125	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 19 de junio de 2024	TRELLEBORG ZFE_	1003	6.2877	2.125	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 19 de junio de 2024	TRELLEBORG ZFE_	1002	3.42609	1.725	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 19 de junio de 2024	TRELLEBORG ZFE_	1002	3.42609	1.725	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 19 de junio de 2024	TRELLEBORG ZFE_	1002	3.42609	1.725	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 19 de junio de 2024	TRELLEBORG ZFE_	1002	3.42609	1.725	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 19 de junio de 2024	TRELLEBORG ZFE_	1002	3.42609	1.725	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO
miércoles, 19 de junio de 2024	TRELLEBORG ZFE_	1002	3.42609	1.725	2024	6	Placa Estandar	PROYECTOS	lunes, 17 de junio de 2024	1	5. SITIO