

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Construcción

Aplicación de la filosofía Lean Construction y la simulación al mejoramiento de los procesos constructivos en Grupo Yeril.

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

Sebastián Espinoza Navarro

Cartago, Junio 2020.

ACTA DE CALIFICACIÓN DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

A las 11:00 horas del 07 de mayo del 2020, se realizó la presentación oral del proyecto de graduación denominado "Aplicación de la filosofía Lean Construction y la simulación al mejoramiento de los procesos constructivos en Grupo Yeri.", por parte del estudiante Sebastián Espinoza Navarro, carné 2014160111, para optar por el grado de Licenciatura.

La calificación final de este proyecto de graduación es de 90 puntos.

En fe de lo anterior firmamos en Cartago, los siguientes integrantes del grupo evaluador.

MANUEL
ANTONIO
ALLAN ZUÑIGA
(FIRMA)

Digitally signed by
MANUEL ANTONIO
ALLAN ZUÑIGA
(FIRMA)
Date: 2020.05.27
09:06:42 -06'00'

Ing. Manuel Alán Zúñiga.
En representación del Director

GUSTAVO
ADOLFO
ROJAS MOYA
(FIRMA)

Firmado
digitalmente por
GUSTAVO ADOLFO
ROJAS MOYA
(FIRMA)
Fecha: 2020.06.08
10:39:17 -06'00'

Ing. Gustavo Rojas Moya.
Profesor Guía



Ing. Ana Grettel Leandro Hernández.
Profesora Lectora

SONIA VARGAS
CALDERON
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por SONIA VARGAS
CALDERON (FIRMA)
Fecha: 2020.06.08
09:31:02 -06'00'

Ing. Sonia Vargas Calderón.
Profesora Observadora

Aplicación de la filosofía *Lean Construction* y la simulación al mejoramiento de los procesos constructivos en Grupo Yeril

Abstract

This work studies the construction process and its improvement in Steel structures through *Lean Construction* philosophy and simulation modeling in FlexSim 2019.

In order to identify the state of the Lean philosophy at the workshop, interviews were made to the staff and walks through it. The information collected through interviews and walks the processes and sub processes were defined of the steel structures manufacturing, which are divided in framed, welding and painting.

Tool, including process flow diagrams, Ishikawa diagrams, travel diagrams and crew balance charts among other were used in order to develop the analysis of the project. Also a work sampling chart was made to quantifying the workmanship time waste.

Cycle time samples were taken to evaluate the construction process of "Centro de Convenciones Caja ANDE" project. Descriptive Statistics were applied to the samples resulting in variation coefficients higher than 0,9 in 5 of 18 cases studied, which represents high variations in work for the same structure type.

Finally, the simulation modeling in FlexSim was calibrated to the point to produce a 7% difference between the real production and simulated production. To the fitted model were added a new welding station and a painting station, so, the waiting time decreases from 13,6 to 2,0 hours for the welding process, and from 18,4 to 1,5 hours for painting process.

Key words: *Steel constructions, Lean Construction, FlexSim 2019, crew balance.*

Resumen

En este trabajo se estudia los procesos constructivos y su mejoramiento de la fabricación de estructuras metálicas en taller, por medio de la filosofía *Lean Construction* y la simulación por medio del software FlexSim 2019.

Con el fin de identificar el estado de la filosofía Lean en el taller se realizaron entrevistas a personal y recorridos por el taller que permitieron definir los procesos y subprocesos de la fabricación de estructuras metálicas, los cuales se dividen en armado, resoldado y pintura.

Por otra parte, se realizaron diagramas de flujo, de Ishikawa y de recorrido. Además, se realizaron mediciones de productividad aplicando el método de la carta de balance para cada proceso y se realizó un muestreo del trabajo para cuantificar el desperdicio de mano de obra debido al daño de una de las grúas viajeras del taller.

Para evaluar los procesos de construcción se tomaron muestras del tiempo de ciclo de las estructuras del proyecto Centro de Convenciones Caja ANDE. Aplicando estadística descriptiva a estas muestras, se obtuvieron coeficientes de variación por encima de 1,00, lo que muestra altas variaciones en el trabajo para un mismo tipo de elemento.

El modelo de simulación en FlexSim 2019 se logró calibrar al punto en que se obtuvo una diferencia de producción entre la simulada y la real de un 7%. A dicho modelos se le agregó una estación de resoldado y otra de pintura para disminuir los tiempos de espera de 13,6 a 2,0 horas en resoldado y de 18,4 horas en pintura a 1,5 horas.

Palabras clave: *estructuras metálicas, Lean Construction, FlexSim 2019, carta de balance*

Aplicación de la filosofía *Lean Construction* y la simulación al mejoramiento de los procesos constructivos en Grupo Yeril

Aplicación de la filosofía *Lean Construction* y la simulación al mejoramiento de los procesos constructivos en Grupo Yeril

Sebastián Espinoza Navarro

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

Junio del 2020

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	5
Marco Teórico	7
Metodología	21
Resultados	26
Análisis de resultados	95
Conclusiones.....	108
Recomendaciones	110
Apéndices	111
Anexos	112
Referencias.....	113

Prefacio

La empresa Grupo Yeril inicia en el mercado de las estructuras metálicas desde el año 1984 y actualmente se encuentra especializada en este sector. La empresa presta servicios de comercialización y construcción de estructuras metálicas y ha participado en gran cantidad de proyectos de diferentes magnitudes a lo largo de todo el territorio nacional, tanto en obras públicas como privadas.

Para la empresa la mejora de los procesos constructivos es de vital importancia para proyectarse a un mayor crecimiento con el fin de abarcar una mayor cantidad de proyectos de construcción, por lo que la filosofía *Lean Construction* es la vía más apta para el mejoramiento de los procesos, no solo a nivel operativo sino también a nivel administrativo.

Los principios de enfoque al cliente, control a los procesos y mejora continua permiten aportar un mayor valor agregado al producto final de la empresa, así como la identificación y eliminación de desperdicios.

Los modelos de simulación representan una herramienta de alto poder para la toma de decisiones en los procesos de manufactura, a pesar de que la empresa se dedica a un proceso con alta incidencia de mano de obra humana como lo es la construcción, la configuración en taller permite una similitud con un modelo de industria manufacturera. El modelo para la empresa representa un inicio en la implementación de modelos de simulación que permita la innovación, para estimar la duración de proyectos completos, si se llega a un nivel de detalle del modelo.

Este trabajo busca mejorar los procesos constructivos en las estructuras metálicas por medio de la filosofía Lean y los modelos de simulación. Los principios de enfoque al cliente, control a los procesos, mejora continua, disminución del tiempo de ciclo; entre otros, se buscan aplicar en el siguiente trabajo.

Agradezco a todos los profesores que forman parte a la Escuela de Ingeniería en Construcción por compartir su conocimiento y

experiencias de vida a lo largo del estudio de la carrera, especialmente al profesor Ing. Gustavo Rojas Montoya por guiarme durante la ejecución del proyecto. También agradezco al Ing. Marcos Moya Navarro, por sus valiosos consejos para el manejo del software de simulación. A todos los miembros de la empresa Grupo Yeril S.A que me colaboraron para completar el presente proyecto. Así mismo agradezco a los miembros de toda mi familia por el apoyo brindado a lo largo de estos años de estudio, en especial a mi padre, madre y hermana por su apoyo incondicional, que han sido fuente de inspiración y que han creído en mí para completar la carrera y metas propuestas.

Resumen ejecutivo

Lean Construction es una filosofía que pretende maximizar los recursos disponibles en cualquier ámbito de la construcción. En este caso, la filosofía es enfocada en la fabricación de estructuras metálicas, además, se adiciona la simulación en 3D por medio del software FlexSim 2019.

En la Escuela de Ingeniería en Construcción, el proyecto representa otro ejemplo de aplicación de la filosofía Lean en el sector de la construcción. Sin embargo, el valor agregado es que presenta un estudio de la variabilidad del trabajo en horas de la mano de obra, a partir del cual se generaron rendimientos utilizando como unidad agregada los kilogramos procesado en una hora de trabajo para capa proceso (armado, resoldado y pintura). Por otra parte, a partir del trabajo en horas medido por tipo de pieza, se verificó si existía una correlación en el proceso de carácter lineal entre los kilogramos procesados en función de las horas de trabajo.

Otro valor agregado es la aplicación de modelos de simulación para representar el taller de producción en un ambiente de tres dimensiones por medio del software FlexSim 2019, lo cual para la escuela de Ingeniería en Construcción representa un inicio en la modelación de procesos en este tipo de ambiente, en búsqueda de aplicar la simulación a más sectores de la construcción.

Para la empresa evaluada, el estudio representa una base para poder generar modificaciones y mejoras a los procesos. Además, de que representa un inicio en la aplicación de softwares de simulación y una apertura en la empresa para generar estudios similares con el fin de mejorar los procesos de fabricación de estructuras metálicas.

Con el fin de mejorar los procesos de construcción de la empresa se realizaron específicamente los siguientes objetivos con las herramientas dictadas:

- Identificar prácticas de la filosofía *Lean Construction* en el taller Belén. Para cumplir con este objetivo fue necesario la aplicación de entrevistas a personal administrativo, también, las

conversaciones con personal operativo tuvieron un gran valor.

- Identificar los procesos y subprocesos para la construcción de estructuras metálicas en taller. Las entrevistas aplicadas también fueron en función de cumplir con este objetivo, así como las conversaciones con el personal operativo y recorridos diarios realizados al taller.
- Analizar los procesos constructivos de la empresa en la producción de estructuras metálicas en taller Belén para la identificación de desperdicios. En este punto se realizaron diagramas de flujo, de recorrido y de causa efecto, además de un levantamiento del control de calidad presente en el taller. Además, se realizó mapeos del flujo de valor del proceso de fabricación, mediciones de mano de obra.
- Evaluar la productividad de la mano de obra para la confección de estructuras metálicas. Este objetivo se realizó por medio de la carta de balance y la aplicación de un muestreo del trabajo.
- Simular el taller de producción por medio del software FlexSim 2019. Para este punto fue necesario realizar el modelo para luego calibrarlo, en función de que el modelo represente la realidad.
- Proponer medidas para el mejoramiento de la confección de estructuras metálicas en taller. Este punto fue realizado en función de los resultados de los objetivos anteriores y se propuso ajustes en el modelo de simulación para disminuir los tiempos de espera, así como la variabilidad.

Dentro de las prácticas Lean identificadas se tiene la aplicación de la herramienta del último planificador, con su respectiva programación detallada y reuniones PMO semanales.

Con la identificación de procesos y subprocesos se obtuvo tres procesos principales con sus respectivos subprocesos:

- Armado
 - Trazado de estructura
 - Corte y perforación de material
 - Biselado
 - Armado (ensamblado) según planos
 - Agregar accesorios
- Resoldado
 - Aplicar soldadura
- Pintura
 - Lavado de pieza
 - Remover virutas
 - Remover óxido
 - Aplicación pintura

Al analizar los diagramas de causa efecto se obtuvo que dentro de los problemas que más incidían dentro de los procesos fueron el estado de materiales, inconvenientes con accesorios y errores en planos de taller.

En cuanto al desperdicio de mano de obra se obtuvo que se pierden 253 460 colones semanales aproximadamente, debido a los recorridos del personal operativo a servicios sanitarios, consultas a oficina de producción o por solicitud de insumos a bodega.

En la evaluación de los procesos se obtuvo que para el proceso de armado la mayor productividad obtenida es de un 39,5%, para el resoldado la mayor productividad fue de un 49,50%, para el subproceso de limpieza la productividad alcanzó un nivel máximo de 79,25% y para la aplicación de pintura se alcanzó un nivel del 38,50%.

Para el caso de las cerchas de techo central se tuvo que la empresa tuvo un tiempo de entrega del producto de 18,7 días naturales en el que el valor agregado del flujo fue de 907,5 minutos, es decir de 15,12 horas.

En cuanto al tiempo de trabajo por proceso la media tiene variaciones de hasta un 119%, sin embargo también se presenta variaciones relativamente bajas de hasta un 17%. Bajo el mismo estudio del tiempo de trabajo, se obtuvo independencia entre la unidad agregada establecida (kilogramos) y las horas necesarias para procesar las piezas.

Para el modelo de simulación en FlexSim 2019, se realizó la verificación con el modelo de probabilidad obtenido, al comparar los resultados de este con los esperados, lo que generó variaciones de hasta un 11,8%. Posteriormente se realizó la calibración del ciclo completo de las piezas, con el que se obtuvo variaciones de hasta un coincidiera con el tiempo de trabajo por proceso para cada pieza en la realidad. La producción del taller según el modelo de simulación es de 289 kg/h y producción real del taller es de 270 kg/h, según indicó el ingeniero de producción del taller.

Además, el tiempo de espera para el proceso de resoldado es de 13,6 horas y para el proceso de pintura es de 18,4 horas.

Bajo estos tiempos de espera se propone agregar una estación de resoldado y de pintura, con lo que se obtienen tiempos de espera de 2,0 y 1,5 horas respectivamente.

Con el modelo de simulación se obtuvo que el cuello de botella en la fabricación de las estructuras metálicas, corresponde al proceso de pintura.

Entre las principales conclusiones al trabajo se tiene:

- El desperdicio de mano de obra por transporte hacia los servicios sanitarios, oficina de producción y bodega se traduce en una pérdida de 253 460 colones semanales. Este desperdicio se pretende disminuir con la mejora de un puesto de trabajo en bodega, instalación de servicios sanitarios y un sistema de llamado para la verificación final del jefe de armadores.
- El proceso que genera más valor al ciclo completo de trabajo es el de pintura, ya que para la limpieza se tiene un promedio de un 71,25% para los tres colaboradores evaluados y para la aplicación de pintura se tiene un 37,79%. Mientras que el proceso que genera menos valor es el proceso de armado con un 31,9% de actividad productiva.
- El mal funcionamiento de una de las grúas viajeras afecta en gran medida a la productividad de la planta donde se da un desperdicio de 24,8% de la mano de obra. Con la aplicación de las plumas hidráulicas se espera mitigar el impacto por espera de grúa.
- El ciclo completo de producción presenta altos desperdicios por esperas, donde el

Lead Time es de 18,7 días el tiempo de valor agregado es de 907,5 minutos según el mapa de flujo de valor del estado actual para las cerchas de techo central evaluadas.

- El proceso de pintura es el cuello de botella de la planta, ya que presenta 18,4 horas de espera, mientras que el resoldado presenta 13,6 horas de espera.
- La mejora con nuevas estaciones de resoldado y pintura disminuye las esperas de 13,6 y 18,4 horas en resoldado y pintura respectivamente a 2,0 y 1,5; sin embargo, la actividad de trabajo con las nuevas estaciones disminuyó de un 81% a un 65,97% para el resoldado y de un 86% a un 58,9% para el proceso de pintura.

1. Introducción

La filosofía de producción Lean se inició inicialmente en la industria automotriz específicamente en la fábrica de automóviles Toyota. La filosofía desarrollada por la empresa japonesa busca maximizar los recursos disponibles en la empresa bajo dos pilares, la mejora continua y la eliminación de desperdicios.

Posteriormente la filosofía se aplicó a otros ámbitos de la economía para abarcar al sector construcción donde Lauri Koskela (1992) dicta aplicar un enfoque al cliente, reducir la variabilidad, aumentar la flexibilidad de las salidas, entre otras.

Entre las herramientas desarrolladas bajo la filosofía *Lean* se encuentra el último planificador, el mapeo del flujo de valor, estas herramientas se complementan con las 5'S, diagramas de flujo, diagrama de recorrido, diagrama de causa efecto.

La empresa estudiada se encuentra en proceso de implementar la filosofía *Lean*; por lo que el presente proyecto, representa un inicio para el estudio de la filosofía en el taller de estructuras metálicas y como producto final se cuentan con mejoras a los procesos e implementaciones de nuevas herramientas operativas.

En trabajos anteriores con la implementación de la filosofía Lean se ha mostrado conclusiones positivas. Tal es el caso del proyecto realizado por Daniel Cordero (2015) donde logró identificar los causantes de la problemática de calidad y entrega tardía del producto final en estructuras metálicas, aplicando diagramas de flujo, de Pareto, de causa efecto, de recorrido y mediciones de productividad. Uno de los factores más

Otro trabajo con temática similar fue el proyecto final de graduación realizado por Christopher Cruz (2017) aplicando los principios Lean y el cual aplicó la herramienta del mapeo del flujo de valor para una auto hormigonera, sumado con diagramas de recorrido, de flujo, de causa-efecto, además de análisis FODA y mediciones de

productividad. Uno de los principales resultados del proyecto, corresponde en que aumentó el volumen de producción de concreto colocado hasta en un 232% en los picos de producción.

En el presente trabajo se aplicaron las metodologías anteriormente descritas mencionadas, sin embargo se realizaron mediciones del tiempo de trabajo para armado, resoldado y pintura con el fin de obtener los niveles de variación de las muestras. Por otra parte se le añadió un modelo de simulación con el programa FlexSim 2019, así como generar mejoras a partir del programa de simulación. Para generar este modelo de simulación fue necesario generar modelos de probabilidad a partir de la distribución de datos obtenidos en las muestras.

2. Objetivos

Objetivo general

- Proponer mejoras en los procesos constructivos de la empresa mediante la implementación de la filosofía *Lean Construction*.

Objetivos específicos

- Identificar prácticas de la filosofía *Lean Construction* en el taller Belén.
- Identificar los procesos y subprocesos para la construcción de estructuras metálicas en taller.
- Analizar los procesos constructivos de la empresa en la producción de estructuras metálicas en taller Belén para la identificación de desperdicios.
- Evaluar la productividad de la mano de obra para la confección de estructuras metálicas.
- Simular el taller de producción por medio del software FlexSim 2019.
- Proponer medidas para el mejoramiento de la confección de estructuras metálicas en taller.

Alcance y limitaciones

- Por la limitación de tiempo para generar el trabajo no se implementaron las mejoras propuestas en el presente estudio.
- El estudio se limita al taller Belén para la fabricación de estructuras metálicas, tomando en cuenta desde el punto en que la materia prima se encuentra en la zona de trabajo de los armadores, culminando en cuanto la materia prima se transformó

- en producto final a espera de ser retirada del taller.
- Se analizó el trabajo en horas hombre para el armado, resoldado y pintura de las vigas y marcos de entrepiso; vigas, columnas y cerchas de techo; y columnas de gradería del proyecto Centro de Convenciones Caja ANDE. Estas piezas fueron las consideradas para generar el modelo de simulación en FlexSim 2019.
- Se modeló solamente la nave 1 del taller Belén en el programa FlexSim 2019.

3. Marco Teórico

En esta sección se pretende dar a conocer conceptos relevantes para la comprensión del siguiente trabajo de graduación.

Producción *Lean*

Producción *Lean* es una filosofía de mejora continua nacida en el ámbito industrial, con la que se pretende identificar y eliminar desperdicios en los procesos productivos.

Para ello, en los procesos se debe identificar las operaciones que conlleva al producto final, según Hines y Rich (1997) estas operaciones se pueden clasificar en tres categorías:

- Operaciones que no agregan valor: dentro de estas se encuentran las acciones innecesarias que se convierten en desperdicios. En muchas ocasiones se referirá a estas operaciones como acciones improductivas.
- Operaciones necesarias pero que no agregan valor: son las acciones que se deben llevar a cabo pero que no forman parte del proceso directo para llegar al producto final. Se puede referir a este tipo de acciones como acciones contributivas.
- Operaciones que agregan valor: es el trabajo que genera avance directo para el producto final del proceso productivo. A estas se les puede considerar igualmente acciones productivas.

Por otra parte, Gil (2017) sostiene que, bajo esta filosofía se deben hacer cambios hacia la excelencia mediante variantes paulatinas y constantes, contrario a cambios drásticos en la organización, a la que los colaboradores presentarán una mayor resistencia a las variantes y como consecuencia directa se realizará una pérdida de productividad. Además Gil (2017)

menciona que en un artículo publicado en el año 2000 por la revista *The Economist*, menos del 20% de las empresas logran introducir *Lean* a su organización por medio de mejoras claras y cuantificables, por lo que su implementación debe ser un compromiso de todas las partes que conforman a la empresa.

Bajo esta filosofía los problemas no son vistos como un impedimento, sino como una oportunidad de mejorar, innovar y resolver de forma eficiente los inconvenientes.

Reseña histórica

Aunque se conoce que en muchas civilizaciones se dieron indicios de los principios *Lean* a lo largo de siglos pasados, no fue hasta que en la compañía automovilista Toyota Motors, fundada en 1929 por Sakichi Toyoda, que obtuvo su mayor auge. Esto a partir de la necesidad de producir la mayor cantidad de vehículos con los escasos recursos producto de la situación económica presente en Japón en el periodo de la post-guerra. (Gil, 2017)

El modelo productivo de Toyota fue implementando mejoras en temas de estandarización y de gestión de calidad con el pasar de los años, pero no fue hasta los años 80 en donde se demostró al mundo la eficacia de la implementación de las herramientas de mejora de la calidad y planificación desarrolladas por la empresa japonesa, así como la filosofía de mejora continua. (Gil, 2017)

En 1987, el equipo liderado por James Womack y Daniel Jones, del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés), encargado del estudio del modelo de producción de Toyota Motors durante los cinco años anteriores, acuñaron el término *Lean Management* para difundir los ideales y herramientas aplicadas por el fabricante japonés; este término fue propuesto por el ingeniero John Krafcik. (Gil, 2017)

Construcción *Lean*

La construcción *Lean* hace referencia a la filosofía producción *Lean* enfocada en el ambiente de la construcción. La adjudicación de los pensamientos *Lean* a la construcción, se produce pocos años después de la difusión de la cultura *Lean* por parte de los ingenieros Womack y Jones en 1987, por medio del ingeniero finlandés Lauri Koskela en 1992 con su documento “*Application of the new production philosophy to Construction*”.

De igual forma, *Lean Construction* busca maximizar el valor del producto final y eliminar los pasos que no sean necesarios bajo la filosofía de mejora continua.

Principios básicos de construcción *Lean*

Los principios de la filosofía *Lean* varían dependiendo del enfoque de aplicación; en el caso de Producción *Lean* son cinco principios, sin embargo, para Construcción *Lean* son 11 principios (Marhani, 2012), para el presente trabajo se mencionará los principios redactados por Koskela (1992), los cuales fueron realizados en el ámbito de la construcción:

- Reducir las actividades que no aportan valor: según Koskela (1992) “parece haber tres causas principales que conllevan a actividades que no agregan valor al producto estas son: diseño, ignorancia y la naturaleza de la producción” (p. 18).
Cuando una tarea se divide en dos sub-tareas realizadas por diferentes especialistas, las actividades que no agregan valor tienden a aumentar.
- Aumentar el valor del producto según los requerimientos del cliente: el valor es generado a partir de completar los requerimientos del cliente. Para toda actividad existe dos tipos de clientes, las actividades siguientes como tales y el cliente final.
- Reducir variabilidad: aunque dos piezas lleven el mismo proceso, a estas no se le aplicaron los mismos recursos (tiempo, materia prima, trabajo).

Existen dos razones para reducir la variabilidad: la primera de ellas es que cualquier desviación en la meta produce un desperdicio y la segunda, principalmente en el tiempo invertido es debido a que aumenta el tiempo de ciclo. En este aspecto la estandarización ocupa un papel fundamental en la disminución de la variabilidad.

- Reducir el tiempo de ciclo: el tiempo de ciclo está conformado por el tiempo de proceso, tiempo de inspección, tiempo de espera y tiempo de movimiento. Bajo la filosofía *Lean* estos tiempos deben tender a ser comprimidos para así disminuir su totalidad.
- Minimizar los pasos para simplificar el proceso: estas pueden ser en el flujo de materiales o el de información. Puede realizarse de dos formas, eliminando las actividades que no agregan valor, o reconfigurando las actividades que agregan valor.
- Aumentar la flexibilidad de las salidas: este principio parece ser contradictorio al de simplificar el proceso, sin embargo, estos dos principios deben ser aplicados de igual forma en el proceso. En este aspecto Stalk & Hold (1990) citado por Koskela (1992) especifica que se pueden realizar prácticas para buscar la mayor flexibilidad, tales como minimizar el tamaño de los lotes a lo demandado, reducir la dificultad de configuraciones y cambios, personalizar al final del proceso tan tarde como sea posible, capacitar a los colaboradores para multi-tareas.
- Incrementar la transparencia del proceso: la falta de transparencia en el proceso incrementa la probabilidad de errores y se es más difícil su detección, además disminuye la motivación de los colaboradores, con esto se pretende llegar a tener un control más eficiente y así poder mejorar los procesos.
- Concentrar control en el proceso completo: existen dos causas por las cuales se debe segmentar el control: el flujo a atraviesa diferentes unidades en la jerarquía organizacional o el proceso cruza una frontera organizacional. Además, se encuentran dos prerequisites para aplicar control a todo

el proceso: el primero de ellos es que todo el proceso debe ser medido como requerimiento y el segundo es que debe haber una autoridad controladora para el proceso completo.

- Introducir mejoras continuas en el proceso: el esfuerzo de reducir desperdicio y aumentar valor es una actividad interna, incremental e iterativa que debe llevarse a cabo continuamente. (Koskela, 1992).
- Balancear mejora del flujo con mejoras de cambios: entre más complejo sea el proceso más grande será su impacto en el flujo del proceso. Flujos más controlados permiten mejoras en cambios a realizar, ayudan a crear procesos con menor variabilidad y mayor eficiencia. (Carneiro et al, s.f.)
- Benchmarking: contrario a las tecnologías de cambio, el mejor flujo de procesos no está comercializado hacia las empresas, por lo que se debe encontrar los mejores procesos de clase mundial e innovar hacia estos procesos.

Desperdicios

Como se mencionó anteriormente, los desperdicios son el producto de las acciones que no agregan valor al objetivo final; por otra parte, si agregan costo que debe ser cubierto por la entidad encargada de la producción. Sin embargo, estos costos se transmitirán en forma de precios en el mercado que los clientes o consumidores de los productos de la empresa deben pagar.

La identificación y eliminación de los desperdicios es posible gracias a una serie de herramientas que se mencionará más adelante en este capítulo.

Según Hines y Rich (1997) los tipos de desperdicios se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Sobreproducción: es considerado el desperdicio más serio, ya que merma la calidad y la productividad de la cadena de valor. Además, la sobreproducción guía al proceso a generar excesivos tiempos de espera y tiempos de almacenamiento. Producto de esta sobreproducción se

tenderá a generar errores que no serán identificados con anticipación.

- Esperas: este tipo de desperdicio se produce cuando el tiempo ha sido utilizado ineficientemente, se evidencia cuando no se está trabajando en los bienes o se están movilizándolo.
- Transporte: este tipo de desperdicio se expresa en el momento en que los bienes se encuentran en movimiento. Un exceso de transporte se traduce en un mayor tiempo improductivo. Para este desperdicio se busca la mayor reducción posible de estas acciones.
- Procesos innecesarios: se presentan cuando se utilizan soluciones sobredimensionadas para situaciones simples. Este tipo de desperdicio puede conllevar a otro tipo de desperdicio tal como la sobreproducción, ya que incita a que los colaboradores aumenten el ritmo con el fin de compensar el desperdicio producto del proceso innecesario.
- Inventario innecesario: el tiempo de espera tiende a incrementar cuando se encuentra exceso de inventario. El exceso de inventario estimula problemas en la organización tales como la identificación tardía de errores y la falta de comunicación. La forma de identificar y eliminar estos problemas es a través de la eliminación del inventario.
- Movimientos innecesarios: este desperdicio se presenta en el momento en que los colaboradores realizan acciones tales como extenderse, agacharse o levantar objetos cuando estas acciones podrían ser evitadas. Este aspecto se correlaciona con la ergonomía en los puestos de trabajo.
- Defectos: son disconformidades identificadas en los controles de calidad, lo que conlleva a reprocesos, con un impacto económico igual o superior al realizado antes de la identificación de la disconformidad. Estos defectos deben ser considerados como oportunidades de mejora de acuerdo con el enfoque de la cultura *Lean*.

Otro tipo de desperdicio que se debe tener en cuenta es el **talento** de los colaboradores, al tener el conocimiento para el que fueron formados

y la capacitación que han recibido en el lapso de tiempo que han fungido para la empresa, así como en otras empresas en las que hayan estado.

En muchos casos los desperdicios mencionados anteriormente se traducen como residuos de **materiales** de la actividad. Por lo que un correcto diseño del proceso productivo y una comunicación fluida conlleva a una disminución en los residuos de la materia prima.

Herramientas

El último planificador

Es comúnmente llamado *Last Planner* debido al origen del término utilizado para el método desarrollado por los japoneses.

Según el Instituto de *Lean Construction* (2015) (LCI, por sus siglas en inglés), esta metodología consiste en promover la comunicación entre los maestros de obras y los administradores del proyecto con el fin de prever inconveniente antes de que sean problemas críticos.

El objetivo es crear un proceso de planificación en un ambiente de trabajo en equipo con alto grado de confianza.

Es llamado último planificador debido a que participan las personas encargadas de asignar tareas directamente a los trabajadores, o suministradores de equipo y material, por lo que su participación se traduce a una planificación más detallada tomando en consideración filosofías propias de *Lean* como *Just In Time*, *Value Stream Mapping* y *Pull Planning*. (LCI, 2015)

Para llegar a implementar la metodología *Last Planner*, se debe contar con al menos cuatro niveles de planificación, como lo son la planificación estratégica, planificación por fases, planificación *Look ahead* (ver hacia adelante) y por último la planificación detallada.

Etapas de la planificación

Según el LCI (2015) existen cuatro etapas de la planificación utilizada bajo esta metodología.

La **planificación maestra** corresponde al trabajo que se debe realizar para llevar a cabo la totalidad del proyecto.

La **planificación por fases** corresponde al trabajo que se debe realizar en actividades, divide el plan maestro en secciones más detalladas. En esta etapa, se deben identificar restricciones mayores que representen inconvenientes de gran magnitud para el proyecto y tomar medidas preventivas. En esta fase es donde es recomendable el uso de la planificación *Pull*.

La **planificación *Look Ahead*** (ver adelante) toma en cuenta todas las tareas que se pueden a realizar en un lapso de 2 a 6 semanas, con el fin de identificar restricciones y así liberarlas. Los últimos planificadores participan de esta fase, ya que son los que poseen el mayor conocimiento.

La **Planificación detallada** corresponde a organizar y coordinar las tareas que se realizarán la próxima semana.

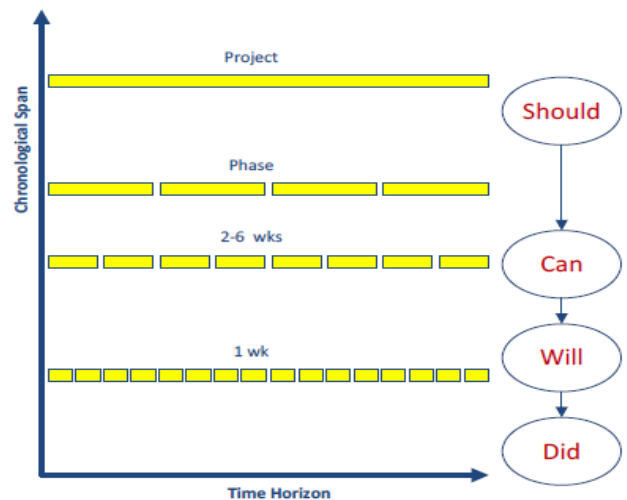


Figura 3. 1. Etapas de la planificación Fuente: Lean Construction Institute (2015)

Reuniones PMO

Son las reuniones de la Oficina de Administración del Proyecto, (PMO por sus siglas en inglés). Corresponden a reuniones semanales en las que participan los administradores del proyecto con los últimos planificadores. Estas se realizan para discutir la **planificación *Look Ahead*** y la **planificación detallada**. Además, se realiza la revisión de las tareas realizadas la semana anterior con el fin de obtener el porcentaje de tareas completadas, y se interactúa para determinar las razones del incumplimiento de tareas.

De igual forma se realizan reuniones diarias en campo con los últimos planificadores para dar seguimiento al avance de las tareas.

Mapeo del flujo de valor

El mapeo del flujo de valor (VSM, por sus siglas en inglés de *Value Stream Mapping*) es una herramienta bajo la filosofía Lean que permite la visualización del proceso e identificar desperdicios mediante un mapeo, muestra los valores añadidos que es lo que el cliente realmente paga, esto incluye materiales, información y procesos que contribuyen a formar el producto final con lo que su implementación conlleva a un plan de mejora en los procesos. (Cabrera, R.; s.f.)

Para esta herramienta se deben tener claro varios conceptos, tales como el *Lead time (LT)*, corresponde al tiempo de entrega del producto; el tiempo de valor añadido (VA) es el tiempo de trabajo dedicado a las tareas de producción de tal forma que el cliente está dispuesto a pagar por el producto". (Rother y Shook; 1999; p.21); el tiempo de ciclo (TC) "es la frecuencia medida por observación, con la que una empresa fabrica una pieza o producto completo. También es el tiempo que tarda un operador en realizar todas sus tareas de producción antes de repetirlas". (Rother y Shook; 1999; p.21)

La herramienta busca identificar los principales flujos por los que debe pasar un producto en la cadena de valor, desde la materia prima, hasta la entrega al cliente del producto final. (Rother y Shook; 1999). En otras palabras se grafica los procesos básicos de la cadena de valor.

El fin de crear un mapa de flujo de valor es entender mejor el proceso de producción, no enfocarse en una sola sección del proceso, sino más bien del flujo completo. Mientras se realiza el mapeo se debe ir confeccionando una visión del flujo de valor futuro, un estado del proceso al cual se quiere llegar. (Rother y Shook; 1999)

Bajo la filosofía *Lean* el flujo de materiales y el de información se considera igual de importante para las cadenas de producción, por lo que se recomienda el mapeo de ambas aristas. (Rother y Shook; 1999)

Rother y Shook (1999) aclaran que se debe enfocar el VSM en un tipo o familia de producto, ya que crear un mapa para cada familia de productos resultaría un procedimiento muy extenso y de alta dificultad.

Una vez seleccionada la familia, se procede a crear el mapa del estado actual de la planta, y posteriormente se debe crear el mapa del estado futuro para dar paso a un plan de implementación. Cabe destacar que la creación de los mapas actuales como los futuros es un proceso iterativo, en donde a medida que se crean van surgiendo nuevas ideas.

Por otra parte, para Cabrera (s.f.) existen cuatro tipos de actividades presentes en los procesos, como se muestra en la Figura 3.2. Tipos de actividades enfocadas al cliente. Fuente: Cabrera, s.f., en donde se categoriza las actividades con valor agregado y sin valor agregado, posteriormente cada categoría se subdivide en actividades necesarias y no esenciales, por último se recomienda cómo proceder con cada actividad identificada y categorizada.

En la figura 3.3 se puede observar un ejemplo típico del mapeo de flujo de valor de una empresa manufacturera.



Figura 3.2. Tipos de actividades enfocadas al cliente. Fuente: Cabrera, s.f.

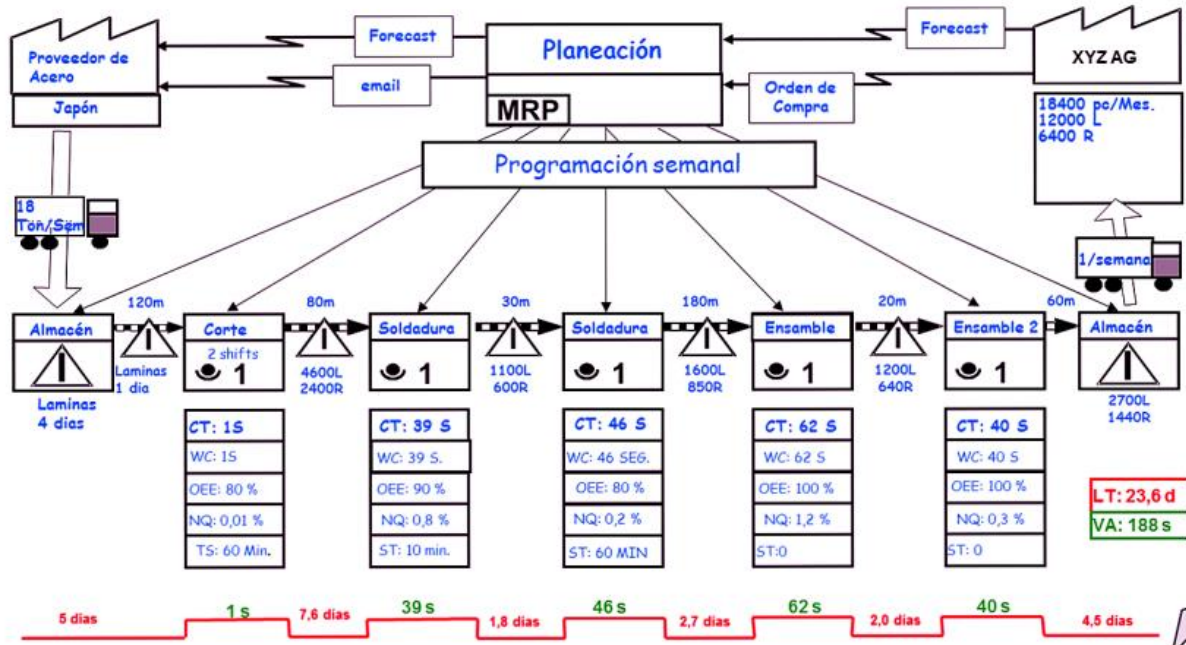


Figura 3. 3. Ejemplo de Value Stream Mapping Fuente: Valpuesta, 2016.

Las 5'S

Las 5'S representa otra de las metodologías creadas por los ingenieros japoneses de Toyota Motors. Su particular nombre proviene de los términos en japonés utilizados para ramificar la metodología como se detalla a continuación según lo presentado por Vázquez (2017):

- Clasificar (*Seiri*): se refiere a separar los elementos que se consideren innecesarios. Se consideran innecesarios los elementos duplicados, que no tengan participación en la tarea, o en mal estado. Los elementos se pueden clasificar en función del tiempo de uso que se les dé,
- Ordenar (*Seiton*): esta etapa consiste en la organización del sitio de trabajo de una forma eficaz. Consiste en ubicar elementos de un uso menos frecuente, debe estar en el puesto de trabajo, a la vista, pero sin estorbar. Por otro lado, elementos de uso frecuente en ubicaciones a mano. Por último, elementos de uso continuo, en el caso de herramientas, estas pueden estar en un porta herramientas de cinturón o en lugares muy a la mano. Según Vázquez (2017) es común el uso del lema "un lugar para cada cosa, y cada cosa en su lugar".
- Limpiar (*Seiso*): consiste en la limpieza del puesto de trabajo. Se pretende que se conviertan en parte de las actividades diarias que realiza cada colaborador. Se debe identificar las fuentes de suciedad y buscar su eliminación. Posteriormente esta etapa conllevará, entre otras cosas, a una ampliación de la vida útil de los equipos, además de que genera conocimiento sobre el equipo al buscar fuentes de suciedad.
- Estandarizar (*Seiketsu*): es la búsqueda de estandarizar procesos de modo consistente para que cualquier persona sea capaz de desarrollar cualquier puesto de trabajo dentro de la empresa. Esta debe realizarse en función de las necesidades de la empresa y no siguiendo el modelo de un agente externo.
- Mantener (*Shisuke*): esta etapa busca perdurar las medidas implementadas en las etapas anteriores. Ésta busca convertir

en un hábito, las innovaciones hechas anteriormente.

Según Vázquez (2017) el propósito en conjunto de todas estas etapas es mejorar las condiciones de trabajo, la disminución de tiempos muertos, la reducción de costos, preservar la seguridad y salud de los trabajadores y mejorar la calidad del trabajo realizado.



Figura 3. 4. Representación de la metodología 5'S Fuente: Vázquez, 2017

Diagrama de Flujo

Un diagrama de flujo corresponde a una representación gráfica de un proceso de una forma simple y versátil (Ramonet, 2004). Para su representación se utiliza figuras geométricas, a las que se les asigna una función.

Como se logra observar en la figura 3.5, los óvalos corresponden a hitos de inicio y final, los rectángulos corresponden a la ejecución de una actividad o tarea, y los rombos corresponden a puntos de decisión o condición.

Cabe destacar que se encuentra una mayor cantidad de figuras geométricas con diferentes significados, sin embargo, las figuras descritas anteriormente son las fundamentales para poder generar un diagrama de flujo básico.

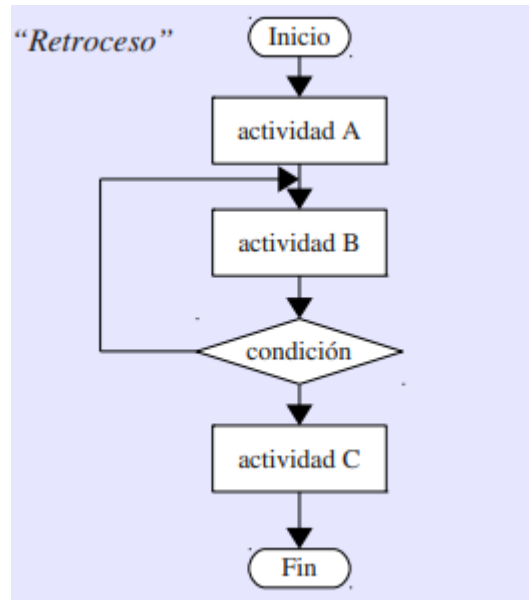


Figura 3. 5. Estructura básica de un diagrama de flujo. Fuente: Ramonet, 2004.

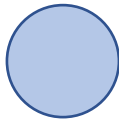
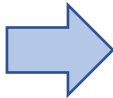

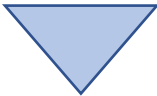

Diagrama de Recorrido

Los diagramas de recorrido son un gran complemento de los diagramas de flujo, ya que grafican el flujo del proceso descrito en los diagramas de flujo. El diagrama de recorrido corresponde a un esquema de distribución de planta y se muestran todas las acciones por las que debe pasar un producto o un operario.

Para una mejor comprensión, se utiliza una convención de signos con el fin de estandarizar la representación del diagrama. Los símbolos convencionales utilizados para este diagrama corresponden a los mostrados en la tabla 3.1.

En la figura 3.7 se encuentran un ejemplo de una planta manufacturera, que utiliza la simbología presentada en la figura 3.1.

Cuadro 3. 1. Simbología de las tareas

Actividad	Símbolo	Descripción
Operación		Tarea elemental de transformación o utilización de recursos.
Traslado		Movimiento de recursos de una zona de trabajo a otra.
Demora		Representa la espera de un recurso.
Almacenamiento		Ubicación de recursos en espera en zonas planificadas para abastecimiento.
Inspección		Punto de inspección del trabajo confeccionado.

Fuente: Adaptación de Serpell y Verbal, 1990.

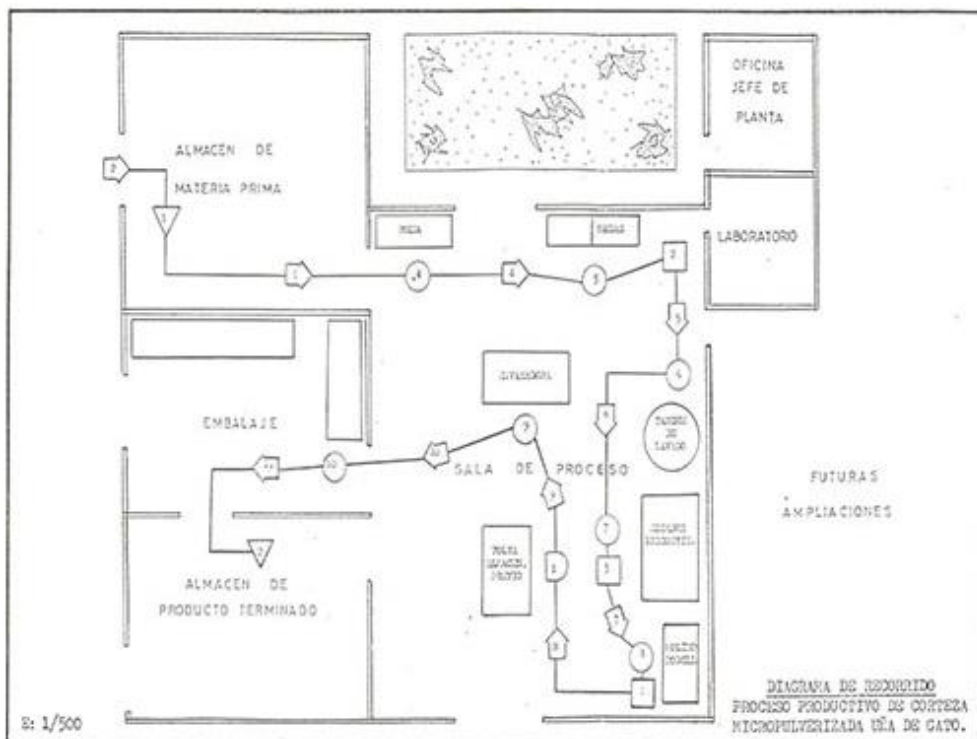


Figura 3. 6. Ejemplo de diagrama de recorrido. Fuente: Soloindustrias.com

Diagramas Causa-Efecto

Los diagramas causa-efecto, son también llamados diagramas de Ishikawa en función de su creador. Estos diagramas organizan la información recopilada de una forma gráfica con respecto a una problemática o efecto en particular, además es llamado diagrama de espina de pescado debido a su particular configuración al poner en práctica la técnica, en donde las espinas representan los ámbitos que producen la problemática, ramificándose a causas específicas de cada categoría evaluada y el problema se encuentra al inicio del diagrama como se muestra en la figura 3.7.

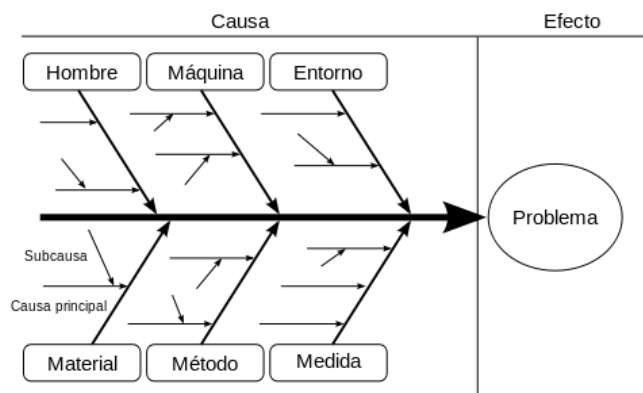


Figura 3. 7. Representación de diagrama de Ishikawa. Fuente: Median, s.f.

Productividad

La productividad es la relación que existe entre la producción y el insumo utilizado. Se mide en términos del grado en que puede extraerse un producto a partir del insumo dado. El tiempo puede considerarse un insumo pero de una naturaleza intangible, lo que dificulta su medición. (OIT, 1998)

Una mejora en productividad se puede percibir al hacer algún cambio en un proceso en el que la cantidad de productos terminados aumentó a partir del mismo insumo.

La productividad se puede ver afectada por diferentes agentes, tales como los materiales utilizados, máquinas y equipo, recursos humanos, energía utilizada. (OIT, 1998)

Por otra parte Serpell citado por Botero y Álvarez (2004) menciona que la productividad es

“la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado” (p.51)

En cuanto a la **eficiencia** corresponde a una buena y correcta administración de recursos para completar un producto específico. Por su parte la **efectividad** corresponde al cumplimiento de los requerimientos del producto final en cuanto a calidad, funcionalidad, satisfacción del cliente y cumplimiento de los plazos establecidos.

Por lo tanto tomando como referencia la figura 3.8 para que un proceso sea altamente productivo se debe poseer una alta eficiencia y alta efectividad.

UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS		
Pobre	Alta	
EFFECTIVO PERO INEFICIENTE	EFFECTIVO Y EFICIENTE ÁREA DE ALTA PRODUCTIVIDAD	Alto OBTENCIÓN DE LAS METAS
INEFECTIVO E INEFICIENTE	EFICIENTE PERO INEFECTIVO	Bajo

Figura 3. 8. Relación entre efectividad y eficiencia para la productividad. Fuente: Botero y Álvarez., 2004.

Tiempo productivo

Corresponde al tiempo dedicado a actividades de la elaboración de un producto que representa un avance directo sobre el producto y por lo tanto agregan valor al producto.

Tiempo contributivo

Corresponde a actividades que no generan avance directo sobre el producto pero que se deben realizar para complementar el producto.

Tiempo improductivo

Es el tiempo que se invierte en acciones que no afectan positivamente en la conclusión del avance real, son tiempo de ocio o tiempos muertos que por diferentes razones se llegan a producir, no

agregan valor al producto pero si generan costo al producto, al igual que el tiempo contributivo.

Carta de Balance

Es la representación gráfica mediante barras y detallada del tiempo invertido en cada acción realizada por la mano de obra. Se especifican acciones que forman parte del tiempo productivo, contributivo y tiempo improductivo.

El gráfico se configura con el tiempo en el eje de las ordenadas y el recurso analizado en el eje de las abscisas.

El objetivo de esta técnica es evaluar el método de construcción, más que el desempeño de los trabajadores. Mediante el análisis de los resultados se debe mejorar el método para disminuir los tiempos improductivos, así como los tiempos contributivos.

Muestreo del trabajo

El muestreo del trabajo es un método que consiste en realizar un gran número de observaciones en un momento determinado, sea éste para un proceso, maquinaria y equipo, o trabajadores, tomando en cuenta el nivel de confianza deseado así como la exactitud deseada. (Salas, s.f)

Para obtener la cantidad de mediciones necesarias para un muestreo con un 95% de confianza y un 5% de exactitud, se utiliza el monograma mostrado en la figura 3.10, donde además se especifica que para el sector de la construcción el tiempo productivo es entre el 40% y 60%, por lo que al trazar un eje mostrado se obtiene un tamaño de la muestra de 384 observaciones. Esta cantidad de observaciones se aplica tanto al muestreo del trabajo como a la carta de balance.

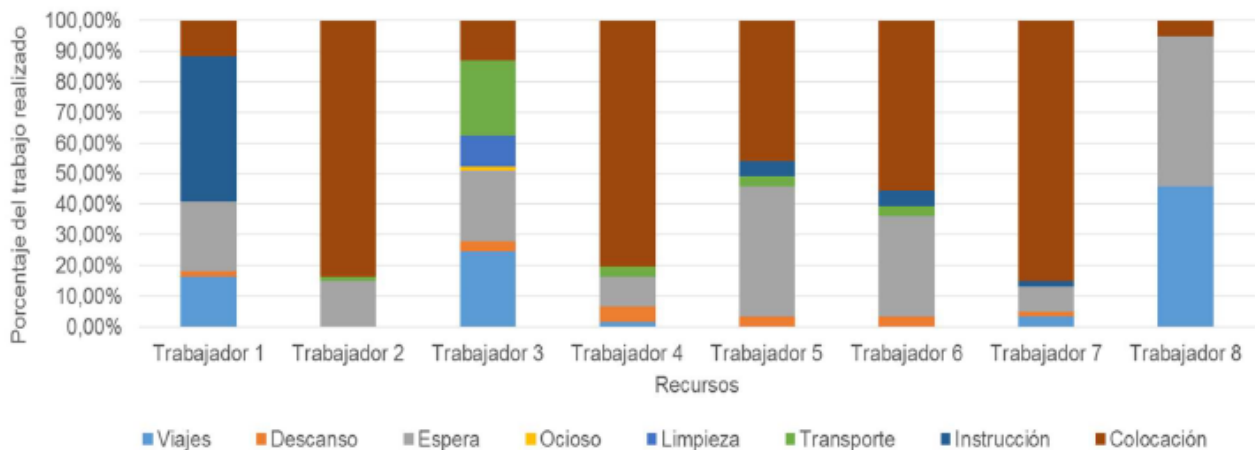


Figura 3. 9. Carta de balance. Fuente: Cruz, C; 2017

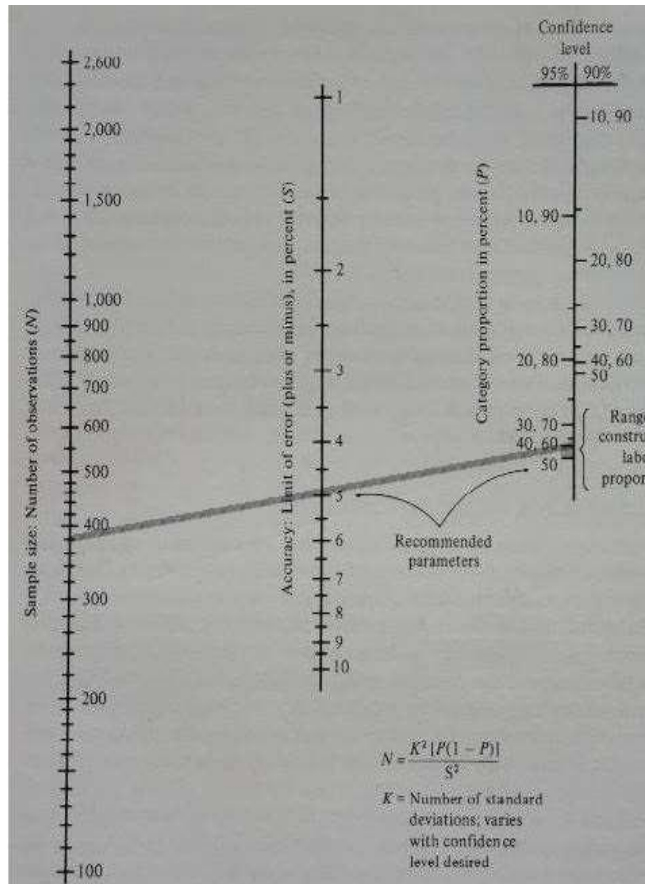


Figura 3. 10. Nomograma del número de observaciones necesarias para un nivel de confianza de un 95% en el muestreo de procesos en la construcción. Fuente: (Oglesby, Parker y Howell, 1988, citado por Cruz, 2017).

Modelos de simulación

Un modelo de simulación es una herramienta de ingeniería para la representación de un sistema productivo real, con el fin de evaluar su funcionamiento y respaldar innovaciones sobre él. Los modelos “permiten profundizar en las variables que afectan más significativamente al funcionamiento de la empresa, analizar sus interacciones y evaluar su impacto global.” (Puche, J et al, 2005, p.14). Estas representaciones pueden ser desde el sistema de producción completo como de un sistema de producción aislado.

Los modelos son confeccionados para evitar la experimentación con el sistema real y así, disminuir riesgos de índole económica, principalmente. Además, la herramienta complementa la toma de decisiones en la empresa y evaluación de adquisición de tecnología. (Puche, J. et al, 2005)

La simulación “nos permite dar respuestas rápidas a preguntas complejas y hacer las cosas bien a la primera oportunidad” (Puche, J. et al, 2005, p.17)

Un **sistema de producción** es un grupo de objetos que interactúan entre sí con un objetivo final preestablecido (sea éste un bien o información). (Puche, J. et al, 2005)

Los sistemas de producción están clasificados en dos categorías: **sistema de eventos discretos** y **sistema de eventos continuos**. Los primeros tienen lugar referencia cuando los sistemas tienen cambios instantáneos en ciertos puntos y se mantienen continuos el resto del tiempo, además estos se pueden caracterizar como **sistema de terminación** cuando existen puntos de inicio y final claramente definidos e identificables, contrarios a los **sistemas de no terminación**. Por otra parte, los estados de los sistemas de eventos continuos cambian constantemente y a cada instante. (Puche, J. et al, 2005)

Los modelos de simulación de sistemas discretos están compuesto por almacenamientos, cuellos de botellas y flujos de trabajo. Los cuellos de botella se desean eliminar en todos los procesos debido a los límites que emite hacia la producción; en las plantas estos están representados por el proceso más lento o el que tenga una mayor limitación de recursos.

Según Puche (2005) en los modelos de simulación se representan “el flujo de artículos, como son los tipos de productos, los clientes o personal, los flujos de información y por otro lado se representan los objetos (**fuentes**) pertenecientes al sistema como son la maquinaria, almacenes, logística interna, operarios...”. (p.16).

FlexSim

Según Puche (2005), FlexSim “es un poderoso programa de simulación que permite visualizar y probar cambios en las operaciones y los procesos de logística, manejo de materiales y manufactura de la manera más rápida y sencilla”.

Es un software orientado a objetos, que ayuda a visualizar el flujo de procesos, optimizarlos y generar ahorros, en un ambiente de tres dimensiones (3D). Mediante su implementación se pueden evaluar distintas configuraciones de los procesos. (Puche, J; 2005)

El software permite un análisis estadístico del desempeño del proceso, cuellos de botella y flujo, en donde se generan gráficas y estadísticas de forma clara. (Puche, J; 2005)

En el programa, los **objetos de FlexSim** simulan diferentes tipos de recursos, como lo son la fuente, *Queue* (esperas), procesadores, salidas, entre otros. Por otra parte los objetos de flujo, son los objetos que se mueven a través del modelo y representa el producto, una vez que uno de estos objetos llega a un procesador se inicializa el proceso.



Figura 3. 11. Representación de simulación en FlexSim. Fuente: Puche et al, 2005.

Las **fuentes** son elementos del programa que representan la entrada de materia prima, principalmente. Al software se le indica frecuencias de materiales a suministrar, con promedios de tiempo de llegada de material, con el cumplimiento de un horario establecido, o frecuencias de llegada.

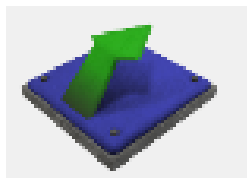


Figura 3. 12. Fuente de entrada. Fuente: FlexSim 2019

Los **objetos Queue** representan esperas en el flujo de un proceso. Se pueden configurar

para permitir una cantidad limitada de artículos en espera o el tiempo mínimo de espera. El tiempo que los objetos de flujo se encuentren en el Queue se considera innecesario por lo que se debe buscar su minimización.



Figura 3. 13. Queue. Fuente: FlexSim 2019

Los **procesadores**, son objetos del programa que simulan el tiempo de demora de un proceso en particular. Poseen gran flexibilidad para su configuración ya que se puede ingresar datos dependiendo de cómo se cuente con la información.

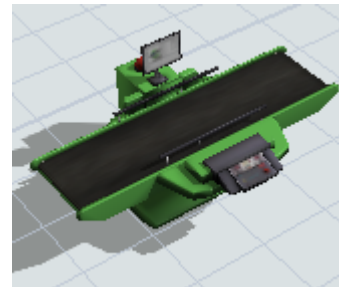


Figura 3. 14. Procesador. Fuente: FlexSim 2019

Las **salidas** corresponde al punto final de los objetos de flujo, los objetos dejan ser parte del proceso en cuanto se alcanza este punto.

Por otra parte se tienen a los ejecutores de tareas, lo cuales realizan procesos como el traslado de materiales o productos. Éstos se mueven a lo largo del modelo y se les asigna tiempos para realizar las tareas. Entre éstos se encuentran los colaboradores, las grúas y los montacargas.

Rendimiento de mano de obra

El rendimiento de mano de obra, corresponde al avance del trabajo en función del tiempo en horas hombre. El avance del trabajo se mide en las unidades que se considere más conveniente, sea este en metros lineales, cuadrados, volumen, peso confeccionado.

Para el cálculo se utiliza la ecuación 1 mostrada a continuación:

$$R = \frac{T * n}{C} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

T: tiempo invertido en la actividad
n: número de trabajadores participando
C: cantidad de trabajo realizado

Sin embargo, para este trabajo al utilizar kg de acero procesado como unidad de avance, los cuales tienden a ser elevados, como consecuencia se obtienen valores menores a 1 HH/kg con tendencia a 0, por lo que se procedió a invertir la ecuación 1.

$$R = \frac{C}{T * n} \quad \text{Ecuación 2}$$

Estadística descriptiva

Según Faraldo y Pateiro la estadística descriptiva “es un conjunto de técnicas numéricas gráficas para describir y analizar un grupo de datos sin extraer conclusiones (inferencias) sobre la población a la que pertenecen” (2012, p.1)

Media aritmética, mediana y moda

La media, mediana y moda se consideran medidas centrales tendenciales, las cuales proporcionan valores entre los cuales se distribuyen los datos observados en la muestra. (Faraldo y Pateiro, 2012). La media aritmética tiene un comportamiento lineal para los datos procesados es decir para una ecuación $y=mx+b$.

La media aritmética se calcula mediante la ecuación 3.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} \quad \text{Ecuación 3}$$

Para esta media aritmética se obtiene el valor de la desviación estándar correspondiente,

para el cual se implementa la ecuación 4 mostrada a continuación

$$s = \frac{\sqrt{(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}}{n} \quad \text{Ecuación 4}$$

Para los datos obtenidos se puede obtener el coeficiente de variación al dividir desviación estándar entre la media aritmética. El coeficiente de variación indica qué fracción de la media aritmética corresponde a la desviación estándar.

$$\text{Coef. var} = \frac{s}{\bar{X}} \quad \text{Ecuación 5}$$

La mediana corresponde el punto en el que se encuentra el 50% de los datos al ordenar los datos de mayor a menor. La mediana es una estadística robusta, lo que quiere decir que se ve poco afectado por datos atípicos.

Si se determinan ambas medidas, y éstas difieren sustancialmente, se puede deducir inicialmente que existen datos atípicos

La moda es el valor de la muestra que más se repite entre los datos, sin embargo, puede haber más de una moda.

Cuartiles

Los cuartiles corresponden a medidas de posición de tendencia no central. Estos se conforman por la división de los datos en cuatro partes iguales, en donde cada sección va a tener un 25% de los datos. Entonces se tiene que el 25% de los datos se encuentran debajo de Q_1 y otro 25% entre Q_1 y Q_2 , otro 25% entre Q_2 y Q_3 , y el último 25% por encima de Q_3 . El cuartil Q_2 es el valor de la mediana previamente definida.

Diagrama de caja

El diagrama de caja es una representación gráfica de la distribución de datos. En donde se grafican los cuartiles anteriormente descritos, así como los datos atípicos, los cuales corresponden a los datos que exceden los límites superior e inferior. Para el cálculo de los límites inferior y superior se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$LI = \max\{\min\{x_i\}, Q_1 - 1.5(Q_3 - Q_1)\} \quad \text{Ec. 6}$$

$$LS = \min\{\max\{x_i\}, Q_3 + 1.5(Q_3 - Q_1)\} \quad \text{Ec. 7}$$

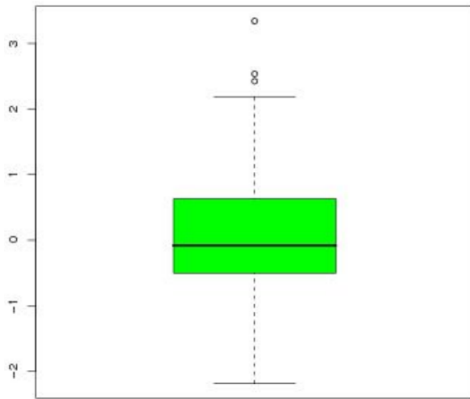


Figura 3.14. Ejemplo de diagrama de caja. Fuente: Faraldo y Pateiro, 2012.

Correlación lineal

Las correlaciones corresponden a las dependencias que existen de una de las variables en función de otra variable independiente. Para determinar la correlación lineal existente entre dos variables se obtiene el coeficiente de correlación lineal que se encuentra en el intervalo $[-1, 1]$, donde el valor de -1 se presenta una alta correlación inversa, y un valor de 1 corresponde a una alta correlación directa; por su parte; un valor cercano a 0 , se considera una baja correlación entre las variables. (Botero, 2002)

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

S_{xy} = covarianza

S_x, S_y = desviaciones estándar (σ_x, σ_y)

La covarianza se calcula como:

$$S_{xy} = \frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad \text{Ecuación 9}$$

Para Laguna (s.f) se considera que una correlación lineal es baja cuando el valor r en valor absoluto se encuentra por debajo de $0,30$, por otra

parte, existe una asociación moderada cuando el coeficiente de correlación se encuentra entre $0,3$ y $0,7$; y alta cuando supera $0,7$.

Modelos de probabilidad

Los modelos de probabilidad permiten “representar a un mismo tiempo tanto los valores que pueden tomar la variable como las probabilidades de los distintos eventos” (Rincón, L; 2007, p.39). Estos modelos de probabilidad parten desde la distribución densidad de los datos de una muestra determinada.

Una de las distribuciones más importantes debido a que gran cantidad de eventos se comportan bajo esta distribución, es la distribución normal, mostrada en la Figura 3. 15, esta distribución se caracteriza por que los valores se distribuyen formando una campana de Gauss. (Montero, A, s.f.) La cual se forma al tener la media como el valor de mayor frecuencia, que forma una distribución simétrica a ambos lados de ésta.

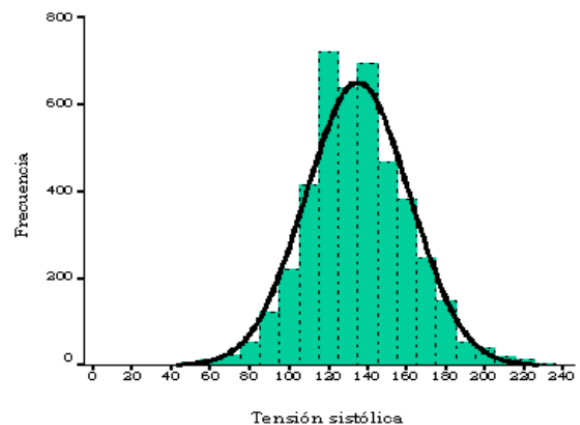


Figura 3. 15. Histograma de densidad con modelo de probabilidad de distribución normal. Fuente: Pita y Pértegas, 2001.

Por otra parte, se encuentran gran variedad de modelos de probabilidad aplicables a distribuciones de datos, como la distribución uniforme, de Bernoulli, Binomial, Poisson entre muchas otras.

4. Metodología

A continuación, se explica el proceso que se llevó a cabo para obtener la información necesaria, así como de la elaboración de los demás insumos para completar el trabajo.

Etapa I: Investigación y entrevistas

Como punto inicial fue necesario la investigación de la filosofía *Lean Construction*, además de herramientas que se pudieran aplicar al proceso de producción, información reflejada en el marco teórico anterior.

Para las entrevistas fue necesario el uso del cuestionario mostrado en el apéndice 1. Este cuestionario se aplicó a personal que se identificó como clave para el entendimiento del proceso y la función de la empresa.

Se aplicó la entrevista al coordinador de producción, encargado de recibir la demanda del departamento de ingeniería, el cual cuenta con un gran conocimiento de todos los procesos de producción.

Además, se realizó la entrevista al jefe de pintura, debido a que cuenta con un conocimiento más detallado del proceso de pintura.

De igual forma se aplicó la entrevista a la encargada del departamento de asistencia técnica para tener conocimiento de la confección de los planos de taller, así como para identificar puntos importantes que ayuden a la mano de obra a facilitar el proceso de producción.

Además, se realizaron recorridos por el taller, para observar los procesos de fabricación de las estructuras metálicas, donde se mantuvieron conversaciones con los colaboradores para tener un mejor conocimiento de los procesos, así como conversaciones con el jefe de taller y jefe de armadores.

Etapa II: Recopilación de información.

Por otra parte, se recopiló información por distintos medios en los cuales los colaboradores tienen una gran participación.

Para la identificación de desperdicios, los recorridos para observar y las conversaciones con el personal tuvieron un gran valor para la generación de información.

En el caso de rendimientos, la empresa contaba con un sistema de control de mano de obra al que el practicante le dio seguimiento, el control corresponde al mostrado en la tabla 4.1.

Esta tabla fue entregada a cada encargado de armadura, resoldado y pintura. En estas tablas se contaba con el control de los ayudantes de cada proceso por lo que a los ayudantes no se le entregaba tabla de control. Cabe destacar que en el proceso de armado, cada encargado de la zona de trabajo contaba con un ayudante en la mayoría del tiempo, los soldadores, normalmente no contaban con ayudantes y en el proceso de pintura el encargado contaba con cinco ayudantes en la limpieza y preparación de la pieza.

Para el procesamiento de los datos fue necesario realizar una programación en Visual Basic en la herramienta de Microsoft Excel, que permitió unir los tiempos reportados por cada proceso de los trabajadores con el fin de completar los tres procesos para cada pieza producida.

Como mejora, el practicante sustituyó la tabla 4.1 por la boleta de control de mostrada en la tabla 4.2, la cual se adhería a la pieza en producción, donde se especificaban los tres procesos a llevar a cabo. Esta boleta debía ser revisada por los jefes de cada área para corroborar la información en el momento de la revisión final de las piezas.

Tabla 4. 1. Hoja de control de mano de obra										
ENCARGADO:					PROCESO :	ARMADO <input type="checkbox"/>	RESOLDADO <input type="checkbox"/>	PINTURA <input type="checkbox"/>		
PROYECTO Y ACTIVIDAD	FECHA INICIO	FECHA DE FIN	NOMBRE DE PIEZA	CANT. AYUDANTES	HORA INICIO	HORA FIN	HORA INICIO	HORA FIN	HORA INICIO	HORA FIN

Fuente: Grupo Yeril S.A.

Tabla 4. 2. Boleta de control de producción			
Proyecto: ANDE		Actividad: Gradería central	
Código de pieza: B212		Tipo de pieza: Cañón	
ARMADO			
Encargado Armado: Victor Campos			
Firma:		Cant. Ayudantes: 1	
	Hora Inicio	Hora Fin	Observaciones/Reprocesos
Fecha: 13/09/19	11:15 a.m.	5:00 pm	Nota: el 14/09/19 de 10 am a 12 md, en otra actividad
Fecha: 14/09/19	7:00 a.m.	10:00 a.m.	
Fecha: 14/09/19	12:00 md	3:00 p.m.	
Fecha: 16/09/19	7:00 a.m.	1:30 p.m.	
Fecha:			
Fecha:			
Observaciones:			
RESOLDADO			
Encargado Resoldado: Young Frank García			
Firma:		Cant. Ayudantes: 0	
	Hora Inicio	Hora Fin	Observaciones/Reprocesos
Fecha:	2:30 p.m.	6:40 p.m.	De 1:30pm a 2:30pm espera de revisión de armado
Fecha:			
Fecha:			
Observaciones:			
PINTURA			
Encargado Pintura: Luis Diego Vargas			
Firma:		Cant. Ayudantes: 3	
	Hora Inicio	Hora Fin	Observaciones/Reprocesos
Fecha: L 17/9/19	8:00 a.m.	11:00 a.m.	
Fecha: P 17/9/19	1:00 p.m.	1:40 p.m.	
Fecha:			
Observaciones:			

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Etapa III: Representaciones del proceso.

Con la información suministrada se confeccionaron diagramas de flujo, diagramas de Ishikawa, y de recorrido, para representar el funcionamiento de la empresa.

Por otra parte, se realizó una cuantificación de los recorridos realizados por los colaboradores, en un periodo de dos horas (entre las 9:53 y las 11:54 am). Los cuales se clasificaron en el motivo del recorrido, determinados en el diagrama de recorrido, pueden ser por necesidad del servicio sanitario, solicitud de insumos a bodega o aclaraciones de planos de bodega a la oficina de producción.

También se procede a realizar un *Value Stream Mapping* del estado actual del taller para una cercha de techo, y un estado futuro e ideal para el taller de producción.

Además, en este punto se realizaron mediciones de productividad de mano de obra mediante la carta de balance. Para realizar las mediciones de productividad se realizó una toma de videos de las actividades en ejecución con una extensión mínima de 35 minutos. Con el fin de tomar observaciones de cada trabajador cada 5 segundos, hasta completar el mínimo de 380 observaciones. Sin embargo, se tomaron 400 observaciones como mínimo.

Por otra parte, se tomó el tiempo de espera producto de que una de las grúas se encontraba fuera de funcionamiento utilizando el método de muestreo del trabajo.

Etapa IV: Modelo de simulación

Sub-etapa 1: Confección del modelo

La confección del modelo se realiza con ayuda del diagrama de recorrido ya elaborado, para ubicar cada puesto de trabajo.

Modelos de probabilidad

Para el correcto funcionamiento del modelo es necesario especificar una distribución de probabilidad que se ajuste a la muestra de datos correspondiente. Por lo que fue necesario obtener modelos de probabilidad por cada pieza en estudio y para cada proceso que conlleva cada pieza.

Para la confección del modelo de simulación, fue necesario el uso de video tutoriales, así como el uso de manuales de uso de FlexSim.

Al realizar el modelo se identificó que era necesario tiempos de carga y descarga para la grúa viajera y para el montacargas, por lo que se procedió a tomar un breve muestreo de estos dos aspectos.

Sub-etapa 2: Verificación, validación y calibración del modelo

Verificación

La verificación consistió en revisar que el modelo de simulación se ejecutara correctamente, sin presentar errores.

Se verificó que no se presentará colisión entre las grúas y que el montacargas siguiera por el espacio establecido para transitar.

Se verificó que los diferentes tipos de piezas a correr se generan de acuerdo a un color establecido de forma predeterminada por el programa, y que para cada proceso ejecutara la distribución de probabilidad correspondiente con la pieza en proceso.

Validación

La validación consistió en revisar el tiempo obtenido en cada proceso y compararlo con las medias de la muestra obtenida para cada tipo de pieza a simular.

Una vez verificada el tiempo de cada proceso se procedió a verificar el tiempo total promedio para que una pieza inicie el armado y termine la pintura. Para ello se modificó la cantidad de personal asignado por pieza en cada proceso.

Para obtener los valores promedios se realizaron 10 ejecuciones del modelo, por un periodo en el que el valor de la media por pieza logre estabilizarse, para el cual se estableció corridas de 100 000 horas.

Según Law y Kelton (2000) “no existe una aproximación completamente definitiva para validar el modelo de simulación del sistema propuesto” (p. 279). Por lo tanto, la precisión del modelo de simulación depende de la función que se le vaya a dar y la funcionalidad del modelo, a criterio del modelador y expertos en el sistema modelado.

Sub-Etapa 3: Mejora en la producción con el modelo.

Esta etapa consistió en la obtención de los diferentes resultados de la simulación de cada proceso y etapa ejemplificado en el modelo de simulación. Información que fue necesaria para identificar deficiencias en la producción.

Etapa V: Mejoras en la producción

A partir de las etapas anteriores se procedió a emitir mejoras a los procesos, con la implementación de equipo nuevo, mejoras en el control de la producción y en la planificación del trabajo.

5. Resultados

Filosofía *Lean* en la empresa

La iniciativa *Lean* es una tendencia que ha seguido Grupo Yeril con el fin de mejorar todos los procesos de la empresa, por lo que se han realizado diferentes esfuerzos para su implementación, principalmente en la filosofía de mejora continua, así como la implementación de herramientas.

Capacitaciones

En su momento se dieron capacitaciones con personal externo a la empresa para explicar y aplicar la filosofía *Lean* para la búsqueda de mejora continua y el mejor aprovechamiento de los recursos.

Las capacitaciones se dieron tanto a los colaboradores de taller y campo de estructuras metálicas, como a los departamentos de asistencia técnica e ingeniería, así como también a los departamentos de apoyo de la empresa.

Comentando con colaboradores del taller Belén, en estas capacitaciones se trataron temas de la mejora continua y la eliminación de desperdicios. Además, se les explicó el significado de las 5's.

Conocimiento *Lean* de los colaboradores

A partir de las entrevistas del anexo 1 y de conversaciones con colaboradores encargados de realizar los procesos de confección de estructuras metálicas.

El personal de armado, resoldado y pintura, no asocia el término *Lean* con mejora continua o eliminación de desperdicios.

Los trabajadores no conocen los tipos de desperdicios en los procesos ni los principios que atañen la filosofía *Lean*. Sin embargo, por medio de las capacitaciones, conocen la metodología de las 5's, pero sin tener un conocimiento completo de cada S. El cual se refleja en el orden y limpieza que solicitan los encargados a los colaboradores para cada zona de trabajo.

Por otra parte, el personal administrativo de la unidad de producción si tiene conocimiento de la existencia de la filosofía *Lean*. Los cuales tienen claro el enfoque al cliente por parte de la empresa, la necesidad de crear controles y documentación de los procesos productivos; y crear innovaciones para la mejora continua aplicando transiciones de un estado actual a uno futuro.

El último planificador

Esta herramienta sí fue implementada bajo el marco de mejora continua, en su momento se utilizó el método convencional de planificación semanal, con un "*Look Ahead*" de seis semanas, por medio de papeles adhesivos de colores según el plan maestro.

Sin embargo, en búsqueda de la mejora del método, la empresa confeccionó un programa computacional denominado LPS (por sus siglas en inglés de *Last Planner System*), con el fin de evitar el uso de los papeles adhesivos que pueden conllevar a errores. El LPS permite el ingreso desde cualquier computador de la empresa en cualquier momento para actualizar el avance, sea este total o parcial, siempre que se tenga acceso a internet.

Esta herramienta se utiliza para organizar el trabajo a lo interno de la empresa, en donde cada departamento planifica su trabajo a partir de la programación inicial establecida por el departamento de ingeniería.

Reuniones PMO

Tanto con el método convencional como con el LPS se realizaban las reuniones de control con todos los departamentos de la empresa, con el fin de ver proyectos y actividades que a una semana.

Sin embargo, en la reunión no existe un levantamiento claro de compromisos, donde tampoco se hace una revisión de los compromisos de la semana anterior y obtener la cantidad de compromisos cumplidos e incumplidos, con el fin de analizar las variables que no permitieron el cumplimiento de los compromisos.

Programación semanal en el taller Belén

Para el caso del taller Belén, el coordinador de producción programa en una plantilla de Excel (ver anexo 4) las actividades a realizar para un periodo de seis semanas de forma detallada, para el cual

se obtiene la cantidad de kilogramos de acero a procesar y según esto se asigna la cantidad de personal para ejecutar la actividad. Conforme se dé el avance se actualiza la programación para las siguientes semanas.

Para estimar el tiempo de duración de una actividad se utiliza un indicador de 7.14 kg/h por trabajador. De forma que la demanda del taller no se desglosa por tipo de elemento a producir.

Procesos y subprocesos

De acuerdo con las entrevistas, recorridos y conversaciones se obtuvo que el proceso de producción del taller para las estructuras metálicas cuenta con tres procesos generales, los cuales son: armado, resoldado y pintura. Cada uno de estos procesos se desglosa en subprocesos como lo muestran los cuadros 5.1 y 5.2

Cuadro 5.1. Desglose de tareas revisión inicial y armado de estructuras metálicas

Proceso	Subproceso	Descripción
Revisión Inicial	Revisión de planos arquitectónicos y estructurales	Antes de iniciar cualquier actividad en el área de producción, los encargados del taller verifican los planos fuente.
	Revisión de orden de producción y solicitud de materiales	Se revisa la orden de producción para solicitar los materiales en bodega correspondientes, por parte del ingeniero de producción..
	Traslado de materiales	Se realiza el traslado de los materiales desde la zona de almacenaje, esta puede ser en el patio conexo o en el terreno final de la propiedad, con el uso del montacargas y/o camión.
Armado	Consultar planos de taller	Los armadores revisan detenidamente los planos de taller del elemento a conformar, en caso de que sea el primer elemento con una misma configuración.
	Revisión del material	Se realiza una revisión de los materiales traídos tiempo atrás para asegurar el correcto uso del material especificado
	Confección de plantillas o moldes	Se realiza cuando se considere necesario, se pueden utilizar para bocas de pescado, de igual forma los moldes se utilizan cuando se realizan elementos iguales continuamente.
	Modulación de aprovechamiento de materiales	Se realiza con el fin de dimensionar las estructuras, para así optimizar el uso de los materiales.
	Trazado o marcado de estructura	Se refiere a realizar marcas con tiza en los elementos que llevan un corte. También se utiliza cuerda para trazar las configuraciones en elementos como cerchas o marcos.
	Corte de Material	Se corta los materiales según los detalles de los planos de taller.
	Perforación de material	Las perforaciones se realizan en los puntos que especifique los planos de taller o en empalmes de vigas W.
	Biselado	El biselado corresponde al corte de los extremos del material, se hace con el objetivo que en el resoldado la soldadura aplicada logre penetrar para asegurar un acople eficiente de los materiales.
	Armado o ensamblado según planos	Corresponde al ensamblado de los elementos confeccionados anteriormente. Se utilizan sargentos para fijar los elementos, este rubro se realiza cuando es necesario.
	Agregar accesorios y placas	Se agregan los accesorios y placas prefabricados por la empresa METAL.
	Arriostrado y refuerzo	Corresponde al reforzamiento de la estructura para evitar su deformación por el calentamiento del material o por el traslado del elemento.
	Girar estructura	Se gira la estructura para reforzarla en caso de ser necesario.
	Verificar escuadras, líneas de centro, diagonales, ángulos de corte y dimensionamiento de la pieza completa	Es la verificación de la estructura, se realiza en las diferentes etapas como control de calidad por parte de los armadores.
	Identificar elemento	Corresponde a la identificación del elemento con el código especificado en los planos de taller.
Inspeccionar producto final	Es la verificación final por parte del jefe de los armadores, en este punto se decide si es necesario realizar una corrección.	

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Cuadro 5.2. Desglose de tareas de resoldado, pintura y transporte.		
Resoldado	Traslado de elemento	Corresponde al traslado del elemento al proceso de resoldado.
	Verificar especificaciones en planos	Se trata de la revisión de los planos de taller para cerciorarse de la correcta aplicación de la soldadura.
	Verificar arriostres	Se verifica el arriostre para evitar deformaciones por temperatura.
	Calibrar equipo	Se calibra el equipo para el cumplimiento de las especificaciones.
	Limpiar zona a soldar	Se despeja la zona de soldadura de virutas, grasa, óxido y polvo que impacten negativamente la adherencia de la soldadura al elemento.
	Resoldar	Se suelda el elemento de acuerdo a la especificada.
	Verificar soldadura aplicada	Se verifica que la soldadura no contenga una concavidad o convexidad excesiva y que ésta no sea discontinua por medio de una inspección visual y la aplicación de un ultrasonido. Esta verificación se puede realizar al final de todo el proceso antes de su transporte final.
Pintura	Traslado de elemento	Corresponde al traslado el elemento al proceso de pintura.
	Verificar especificaciones, orden producción	Se verifican las especificaciones tanto en los planos como en la orden de producción.
	Remover oxido (SP3)	Corresponde a la aplicación de norma SSPC-SP3, la cual especifica el uso de cepillos metálicos para remover el óxido que impediría la adherencia del recubrimiento al material.
	Remover virutas (SP2)	Esta actividad se realiza conforme a la norma SSPC-SP2, en el que se utiliza maso y cincel para remover virutas producto de los procesos previos.
	Remover suciedad (SP1)	Corresponde a eliminar suciedad y engrasado del material por medio de solventes con respecto a la norma SSPC-SP1, igual forma se puede aplicar aire seco compresionado cuando se considere necesario.
	Verificar la preparación	Se verifica el acabado de la limpieza de los procesos según SP1, SP2 y SP3 antes de aplicar la pintura.
	Aplicar pintura	Se aplica el recubrimiento especificado (en <i>mills</i>) en los planos.
	Verificar espesor (Galga y/o medidor de pintura)	Se utiliza una galga manual para medir espesores de pintura, también se puede aplicar un medidor electrónico de pintura para mediciones más exactas.
Transporte	Traslado a patio	Se traslada el elemento al patio adjunto al taller a espera de su transporte.
	Transporte a proyecto	Transporte al proyecto correspondiente.

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Para el caso de armado, tanto el armador como el ayudante realizan los mismos subprocesos por lo que se dividen las actividades, salvo que el ayudante no tenga un amplio conocimiento en la confección de las estructuras

metálicas, por lo que tendrá que capacitarse mientras ejecuta el trabajo. Por su parte, el soldador debe de tener un amplio conocimiento y experiencia para ejercer esta labor, ya que conlleva un alto riesgo por las altas temperaturas

que presentan los elementos al soldado. Para los subprocesos de pintura (SP1, SP2 y SP3), no es necesario el uso de personal altamente capacitado, ya que la actividad no presenta un nivel de dificultad elevado. Por otra parte, el pintor sí debe tener una capacitación considerable para

garantizar el acabado de la pintura para el cual se exigen espesores de acuerdo con el cliente.

En la tabla 5.3 se muestra la herramienta fundamental a utilizar por los operarios en cada uno de los procesos.

Cuadro 5. 3. Herramienta a utilizar para cada proceso	
Armador	Esmeriladoras, taladros, arco aire, plasma, soldadura, escuadras, mazo, sargentos, grúa.
Soldador	Soldadora, esmeriladoras, taladros, arco aire, cincel, grúa
Pintura	Esmeriladoras, cepillos, cincel, mazo, mecha, galga, disoluciones, compresor de aire, grúa.

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel



Figura 5. 1. Medidor de espesor manual o galga. Fuente: Devera y Ortiz, 2019.

Control de calidad

En el cuadro se muestra control de calidad que lleva cada proceso, así como el control de calidad para cada subproceso realizado para una pieza.

Cabe destacar que no existe una lista de verificación o boleta donde se documente el control de calidad para cada proceso.

Cuadro 5. 4. Controles de calidad por proceso y subproceso			
Proceso	Subproceso	Control subproceso	Control proceso
Armado	Trazado de estructura	No existe	El jefe de armadores revisa los elementos en cuanto se encuentren terminados, o en caso de que se presenten dudas a los armadores.
	Corte de Material	No existe	
	Perforación de material	No existe	
	Biselado	No existe	
	Armado según planos	No existe	
	Agregar accesorios y placas	No existe	
Resoldado	Resoldar	No existe	No existe una persona encargada de revisar la soldadura antes de pasar al proceso de pintura. Sin embargo, si se revisa la pieza la pieza con ultrasonido, en muchas ocasiones cuando la pieza se encuentra recubierta
Pintura	Limpieza (SP3, SP2, SP1)	El pintor revisa la limpieza antes de aplicar la pintura	El jefe de pintura revisa el espesor en seco con un medidor electrónico

	Aplicación de pintura	Mientras se aplica el recubrimiento se revisa el espesor húmedo aplicado	
--	-----------------------	--	--

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Diagrama de flujo

El diagrama de flujo fue confeccionado a partir del procesos descrito en los cuadros 5.1 y 5.2, además el resultado verificado con el aporte de los jefes de taller.

Al tener un tamaño considerable se realizó de forma que se pudiera apreciar claramente y en un espacio físico menor, lo cuales se aprecian en la figura 5.3 y 5.4.

Diagrama de recorrido

El diagrama de recorrido se realizó con base en el levantamiento de las zonas de trabajo, así como la tarea que realizan en cada zona. Posteriormente se trazó el flujo de objetos a lo largo de cada proceso.

Por otra parte, se graficó el recorrido de los trabajadores ajenos a la producción directa de las estructuras metálicas.

El diagrama se muestra en la figura 5.5, de manera completa, sin embargo debido al tamaño y su dificultad para interpretarlo se realizó un seccionamiento mostrados en las figuras 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 y 5.12. Además se adjuntó una ampliación de las zonas de trabajo mostradas en las figuras 5.12, 5.13 y 5.14 para armado,

resoldado y pinutura, respectivamente, con el fin de poder observar el diagrama en mayor detalle.

El diagrama se realizó con base en la simbología y el código de colores mostrada en la figura 5.2.



Figura 5. 2. Simbología y código de colores para el diagrama de recorrido. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD.

La zona de trabajo está delimitada de acuerdo con el código de colores mostrado en la figura 5.1.

Por otra parte, en los cuadros 5.5 Cuadro 5. 5, Cuadro 5. 6 y Cuadro 5.7 se muestra la descripción de las actividades mostradas en el diagrama de recorrido.

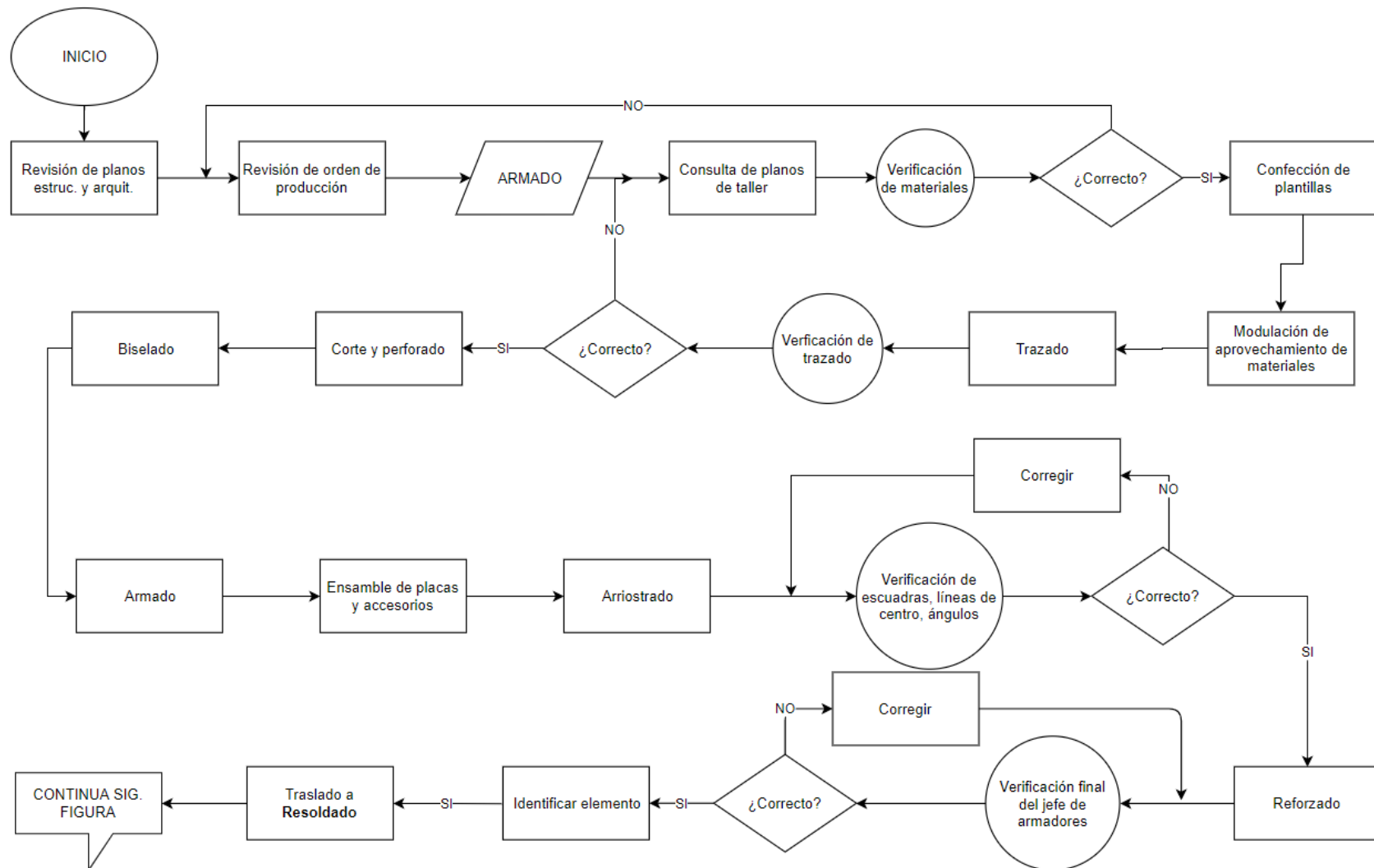


Figura 5. 3. Diagrama de flujo para la revisión inicial y el proceso de armado. Fuente: Elaboración propia io.draw diagrams

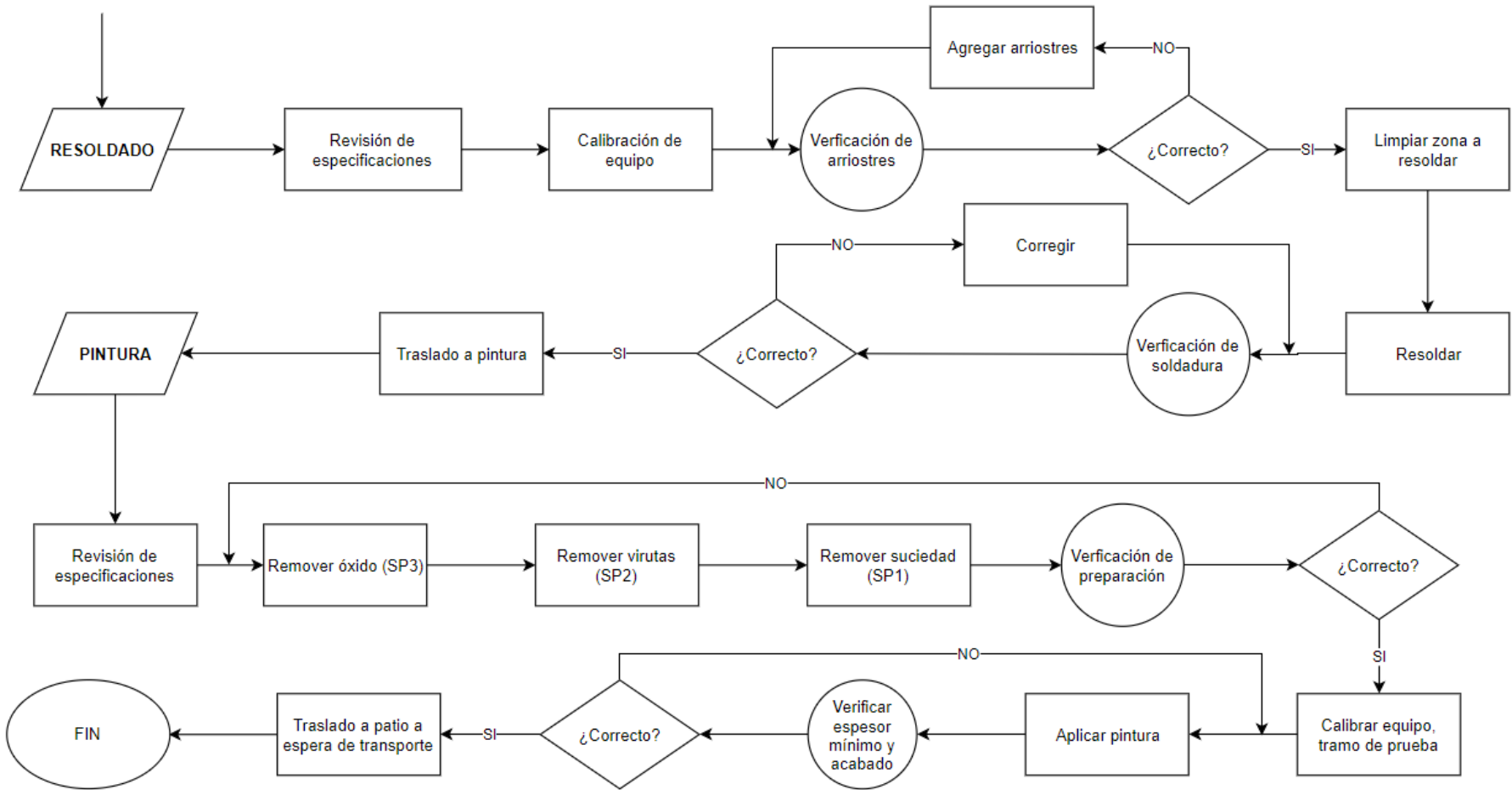


Figura 5. 4. Diagrama de flujo para el proceso de soldadura y pintura. Fuente: Elaboración propia en io.draw diagrams

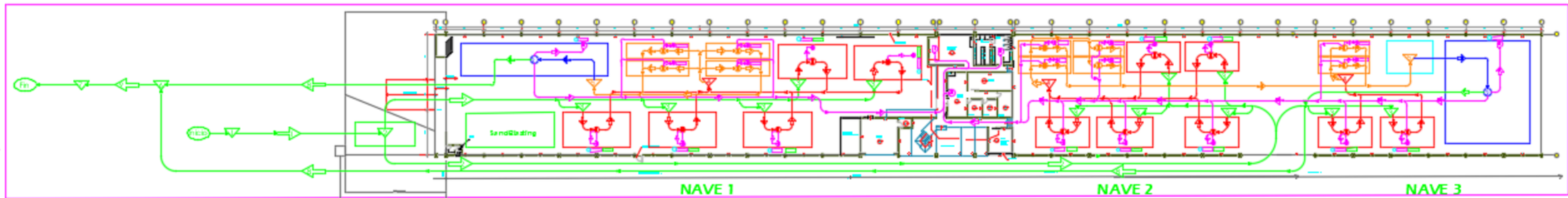


Figura 5. 5. Vista completa del diagrama de recorrido del taller de producción Belén. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

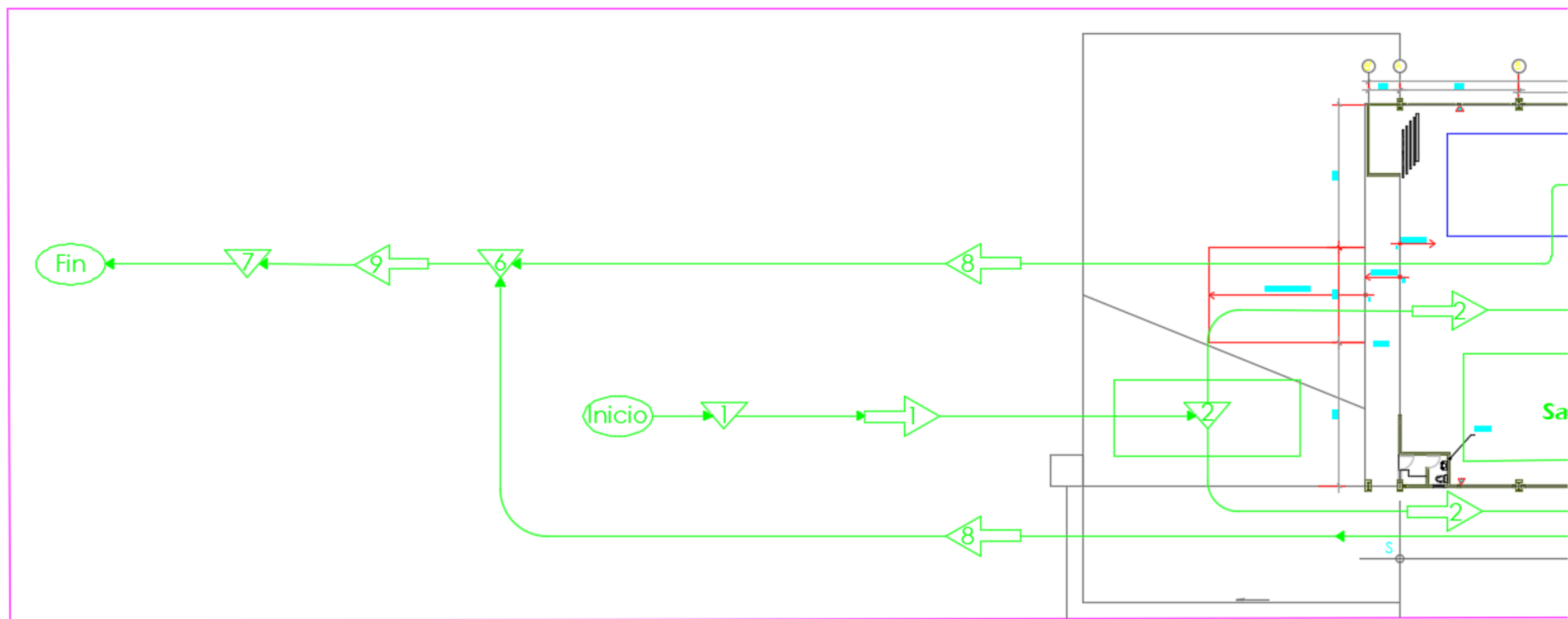


Figura 5. 6. Ampliación del diagrama de recorrido. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

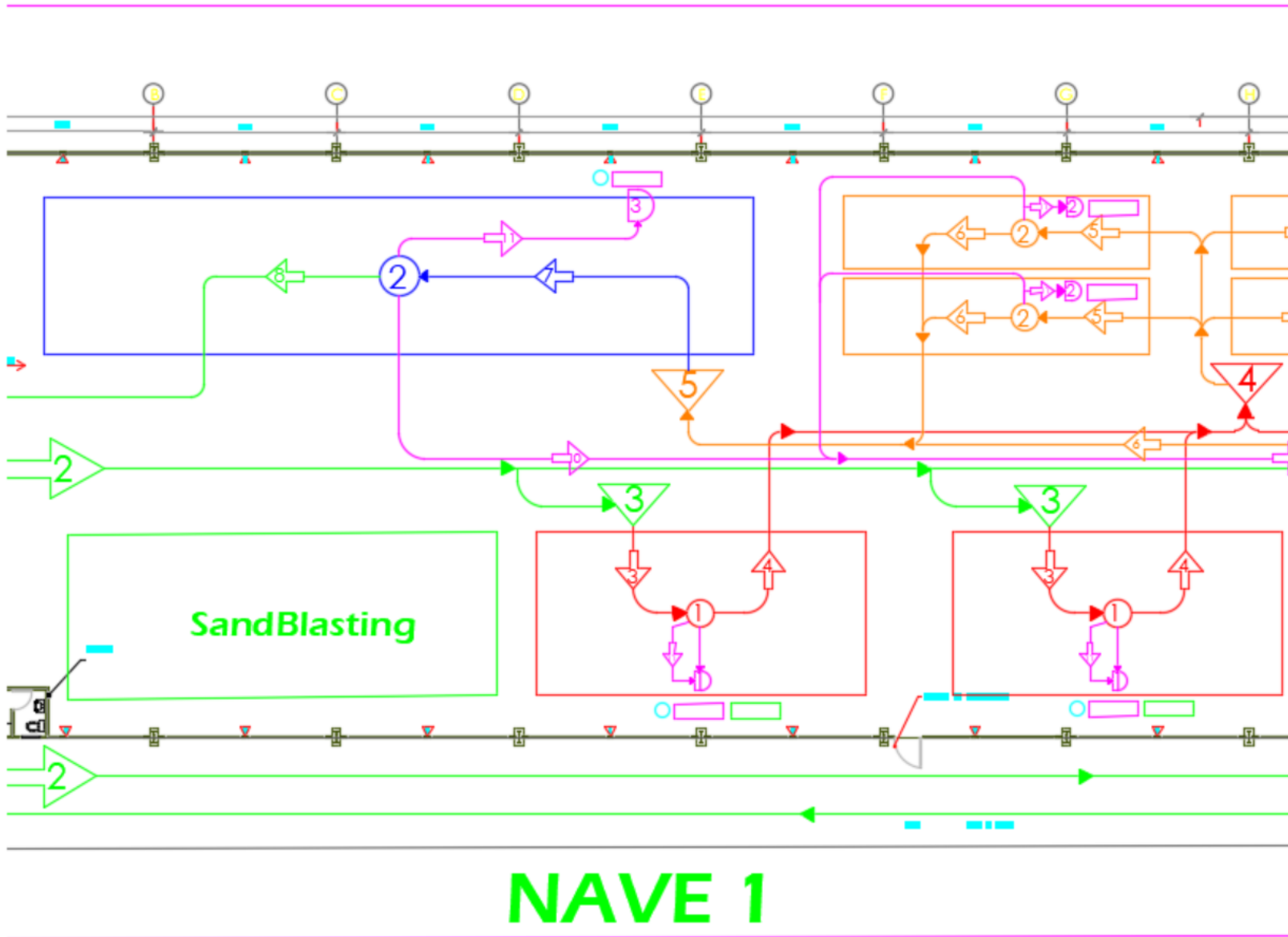


Figura 5. 7. Continuación de diagrama de recorrido. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

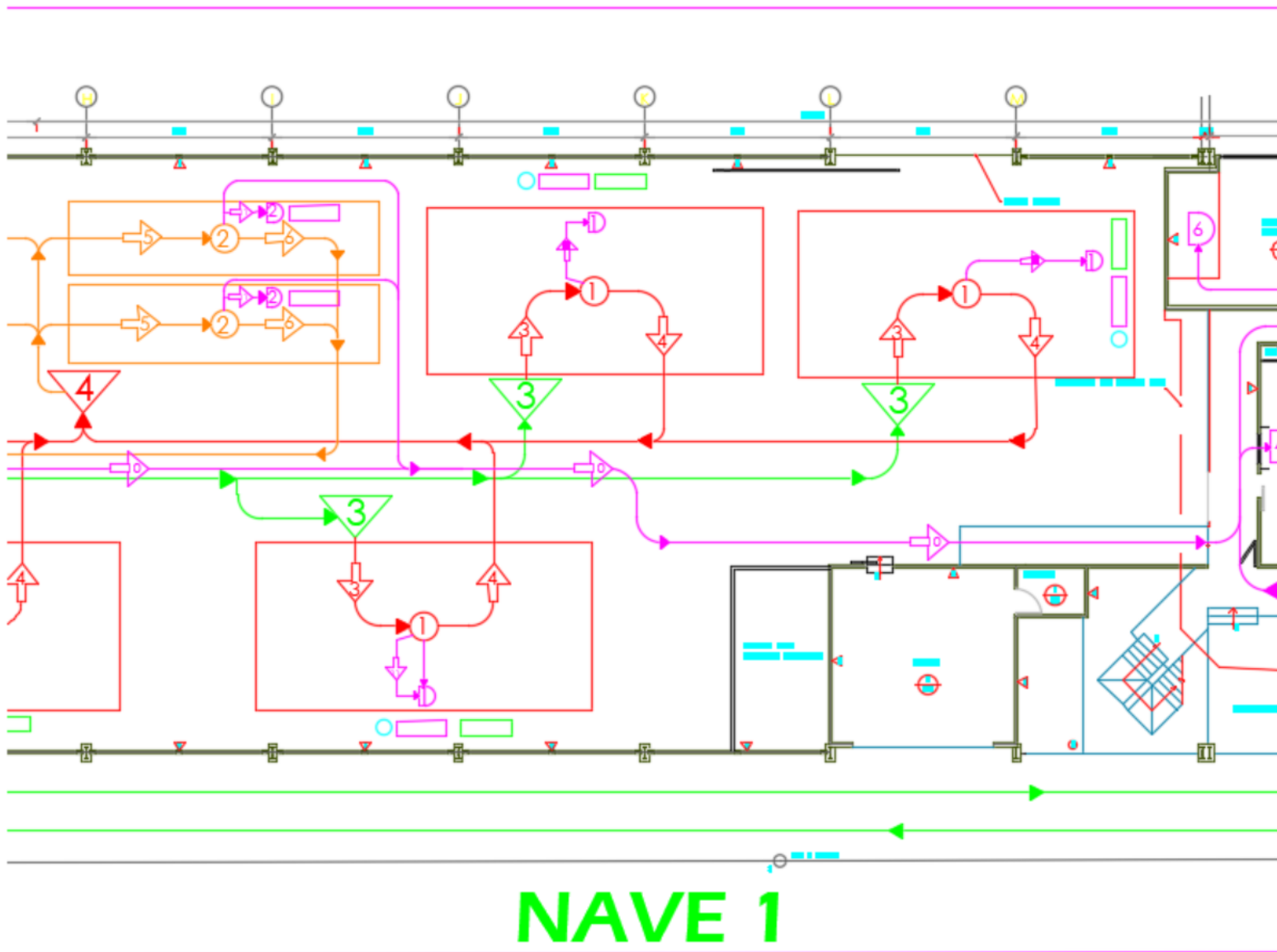


Figura 5. 8. Continuación de diagrama de recorrido. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

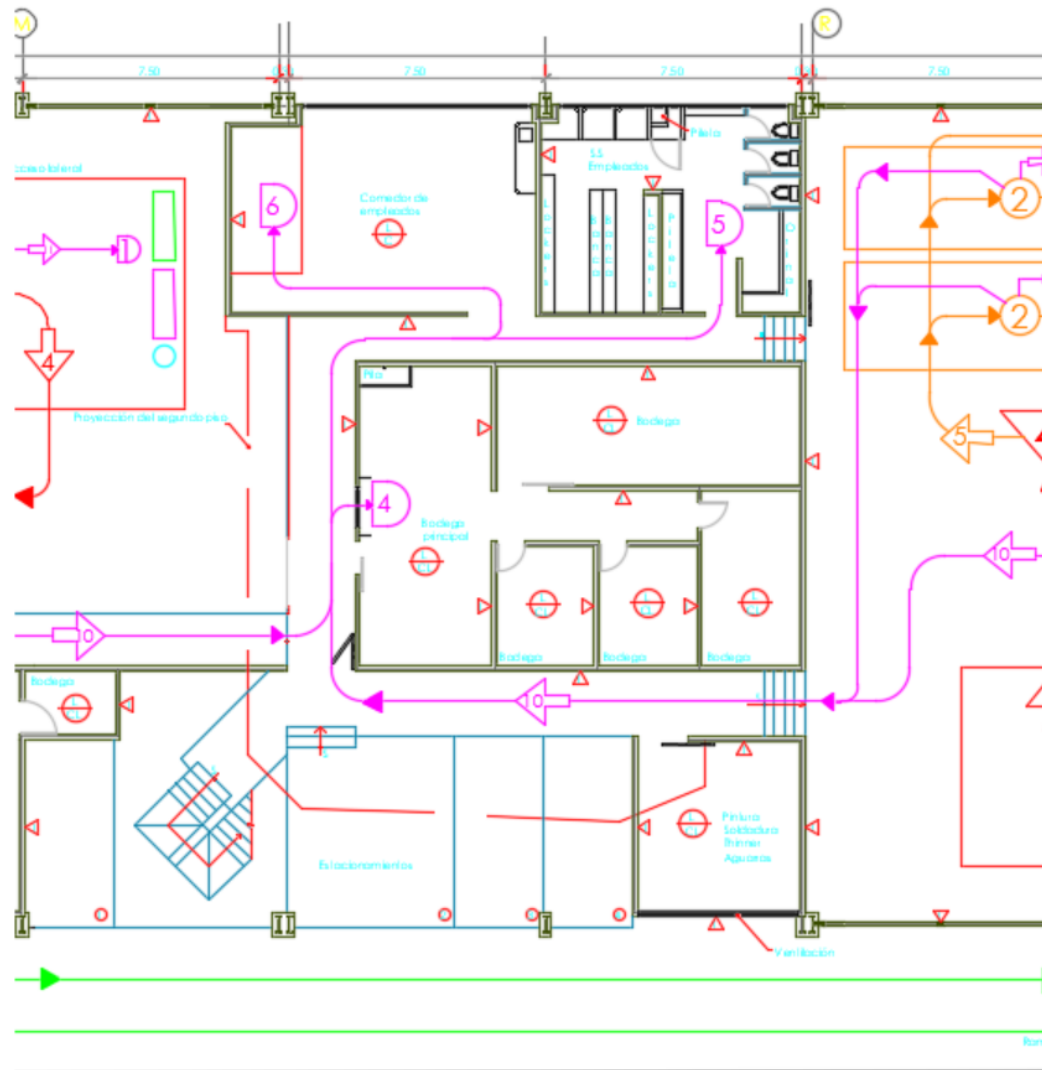


Figura 5. 9. Diagrama de recorrido en bodega, oficina y baños. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

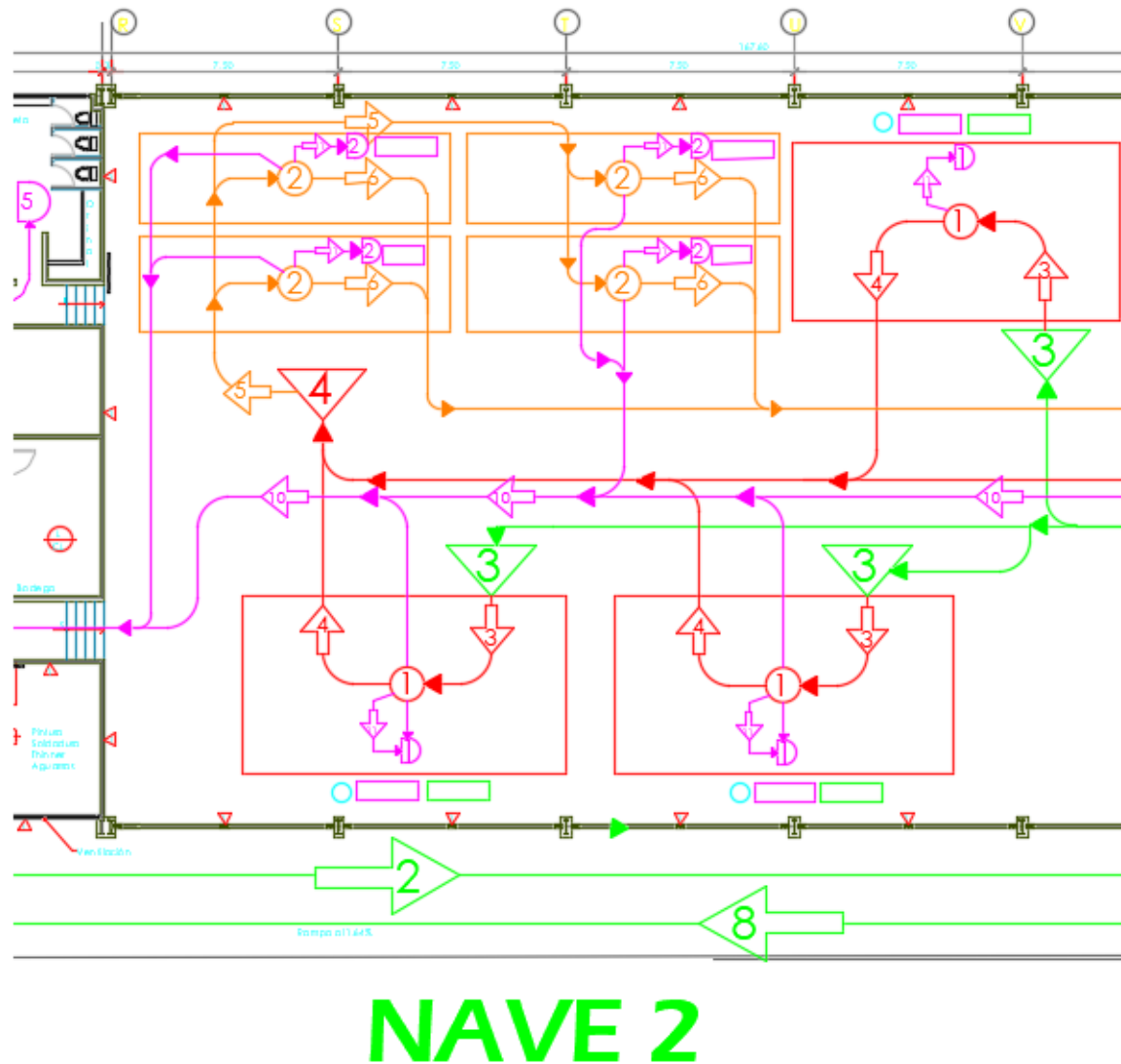


Figura 5. 10. Continuación de diagrama de recorrido. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

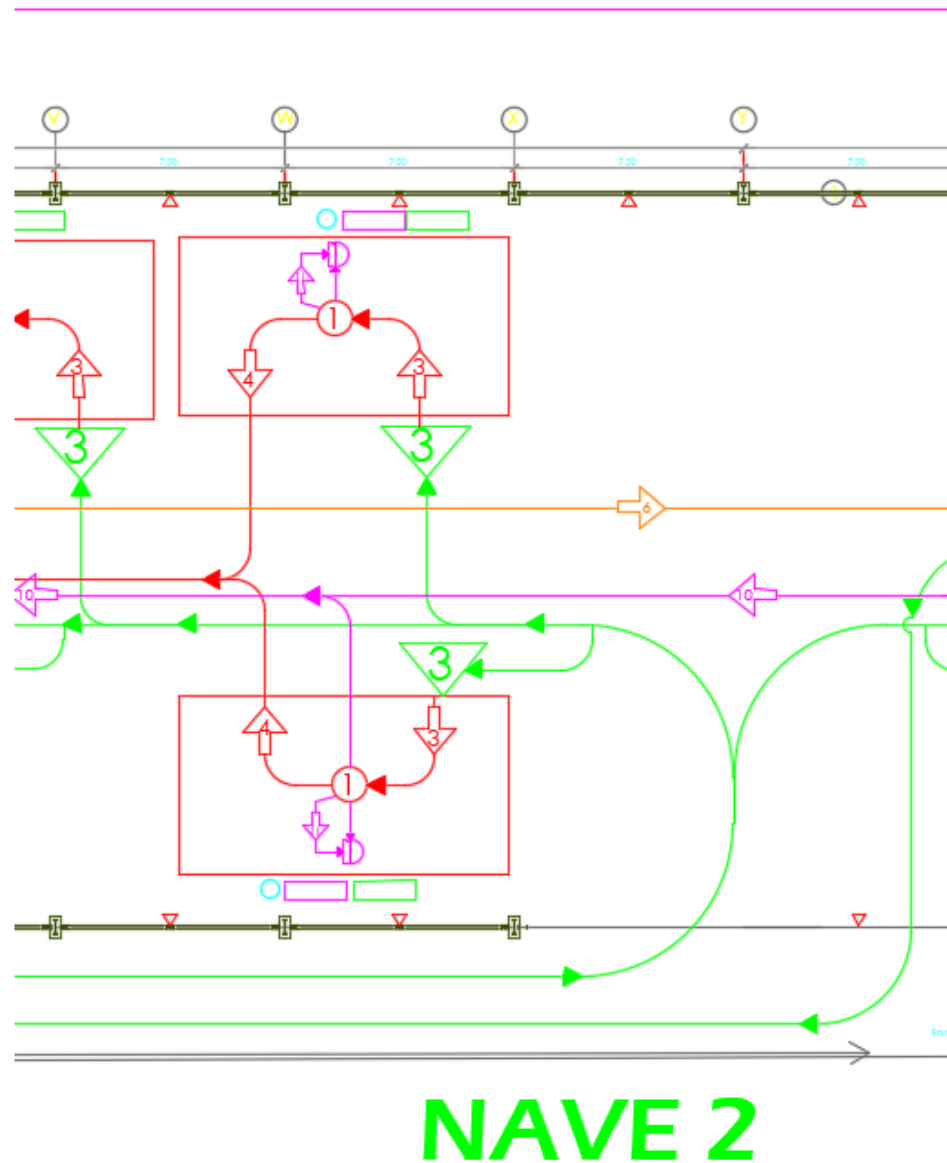


Figura 5. 11. Continuación de diagrama de recorrido. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

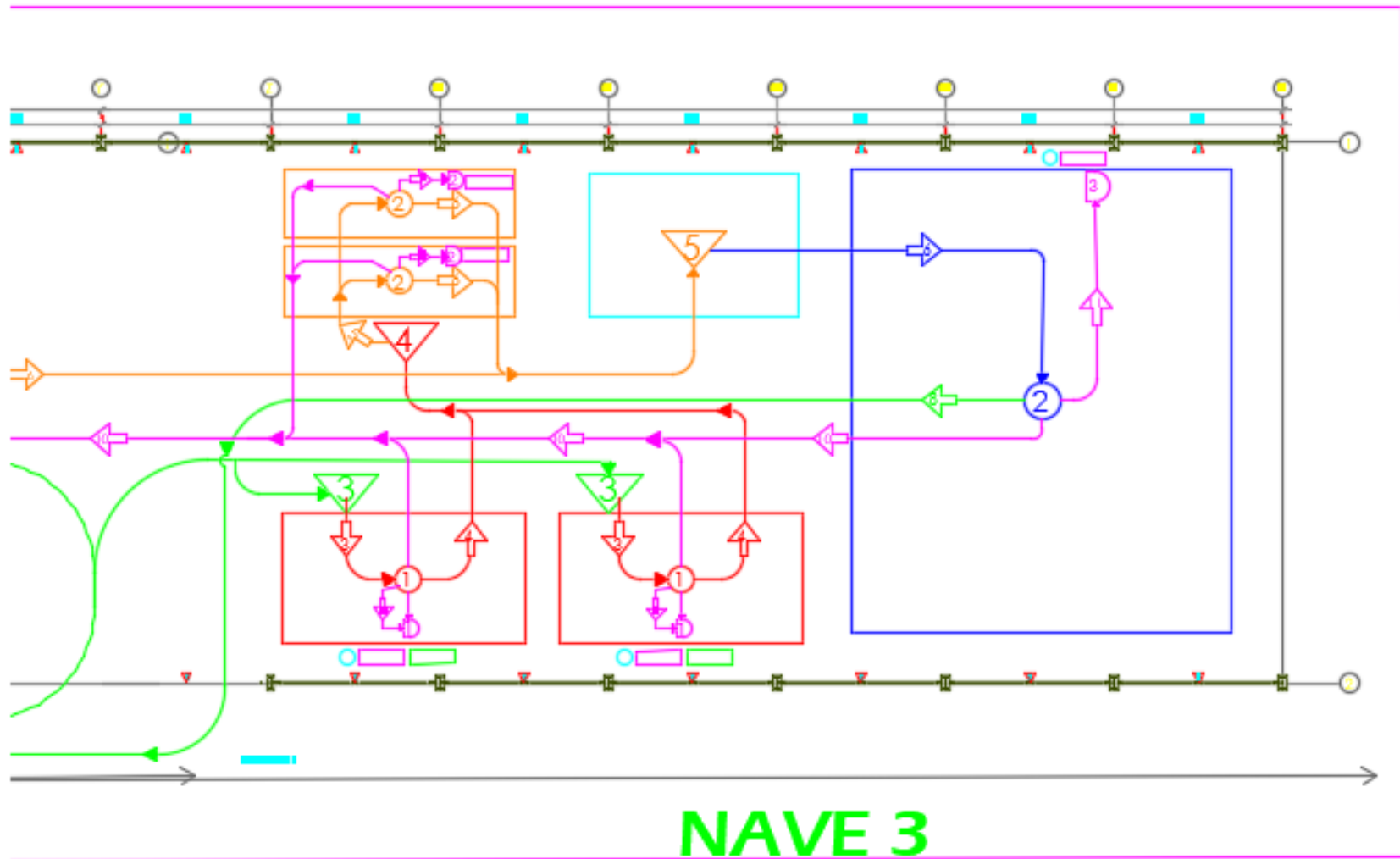


Figura 5. 12. Continuación de diagrama de recorrido. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

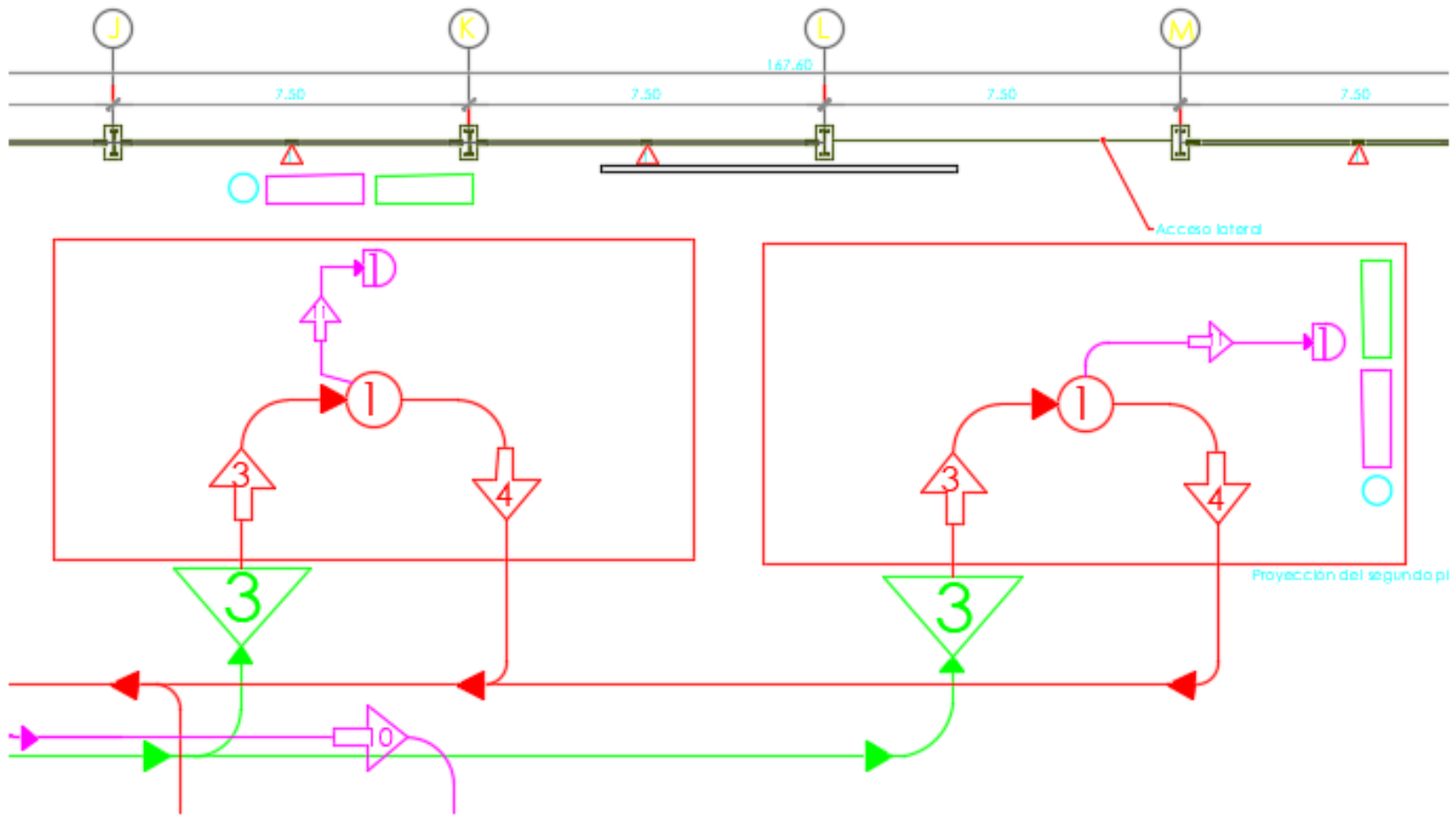


Figura 5. 13. Detalle de recorrido en área de armado. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

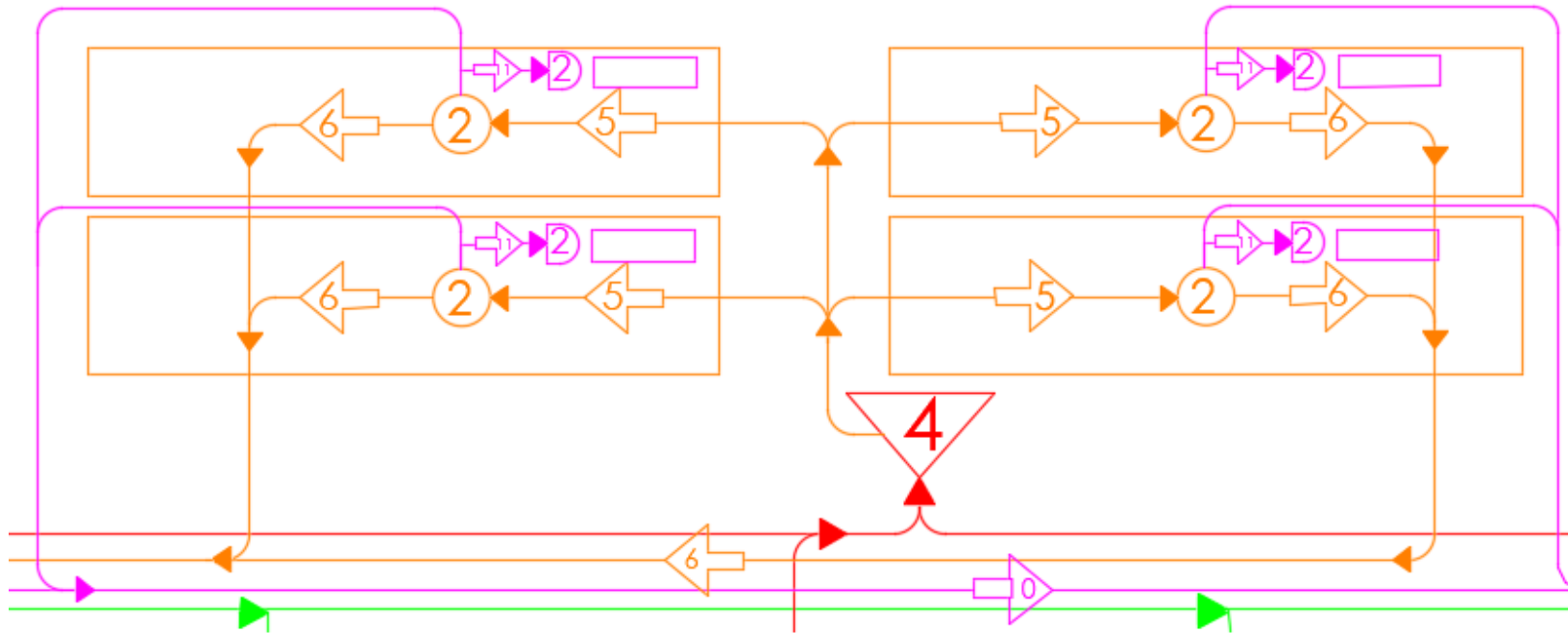


Figura 5. 14. Detalle de recorrido en área de resoldado. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

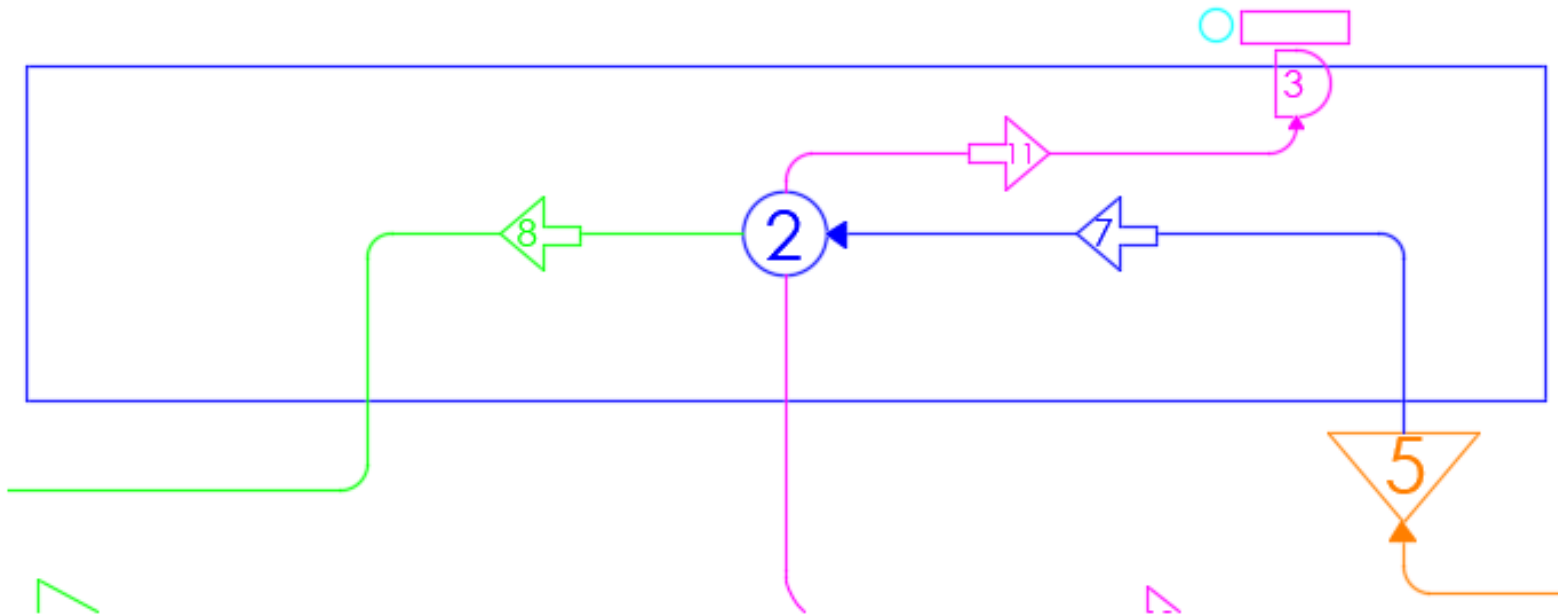



















Figura 5. 15. Detalle de recorrido en área de pintura. Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

Cuadro 5. 5. Descripción del diagrama de recorrido para el desplazamiento inicial y armado			
Proceso	Secuencia	Descripción	Equipo especial a utilizar
	1	Esta espera corresponde a la de un cargamento con materia prima, la cual debe ser despachada.	Camión
	1	Despacho de materia prima del camión.	Montacargas
	2	Materia prima almacenada, a espera de ser utilizada. Cabe destacar que la extensión de este punto es gran parte del patio frontal	—
	2	Traslado de la materia a los armadores según sea necesario, sea este a la nave 1, 2 o 3. El camión es utilizado en caso de que la carga sea de un volumen considerable como para ser llevado por el montacargas, por otra parte, se utiliza normalmente para suplir de material a las naves 2 y 3.	Montacargas y/o camión.
	3	Espera de material a procesar por parte de los armadores, en su mayoría cuentan con una cantidad de material acumulado para la actividad en ejecución.	—
	3	Los armadores trasladan el material desde el almacenamiento a su respectivo puesto de trabajo.	Grúa
	1	Proceso de armado, contempla todos los procesos descritos en el diagrama de flujo para el armado.	Grúa para manipular y/o rotar la pieza
	4	Traslado de la pieza armada a la espera de resoldado.	Grúa
	4	Espera de la pieza para ser resoldada. En este punto, el primer soldador que se desocupe, trabaja la siguiente pieza en la cola, o según la prioridad.	—

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Cuadro 5. 6. Descripción del diagrama de recorrido para el resoldado, pintura y desplazamiento final			
Proceso	Secuencia	Descripción	Equipo especial a utilizar
	5	Traslado de la pieza almacenada a resoldado.	Grúa
	2	Proceso de resoldado, contempla todos los procesos descritos en el diagrama de flujo para el resoldado.	Grúa para manipular y/o rotar la pieza
	6	Traslado de la pieza resoldada a la espera del proceso de pintura.	Grúa
	5	Espera de la pieza para ser pintada, según llegada o prioridad que tenga cada pieza.	—
	7	Traslado de la pieza para el inicio del proceso de pintura	Grúa
	3	Proceso de pintura, contempla todos los procesos descritos en el diagrama de flujo para la aplicación de pintura.	Grúa para manipular y/o rotar la pieza
	8	Traslado de la pieza al patio frontal para la espera de transporte. Las piezas provenientes de la nave 3 se trasladan con el camión debido a la distancia de recorrido.	Montacargas y/o camión
	8	Carga del vehículo para el traslado de las piezas a campo, según prioridad.	Montacargas
	7	Espera de las piezas ya colocadas para el transporte, así como del vehículo que se encarga del transporte.	Camión

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Cuadro 5.7. Descripción de desplazamientos mano de obra		
Proceso	Secuencia	Descripción
	10	Traslado a los lugares de herramientas, depósito de residuos y consulta de planos en zona de trabajo en la zona de trabajo.
	1	Para este punto los trabajadores no se encuentran laborando. El recorrido 10 se realiza para buscar la herramienta necesaria. Además, el recorrido se realiza para la interpretación de planos de taller, por otra parte, también se realiza para la disposición de residuos en su punto establecido producto de la confección de la estructura metálica.
	2	En el caso de los soldadores el recorrido 10 se realiza cuando hay una necesidad de una herramienta en particular.
	3	En pintura el recorrido 10 se realiza para obtener la herramienta necesaria. También contempla el depósito de desechos tales como mechas, disolventes y cubetas de pintura vacías.
	11	Traslado a puntos de demoras.
	4	Corresponde al recorrido 11 que realizan todos los trabajadores a la bodega en busca de insumos, materiales o herramientas.
	5	El recorrido 11 de toda la mano de obra que realiza en dirección a los servicios sanitarios en horas de trabajo.
	6	Recorrido 11 de la mano de obra para la aclaración de especificaciones a aplicar en la estructura. Los armadores son los que se dirigen a la oficina de coordinación por aclaraciones, sumado a que recurren en búsqueda del jefe de armadores para la revisión final de elementos.

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 5.1. Distancia de recorrido realizado por el montacargas			
Recorrido	Nave	Distancia mínima (m)	Distancia máxima (m)
2	1	48	113
	2 y 3	213	244
8	1	68	
	2 y 3	300	

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 5.2. Distancia de recorrido realizado por la pieza			
Recorrido	Nave	Distancia mínima (m)	Distancia máxima (m)
3	1	5	
4	1	11	47
	2 y 3	10.5	41
5	1	8	11
	2 y 3	3.5	15
6	1	14	47
	2 y 3	3.5	15
7	1	17	
	2 y 3	21	91

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 5.3. Distancia de recorrido realizado por la mano de obra			
Recorrido	Nave	Distancia mínima (m)	Distancia máxima (m)
11	1, 2 y 3	5	14
10	1	35	105
	2 y 3	41	128

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

En las Tabla 5.1, Tabla 5.2 y Tabla 5.3 se muestra las distancias mínima y máxima de cada recorrido para cada una de las naves. En algunos casos no se aplica la distancia mínima y máxima por lo que se presenta una sola magnitud.

Para la Tabla 5.2 cabe destacar que la pieza realiza el recorrido en compañía de los trabajadores.

Recorridos realizados

Tabla 5.4. Clasificación de recorridos	
Servicios sanitarios	13
Bodega	26
Aclaraciones de planos	4
Total	43

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

De estos 43 recorridos 23 de ellos fueron realizados en más de una ocasión por 10

colaboradores. Además 20 recorridos fueron realizados por personal de la nave 1 y los restantes 23 por colaboradores de las naves 2 y 3.

Por otra parte, según TRRL citado por Bermejo (2007) la velocidad de una persona masculina menor de 55 años al caminar es de 5.94 km/h, es decir 1.65 m/s, con lo cual se obtienen los tiempos de recorridos para ida y vuelta del recorrido 10, mostrados en la Tabla 5. 5. Tiempo invertido en el recorrido 10

Recorrido	Nave	Tiempo mínimo (min)	Tiempo máximo (min)
10	1	1.925	5.775
	2 y 3	2.255	7.04

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Al multiplicar un tiempo medio para la nave 1 por la cantidad de personal que se desplaza por el recorrido 10, se obtiene 77 minutos invertidos en desplazamiento y 107 minutos invertidos en desplazamiento para la nave 2 y 3. En un día laboral se pueden invertir 366 minutos para la nave 1 y 508 para las naves 2 y 3. Semanalmente,

representa 36,6 para la nave 1 y 50,8 horas para las naves 2 y 3.

Diagrama de Ishikawa

Para elaborar este diagrama, se detectaron dos afectaciones a la eficiencia y efectividad de los procesos: la baja productividad y los reprocesos. A su vez, se detectaron varios problemas que inciden en alguna, o en ambas, de dichas afectaciones.

Esta sección se realizó con el registro de disconformidades elaborado por el coordinador de producción, presentado en los anexos, en el cual se identificaron los inconvenientes presentados en la columna de problema, posteriormente se realizó una cuantificación y clasificación de la información registrada según el problema descrito. El registro de disconformidades presenta información desde el 16 de mayo del 2019, hasta el 21 de setiembre del 2019, es decir de cuatro meses y cinco días.

Además, se clasificó el problema según lo que afecta el problema sea este la baja productividad o los reprocesos obteniéndose la información del Cuadro 5. 8.

Ámbito	Problema	Afecta	Cantidad
Material	Material defectuoso	Productividad y reprocesos	7
	Material incorrecto	Productividad y reprocesos	3
	Material faltante	Productividad	1
	Inconvenientes con accesorios	Productividad y reprocesos	7
Proceso	Inconvenientes con programaciones	Productividad	3
	Omisiones de revisiones	Reprocesos	2
Planos de taller	Errores en planos de taller	Productividad y reprocesos	8
	Errores en planos de subcontrato	Productividad y reprocesos	1
	Requerimientos de información prolongadas	Productividad	1
	Información errónea dada por el cliente	Productividad y reprocesos	1
Mano de obra	Proceso omitido	Productividad y reprocesos	2
	Errores en armado	Reprocesos	3
	Soldadura mal aplicada	Reprocesos	2
Equipo	Grúa en mal estado	Productividad	1

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Por otra parte, con las consultas a encargados del taller, sumado con lo observado en los recorridos, se obtuvieron causas adicionales

para la baja productividad y reprocesos para la producción de estructuras metálicas, mostradas en los diagramas de la Figura 5.16 y Figura 5.17.

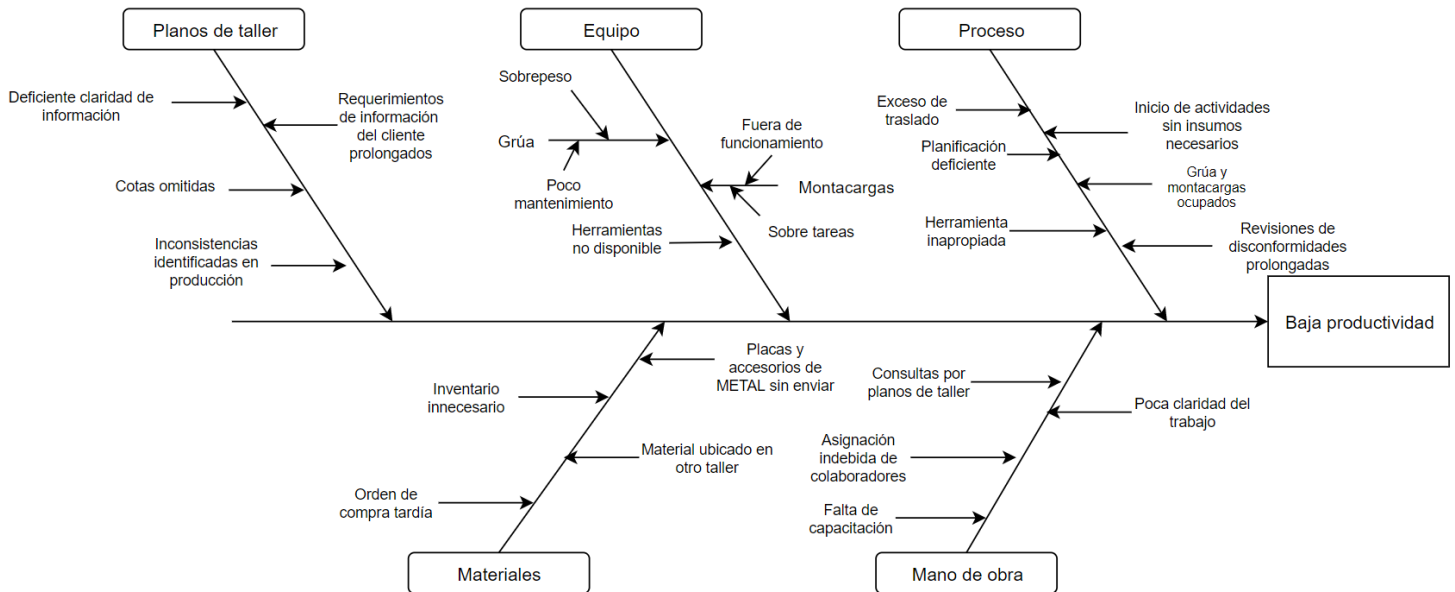


Figura 5.16. Diagrama de Ishikawa para baja productividad. Fuente: Elaboración propia en draw.io diagrams

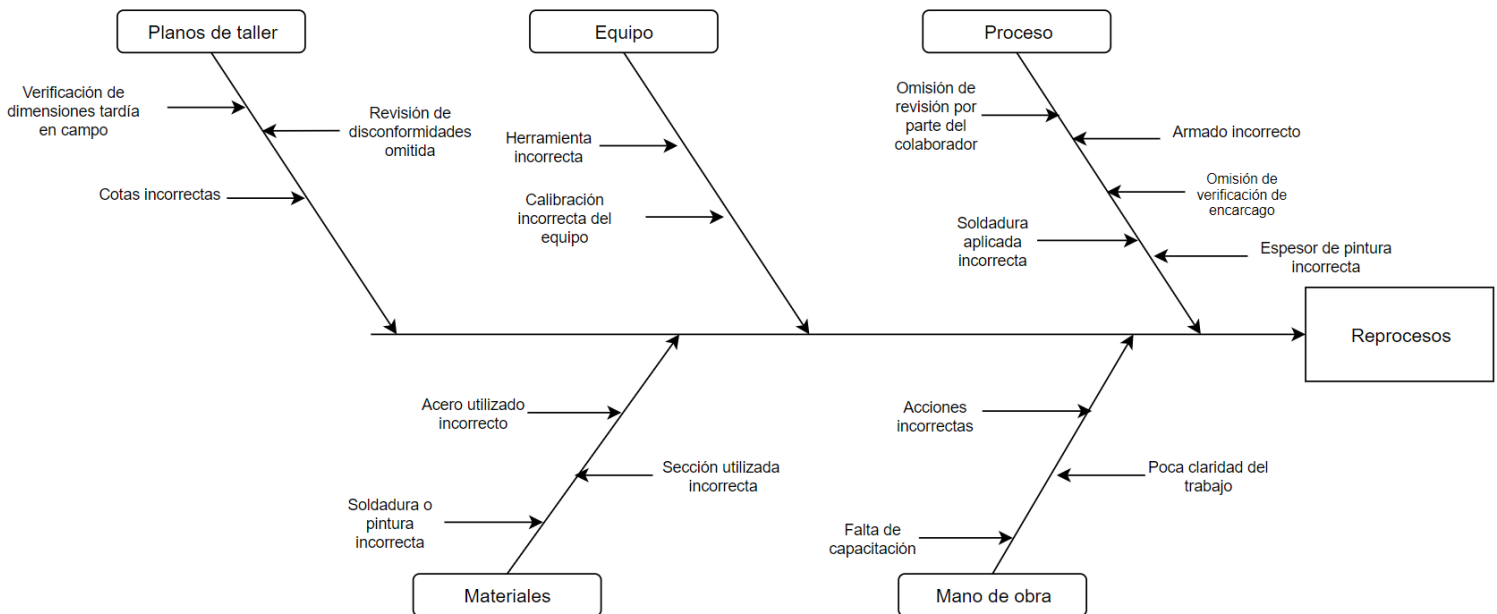


Figura 5.17. Diagrama de Ishikawa para reprocesos. Fuente: Elaboración propia en draw.io diagrams

Productividad

En esta sección se muestra los resultados obtenidos de la productividad de la mano de obra a partir de la carta de balance y el muestro de trabajo.

Carta de Balance

En los cuadros Cuadro 5.9 Cuadro 5. 10 y Cuadro 5. 11 muestran la clasificación que se le asignó a las actividades que se realizan en cada puesto de trabajo.

En el Cuadro 5.9 se muestran las actividades productivas y contributivas para el armado a realizar por el encargado y su ayudante.

Se consideran productivas las actividades necesarias para cumplir con las especificaciones plasmados en los planos de taller.

Cuadro 5.9. Clasificación de actividades productivas y contributivas en armado	
Consultar planos de taller	Contributiva
Revisión del material	Contributiva
Confección de plantillas o moldes	Contributiva
Modular de aprovechamiento de materiales	Contributiva
Trazado de estructura	Productiva
Corte de Material	Productiva
Perforación de material	Productiva
Biselado	Productiva
Armado según planos	Productiva
Agregar accesorios y placas	Productiva
Arriostrado y refuerzo	Productiva
Completar boleta de control	Contributiva
Girar estructura	Contributiva
Verificar escuadras, líneas de centro, diagonales, ángulos de corte y dimensionamiento de la pieza completa	Contributiva
Identificar elemento	Contributiva
Sostener herramienta o pieza	Contributiva

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

En el Cuadro 5. 10 se muestra la clasificación de actividades para el proceso de resoldado en productivas y contributivas. Cabe destacar que solo la actividad de resoldado se cuenta como

productiva ya que es la que representa el avance en el proceso.

Cuadro 5. 10. Clasificación de actividades productivas y contributivas en resoldado	
Traslado de elemento	Contributiva
Verificar especificaciones en planos	Contributiva
Verificar/agregar arriostres	Contributiva
Calibrar equipo	Contributiva
Girar pieza	Contributiva
Completar boleta de control	Contributiva

Limpieza zona a soldar	Contributiva
Resoldar	Productiva
Verificar soldadura aplicada	Contributiva

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

En el Cuadro 5. 11 se muestran las actividades que conforman las actividades productivas y contributivas en el proceso de pintura. Las

actividades productivas corresponden a las identificadas como SP3, SP2, SP1 y la aplicación de pintura.

Cuadro 5. 11. Clasificación de actividades productivas y contributivas en pintura	
Traslado de elemento	Contributiva
Verificar especificaciones en orden de producción	Contributiva
Remover oxido (SP3)	Productiva
Remover virutas (SP2)	Productiva
Remover suciedad (SP1)	Productiva
Mover o traer grúa (sin carga)	Contributiva
Verificar la limpieza	Contributiva
Girar pieza	Contributiva
Completar boleta de control	Contributiva
Aplicar pintura	Productiva
Verificar espesor (Galga y/o medidor de pintura)	Productiva

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

En el Cuadro 5. 12 se muestran las actividades no productivas que afectan el

rendimiento de los trabajadores en las tres áreas de trabajo.

Cuadro 5. 12. Actividades improductivas de la totalidad de procesos	
Traslado fuera de zona de trabajo	Improductiva
Traslado a servicio sanitario	Improductiva
Traslado distancias cortas	Improductiva
Traslado a bodega	Improductiva
Esperar	Improductiva
Conversar	Improductiva
Traer o dejar herramienta o equipo	Improductiva

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Para el Cuadro 5. 12 los traslados al servicio sanitario y bodega, no se pueden determinar con claridad en el video por lo que se consideran trasladados fuera de zona de trabajo, así como el desplazamiento a las aclaraciones de

especificaciones de los planos de taller. Los traslados de distancias cortas corresponden al desplazamiento que realizan los trabajadores dentro de la zona de trabajo para realizar las actividades productivas y contributivas.

Por otra parte, la espera corresponde a las prolongaciones de tiempo en el que el colaborador no realiza ninguna actividad y se mantiene a la espera de lo que realiza otro compañero o en otros casos, esperas por grúas.

El desperdicio al conversar se considera cuando los trabajadores se encuentran comunicando entre ellos, que no correspondan a indicaciones para realizar el trabajo.

Se considera un desperdicio traer herramienta, ya que se generan desplazamientos que se pueden evitar o disminuir.

Armado

Para el armado se realizó la medición de productividad para una pareja de armadores, el encargado y su ayudante, los cuales se encontraban en la confección de una cercha de amarre, a las cuales se les tomó las observaciones de armado (apéndice 6). Las condiciones del tiempo se encuentran el Cuadro 5. 13 mostrado a continuación.

Cuadro 5. 13. Condiciones para observaciones de armado	
Actividad	Armado de cercha
Lugar	San Rafael, Alajuela
Temperatura	23°
Hora:	8:08 a.m.
Día	17 septiembre, 2019
Núm Observaciones	400 cada 5 segundos

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

A partir del resultado de las observaciones del anexo y la clasificación de actividades productivas, contributivas y no productivas se obtuvo la



Figura 5. 19 y Figura 5. 20, al sumar el total de cada tipo de actividad. Se puede observar una productividad mayor por parte de ayudante, sin embargo, cabe destacar que realiza las mismas tareas que el armador.

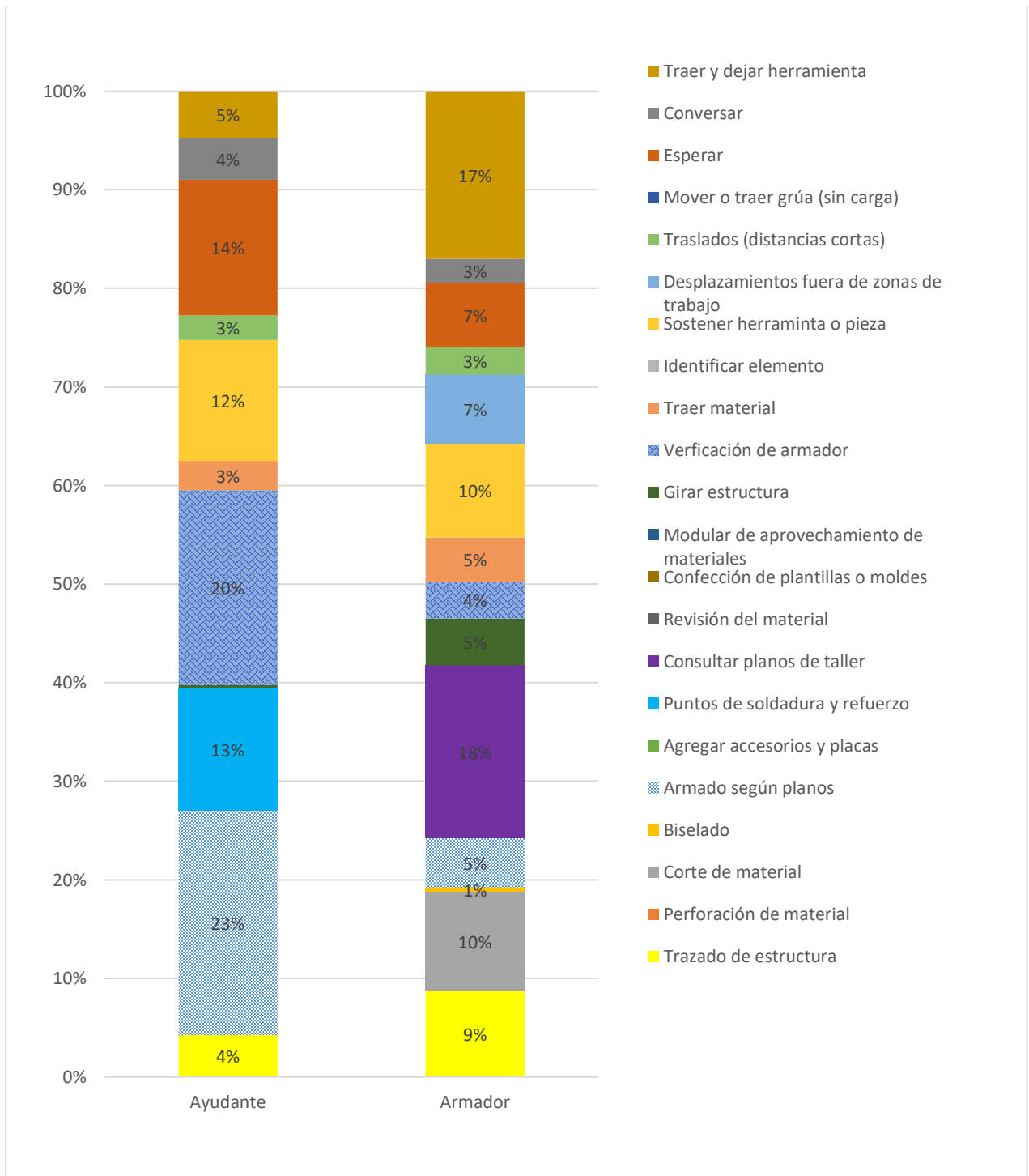


Figura 5. 18. Carta de balance del proceso de armado. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

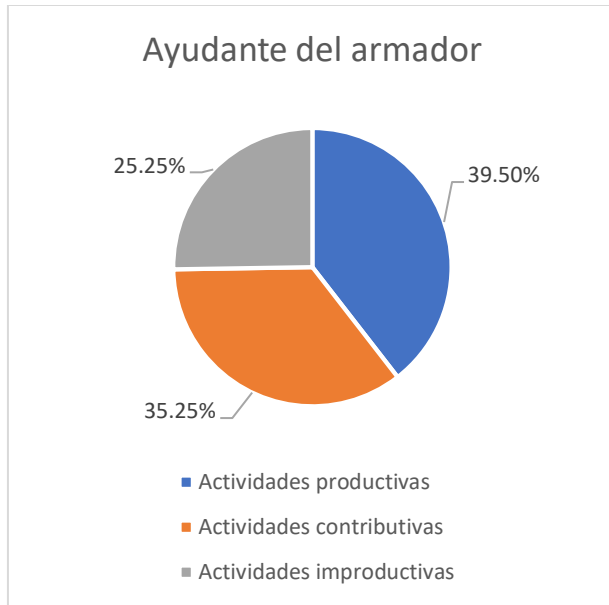


Figura 5. 19. Productividad del ayudante del armador. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel.

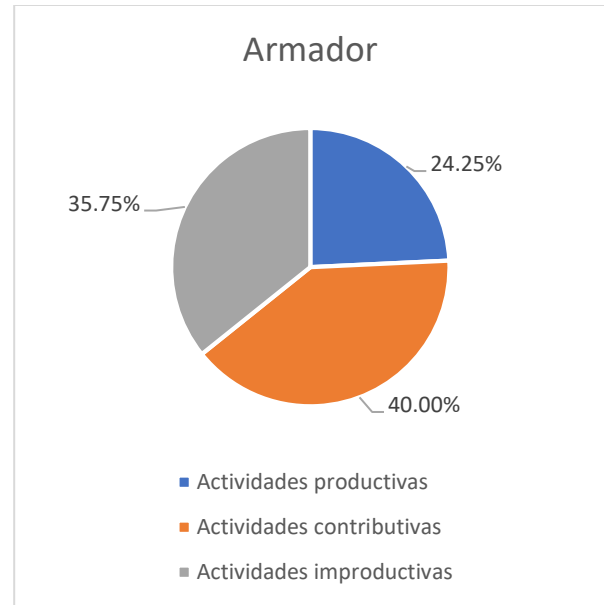


Figura 5. 20. Productividad del armador. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

En el proceso llevado a cabo por los colaboradores se observó que se dio un traslado alejado de la zona de trabajo para traer herramienta necesaria para poder avanzar con las actividades, además parte del material que requerían se encontraba en el puesto de trabajo de otros colaboradores.

Además al ser un trabajo realizado en conjunto, se procedió a determinar la productividad de la pareja de armadores.

Actividades	Observaciones	Total de observaciones	Porcentaje
Productivas	255	800	31.9%
Contributivas	301		37.6%
No contributivas	244		30.5%

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Resoldado

En el Cuadro 5. 14. Condiciones del tiempo para resoldado se muestra las condiciones en el momento en que se tomó el video para tres soldadores presentes en la zona de trabajo, a los cuales se le confeccionó la carta de balance de acuerdo con las actividades productivas, contributivas y no productivas del proceso de resoldado.

Actividad	Resoldado
Lugar	San Rafael, Alajuela
Temperatura	30°
Hora:	10:56 a.m.
Día	1 de octubre, 2019
Núm. Observaciones	400 cada 5 segundos

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

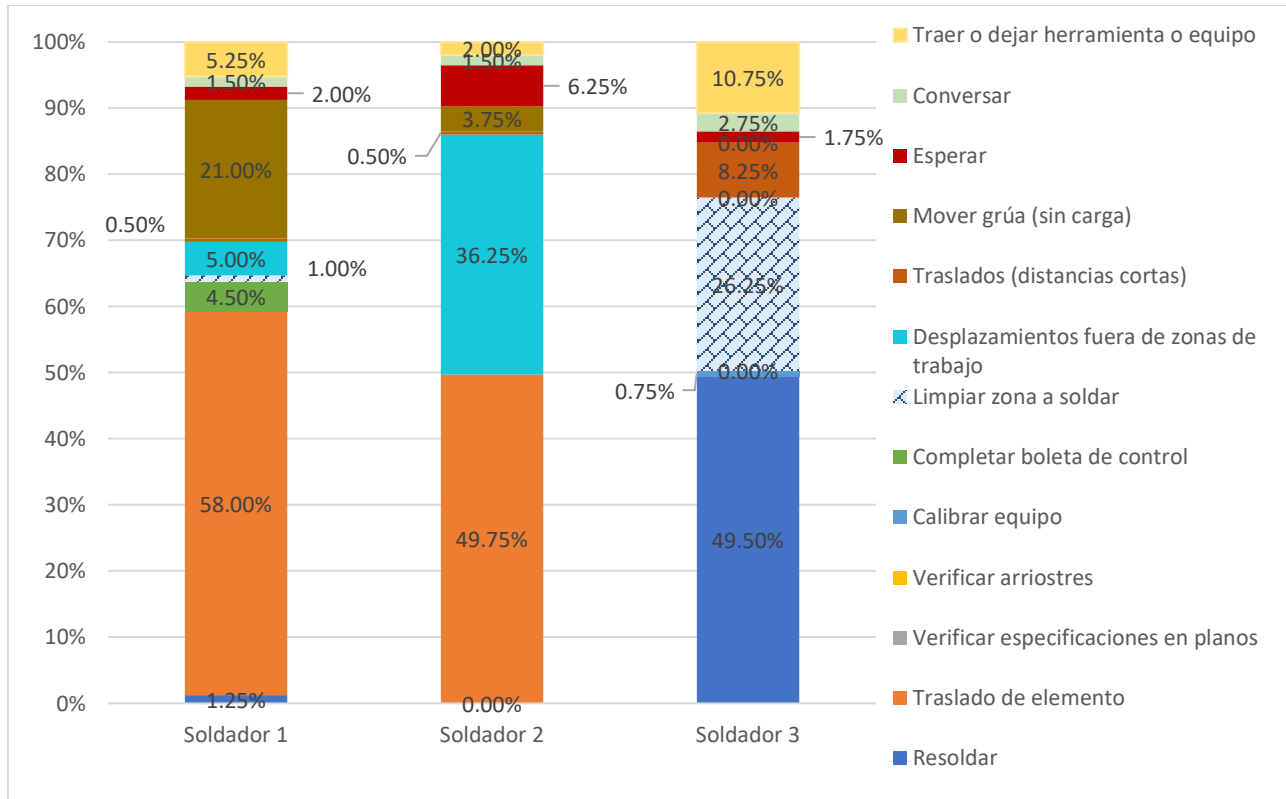


Figura 5. 21. Carta de balance de los soldadores en la medición 1. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

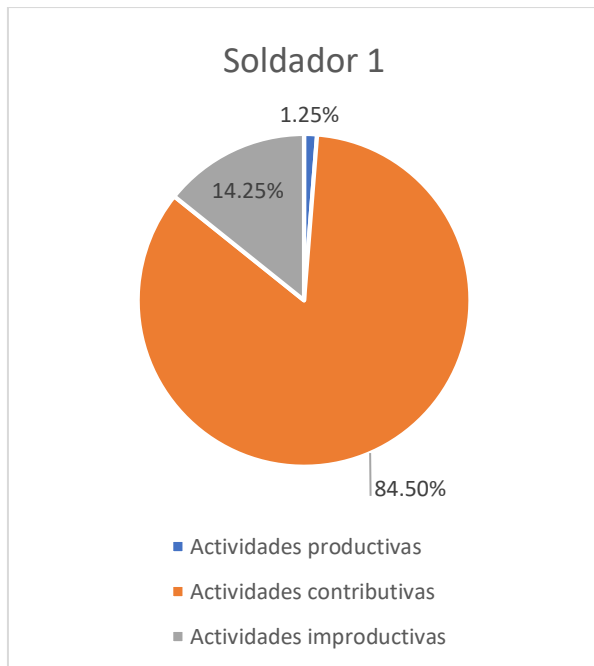


Figura 5. 22. Productividad del soldador 1 en la medición 1. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

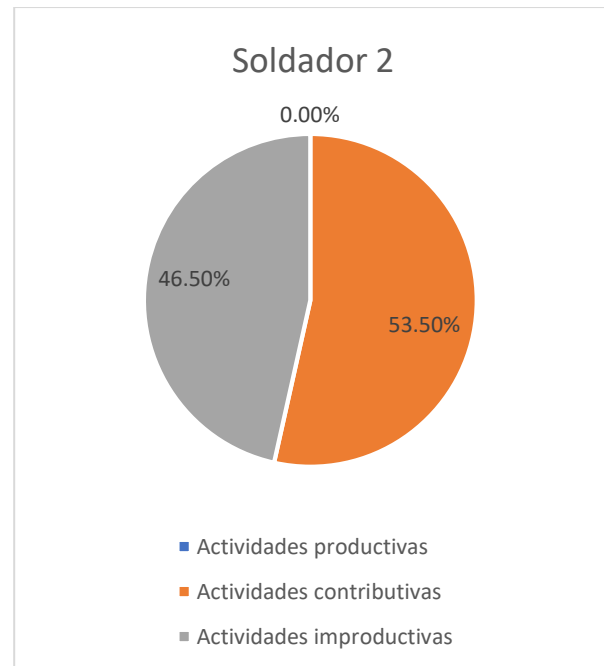


Figura 5. 23. Productividad del soldador 2 en la medición 1. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

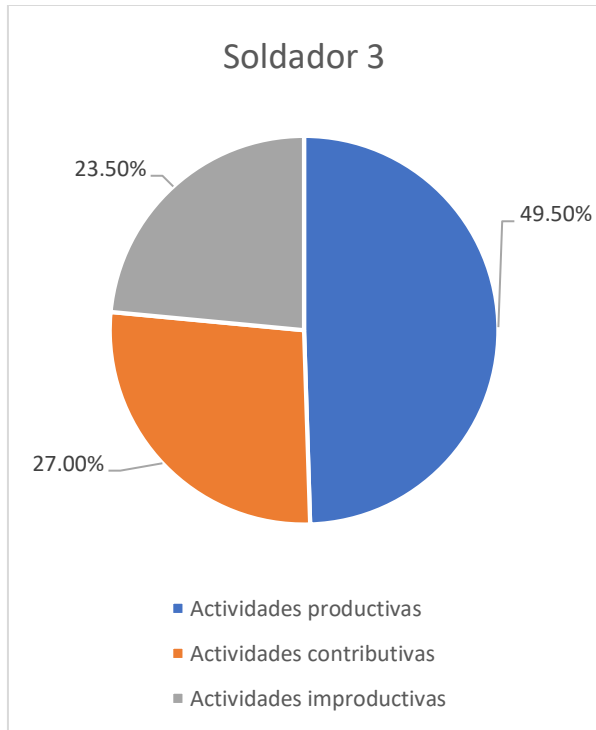


Figura 5. 24. Productividad del soldador 3 en la medición 1. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Para el total de las 400 mediciones se realizó la suma de todas las actividades productivas, contributivas e improductivas identificadas con lo que se obtuvo en el porcentaje de cada rubro, mostrado en las Figura 5. 22. Productividad del soldador 1 en la medición 1. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Para esta medición, los soldadores 1 y 2 se encontraban realizando el traslado de elementos de la zona de trabajo hacia la zona de almacenaje y viceversa, mediante el uso de la grúa viajera, con el fin de despejar la zona de trabajo así como iniciar el resoldado de otro elemento. Por otra parte, el soldador 3 se encontraba realizando el resoldado de la cumbreira de un marco para la nave industrial.

Se consideró que el traslado de los elementos de los soldadores 1 y 2 no es una medición representativa del proceso, por lo que se realizó otra medición de productividad para los soldadores 1 y 2. En la nueva medición los soldadores al terminar de trasladar los elementos procedieron con el resoldado de una cercha cada uno. Por otra parte el soldador tres terminó el resoldado de la cumbreira por lo que procedió al traslado del elemento haciendo uso de la grúa.

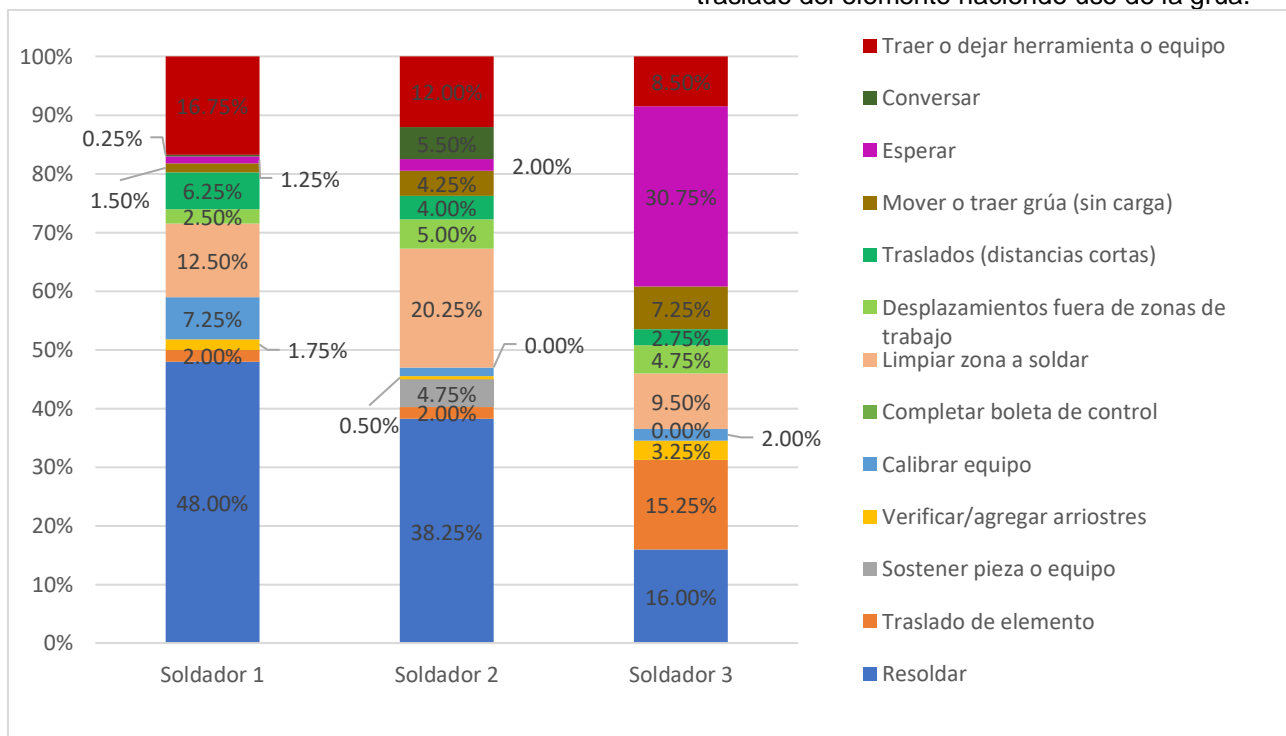


Figura 5. 25. Carta de balance de los soldadores en la medición 2. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

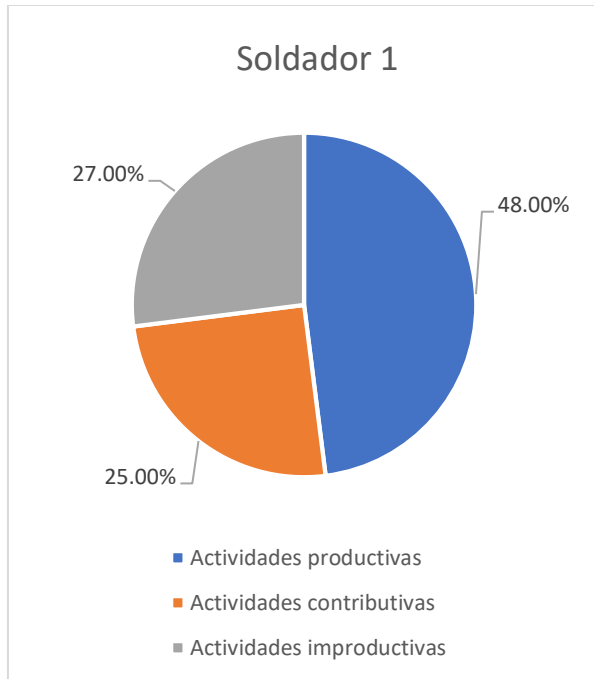


Figura 5. 26. Productividad del soldador 1 en la medición 2.
Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

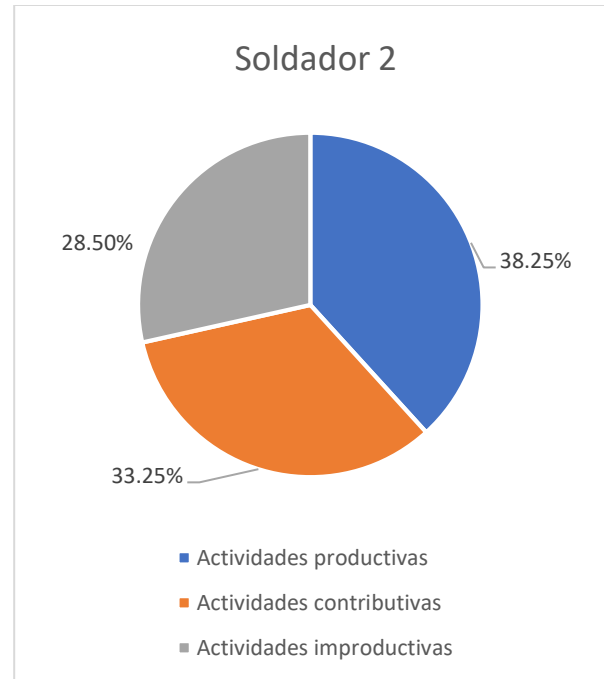


Figura 5. 27. Productividad del soldador 2 en la medición 2.
Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

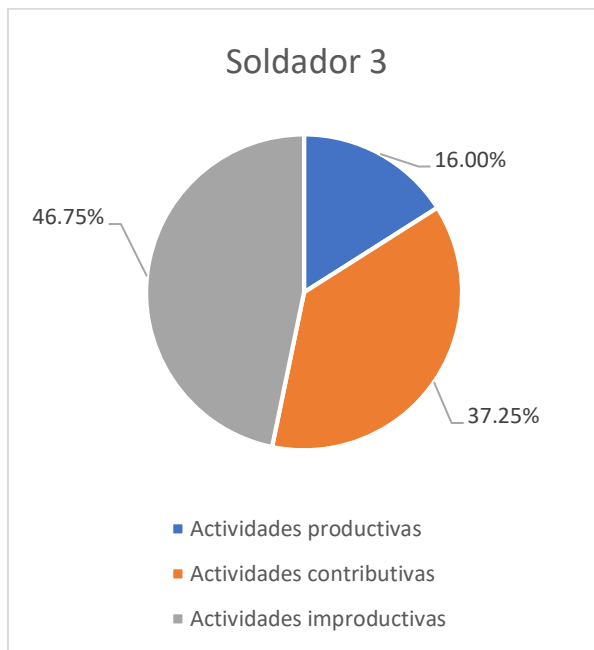


Figura 5. 28. Productividad del soldador 3 en la medición 2.
Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Para el caso del soldador 3, al terminar el resoldado de la cumbrera procedió con el traslado de la misma a la zona de almacenaje a la espera

del proceso de pintura, en la carta de balance se puede observar que el 30.75% del tiempo fue utilizado en espera de la grúa, ya que otro equipo de trabajo se encontraba en uso de la grúa.

Limpieza

En el Cuadro 5. 15. Condiciones del tiempo para limpieza de elemento, se muestra las condiciones en el momento que se realizó la medición de productividad.

Cuadro 5. 15. Condiciones del tiempo para limpieza de elemento

Actividad:	Resoldado
Lugar:	San Rafael, Alajuela
Temperatura:	24°
Hora:	7:50 a.m.
Día:	24 de septiembre, 2019
Núm Observaciones	400 cada 5 segundos

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

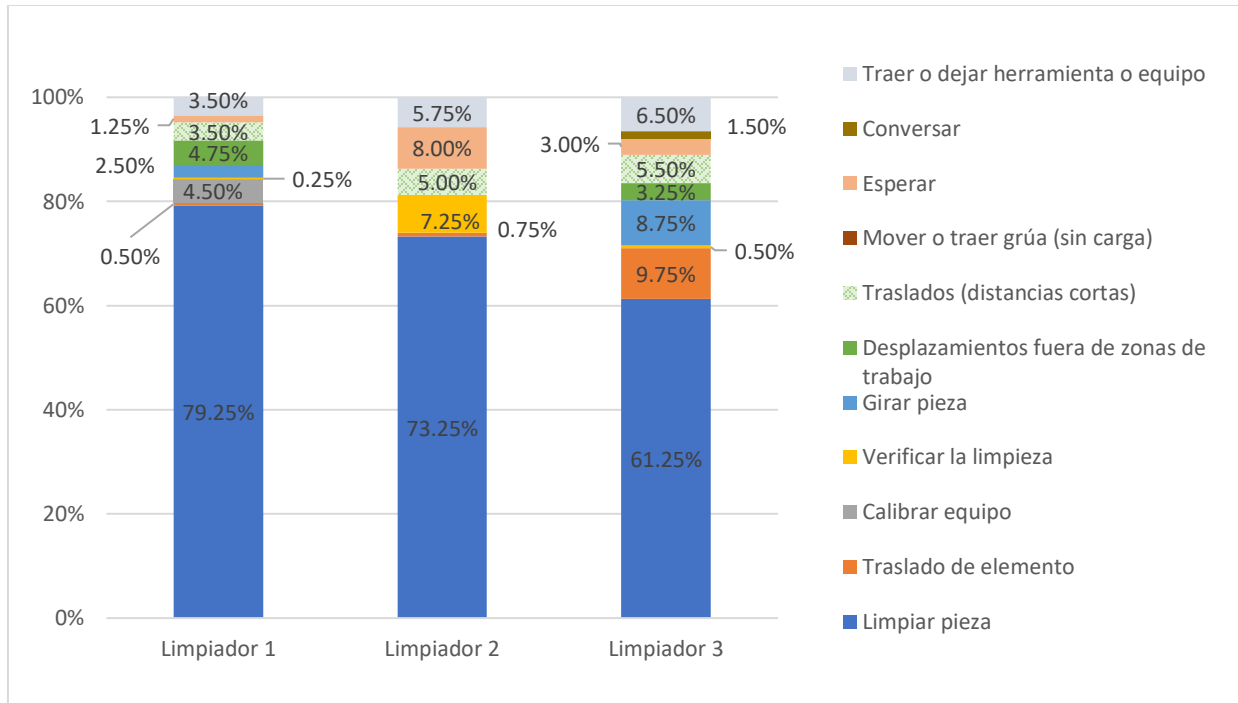


Figura 5. 29. Carta de balance de la limpieza. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Cabe destacar que para la carta de balance los procedimientos de limpieza SP1, SP2

y SP3 se consideró como limpieza de pieza, por lo que solo aparece este rubro.

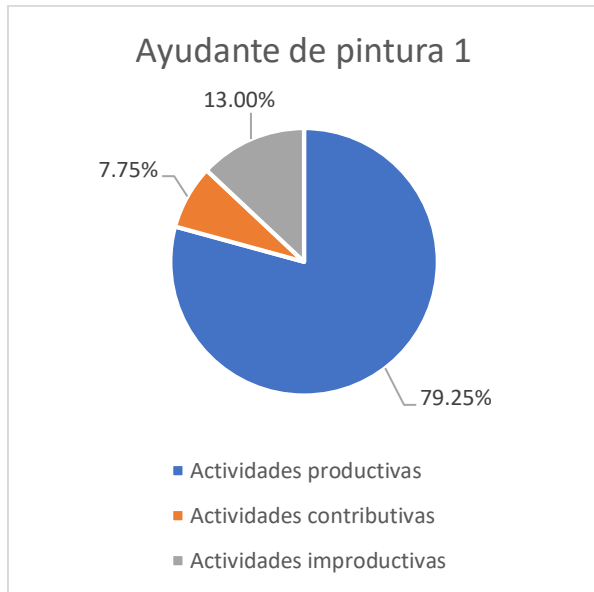


Figura 5. 30. Productividad del ayudante de pintura 1. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

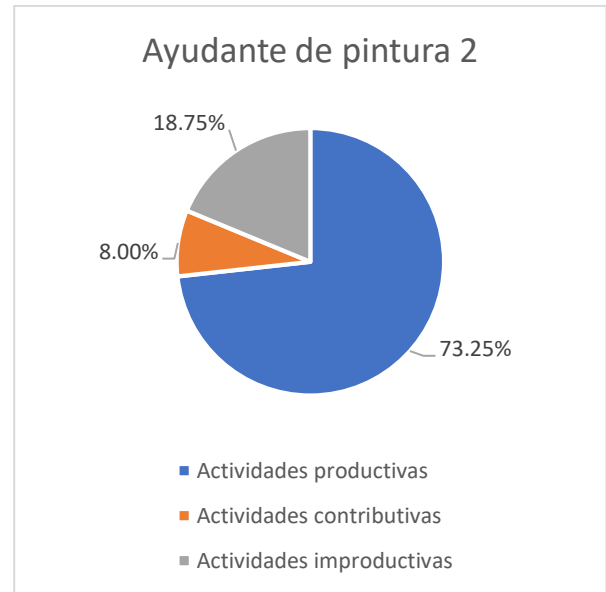


Figura 5. 31. Productividad del ayudante de pintura 2. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

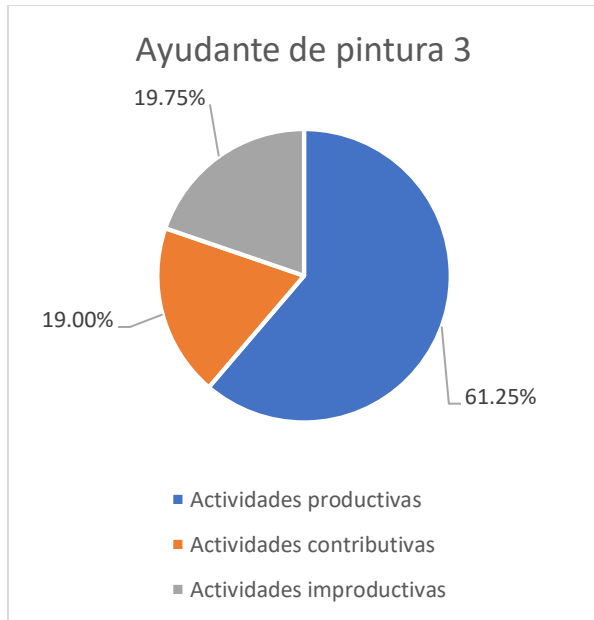


Figura 5. 32. Productividad del ayudante de pintura 3. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Pintura

En el Cuadro 5. 16 se muestran las condiciones con que se realizó la medición de productividad del proceso de aplicación de pintura.

Cuadro 5. 16. Condiciones del tiempo para aplicación de pintura	
Actividad	Resoldado
Lugar	San Rafael, Alajuela
Temperatura	25°
Hora:	8:49 a.m.
Día	4 de octubre, 2019
Núm. de observaciones	426 cada 5 segundos

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

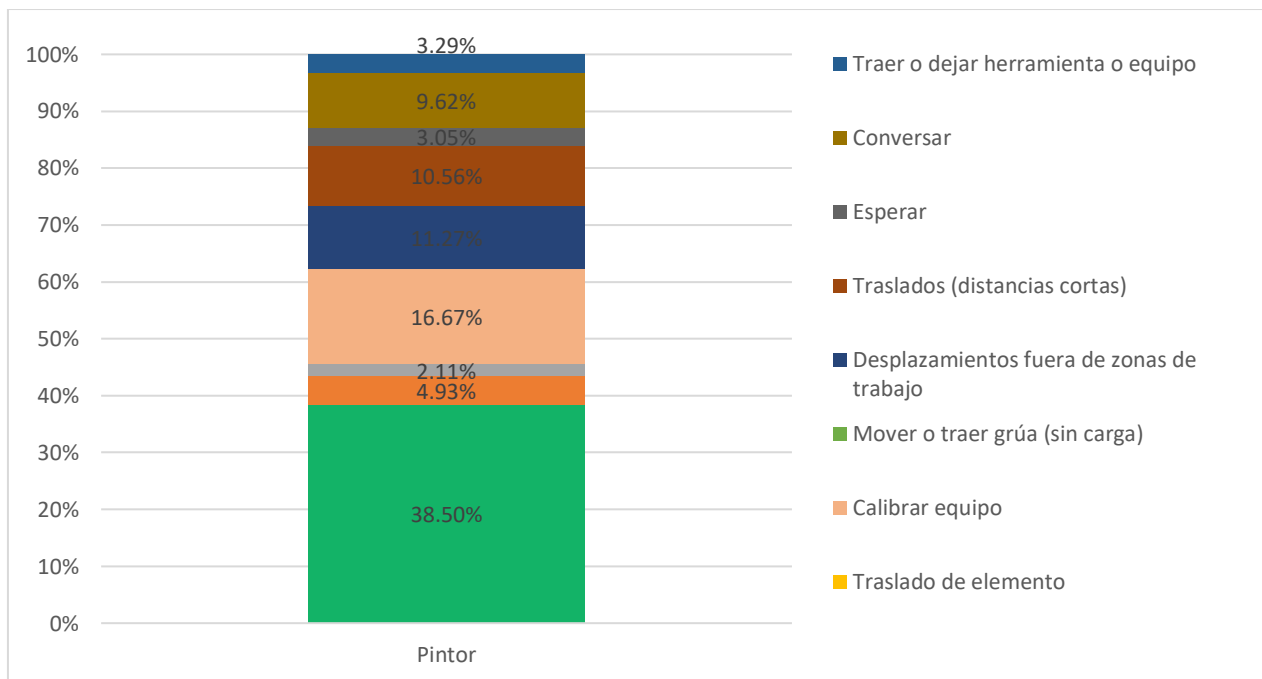


Figura 5. 33. Carta de balance del pintor. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

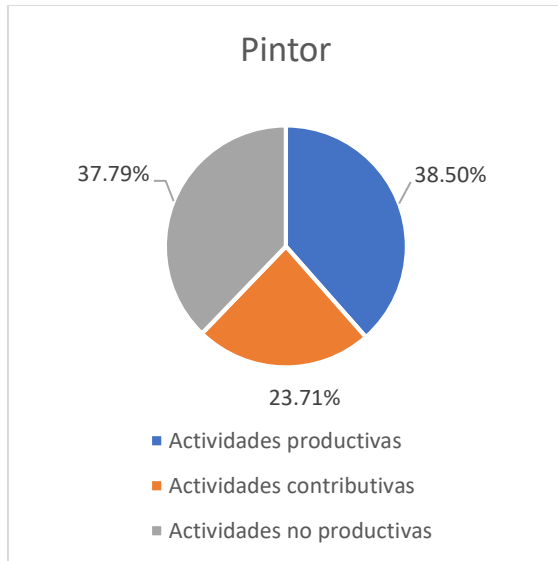


Figura 5. 34. Productividad del pintor. Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Para el proceso de aplicación de pintura es necesario calibrar el equipo de forma correcta para garantizar el espesor de la capa aplicada según las especificaciones del cliente, lo que conlleva una alta inversión de tiempo.

Muestreo del trabajo

Con el fin de complementar la toma de productividad se elaboró un muestreo del trabajo. La muestra fue obtenida 3 de octubre del 2019 para ejemplificar el desperdicio de tiempo en la planta, producto de que una grúa se encontraba en mal estado, sumado con que uno de las actividades presentes requería el uso de la grúa viajera constantemente, lo que afectaba el desempeño de las restantes zonas de trabajo traducido en esperas por la grúa.

La actividad descrita anteriormente, correspondía a la confección de una viga hechiza para una nave industrial a partir de láminas de acero.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5. 7, donde se muestra la cantidad total de observaciones y en la Tabla 5. 8 se representa los valores obtenidos en porcentaje. Cabe destacar que la confección de la viga hechiza era realizada por una pareja de armadores, sin embargo, en el transcurso de la actividad los colaboradores en espera de grúa participaban de

la confección de la viga. En un punto determinado se llegó a contar con seis colaboradores en la zona de trabajo para esta actividad, en su mayoría a la espera de la liberación de la grúa viajera.

Cantidad de observaciones	1411
Productivas	833
No productivas	528
Espera por grúa	353

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

% Productivo	62.1%
% No productivo	37.1%
% Esperas por grúa	24.8%

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

En la Tabla 5. 8 se puede observar que el 24,8% de las observaciones corresponde a las esperas por grúa. De igual forma estas esperas se tomaron como parte del 37.1% del tiempo no productivo. Dicho de otra forma el 66,8% del tiempo no productivo corresponde a esperas por la grúa.

Otro desperdicio

Por medio de los recorridos por el taller de producción se identificó que en ocasiones, algunos trabajadores no contaban con planos de taller debido a que realizaban un elemento con especificaciones en el mismo plano de otro compañero.

Mapeo del flujo de valor

Para esta sección se realizó un mapeo de valor que ejemplifique el estado actual de la planta de producción, así como un estado futuro e ideal de la planta, tomando como base las cerchas de techo central del proyecto ANDE.

Esta herramienta de flujo de valor se utiliza comúnmente en industrias manufactureras o similares con datos obtenidos en tiempo real. Para adaptar a la actividad de estructuras metálicas se utilizó el registro de producción con boleta, mostrado en los apéndices.

Estado actual

Proveedores

Para la materia prima enviada por el proveedor se utilizó el registro de inventarios llevado por el departamento de bodega, mostrado en el anexo 2.

Sin embargo, el material a considerar es el del techo central, el cual se muestra en la Tabla 5. 9, con su respectiva cantidad de materiales y kilogramos de acero.

Tabla 5. 9 Materiales de techo central proyecto ANDE		
Material	Cantidad	Peso total (kg)
TUB EST CUA 150X150 X 3.17 X 6000 MM HN	31	299.24
TUB EST RECT 100X150 X 3.17 X 6000 MM HN	4	2782.91
TUB EST RECT 100X150 X 4.76 X 6000 MM HN	24	2693.14
TUBO 100 X 100 X 3,17 EN 6 METROS	60	3590.85
TUBO EST RECT 50 X 150 X 3,17 EN 6000 MM HN	9	538.63

TOTAL	128	9904.76
-------	-----	---------

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

El proveedor envía al taller la totalidad de material necesario para la actividad a realizar. Los 128 elementos llegaron al taller el 12 de setiembre del 2019.

Por otra parte, los accesorios a utilizar son suministrados por la empresa METAL, la cual envía los accesorios según sea el requerimiento de las placas. El ingeniero de producción recibe placas de METAL a diario.

Procesos

Las horas de trabajo de cada proceso fueron determinados a partir de la información suministrada en el apéndice de control de producción por boleta, donde además se expresa que la cercha estudiada fue confeccionada por tres armadores, dos soldadores y tres ayudantes de pintura.

Tabla 5. 10. Horas de proceso para cerchas de techo central de ANDE

Rubro	Armado (h)	Resoldado (h)	Pintura (h)
Promedio	5.37	4.12	5.64
Desviación estándar	2.24	1.74	1.46
Núm. Datos	10	10	10

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

El tiempo mostrado en la Tabla 5. 10, no se encuentra multiplicado por la cantidad de personal involucrado en la confección de cada cercha.

Almacenamiento de elementos

Con el registro elaborado a partir de la información de la boleta mostrada en la Tabla 4. 2. **Boleta de control de producción**, se obtuvieron tiempos en que los elementos se encontraban almacenados, así como el día y hora de este

almacenamiento, mostrado en el apéndice de control de producción por boleta.

Tabla 5. 11. Acumulación de cerchas de techo central en resoldado			
Fecha	Cant. Piezas	Código	Tiempo almacenamiento (h)
4-sep	2	B1007-1 / B1007-2	01:15
5-sep	3	B1005-1 / B1005-2 / B1006-1	01:30
5-sep	2	B1005-1 / B1005-2	02:30
6-sep	2	B1006-2 / B1006-3	00:40
10-sep	2	B1004-1 / B1004-2	00:25
13-sep	2	B1002-1 / B1002-2	00:43
10-sep / 11-sep	2	B1001 / B1013	10:00

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 5. 12. Acumulación de cerchas de techo central en pintura			
Fecha	Cant. Piezas	Código	Tiempo almacenamiento
5-sep	2	B1007-1/B1007-2	00:30
5-sep	2	B1007-1/B1009	04:00
10-sep	2	B1004-1/B1004-2	10:00
9-sep	2	B1005-1/B1005-2	20:00
13-sep	2	B1013/B1001	10:20
14-sep	2	B1002-1/B1002-2	01:00

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Con la Tabla 5. 11 y la Tabla 5. 12 se hizo uso de la moda, como medida de tendencia

central. Se observa que la cantidad de cerchas de techo acumuladas más frecuentes son las de dos piezas.

Para determinar la espera por transporte al sitio de proyecto, se consultó el boleterero, como se ejemplifica en el anexo 3, de boleta de salida de elementos. Sin embargo, no fue posible consultar las salidas de las cerchas estudiadas, por lo que se procedió a utilizar las esperas de otros elementos ANDE, como se muestra en la Tabla 5. 13. Se puede apreciar que las columnas son elementos de grandes magnitudes, en la Figura 5. 41 y la Figura 5. 42 de más adelante, se aprecia la configuración de las piezas. Sin embargo, las vigas tienen dimensiones menores a las columnas, por lo que la espera tiende a ser mayor, a la espera de disponibilidad mayor de vigas a transportar. Las cerchas al tener un tamaño considerable, se comparan con las columnas mostradas, es decir tendrán una espera de un día, haciendo uso de la medida de tendencia central, moda. Un día laboral es equivalente a 9 horas 30 minutos, es decir 570 minutos.

Elemento	Tipo de elemento	Fin de proceso	Fecha de transporte	Espera (días)
C1003 Techo derecho	Columna	6-ago	7-ago	1
C1003 Techo derecho	Columna	7-ago	7-ago	0
C1000 Techo izquierdo	Columna	8-ago	8-ago	0
B1029 Techo izquierdo	Viga	5-ago	8-ago	3
B1030 Techo izquierdo	Viga	5-ago	8-ago	3
B1012 Techo izquierdo	Viga	5-ago	8-ago	3
B1040 Techo izquierdo	Viga	5-ago	8-ago	3
B1055 Techo izquierdo	Viga	8-ago	8-ago	0
B1022 Techo izquierdo	Viga	8-ago	8-ago	0
B12 Techo izquierdo	Brazo columna	5-ago	7-ago	2
B15 Techo izquierdo	Brazo columna	7-ago	7-ago	0
P103 Gradería derecha	Columna	22-ago	23-ago	1
P104 Gradería derecha	Columna	26-ago	27-ago	1
P103 Gradería derecha	Columna	22-ago	23-ago	1

Fuente: Elaboración propia con Microsoft Excel

Por otra parte se obtuvo la media de la espera en resoldado y en pintura de las cerchas de techo central, mostradas en la Tabla 5. 14.

Rubro	Espera para resoldar (h)	Espera para pintura (h)
Media	1.88	8.95
Desv. Estand.	1.91	6.86
Núm. Datos	10	10

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Cliente

Para el departamento de producción el cliente a satisfacer la demanda corresponde al departamento de ingeniería de la empresa, debido a que se encarga de relacionarse directamente con la empresa cliente. La demanda del departamento de ingeniería se considera de 7,14 kg/hora por trabajador.

Tiempo disponible

Para el taller Belén se tiene un horario laboral ordinario que comprende entre las 6:30 am y las 4:00 pm, para un total de 9 horas 30 minutos laborales diarios. Sin embargo, se debe tomar en cuenta el tiempo de descanso en el que se invierte 15 minutos para desayuno, seguido de otros **15 minutos aproximados de reflexión**, 30 minutos de almuerzo y 15 minutos de café, con lo que se obtiene 8 horas 15 minutos laborales; este tiempo corresponde al tiempo disponible (TD).

Tiempo de funcionamiento

El tiempo de funcionamiento (TF) se toma como el porcentaje de productividad de cada proceso dados en las figuras 5.19 y 5.20 para armado. Para el resoldado se tomó como referencia las mediciones de tiempo productivo en que los soldadores se encontraban laborando en una pieza dentro del, puesto de trabajo. Para el proceso de pintura se utiliza un tiempo de procedimiento tomando en cuenta el tiempo productivo de limpieza y pintura. , , .

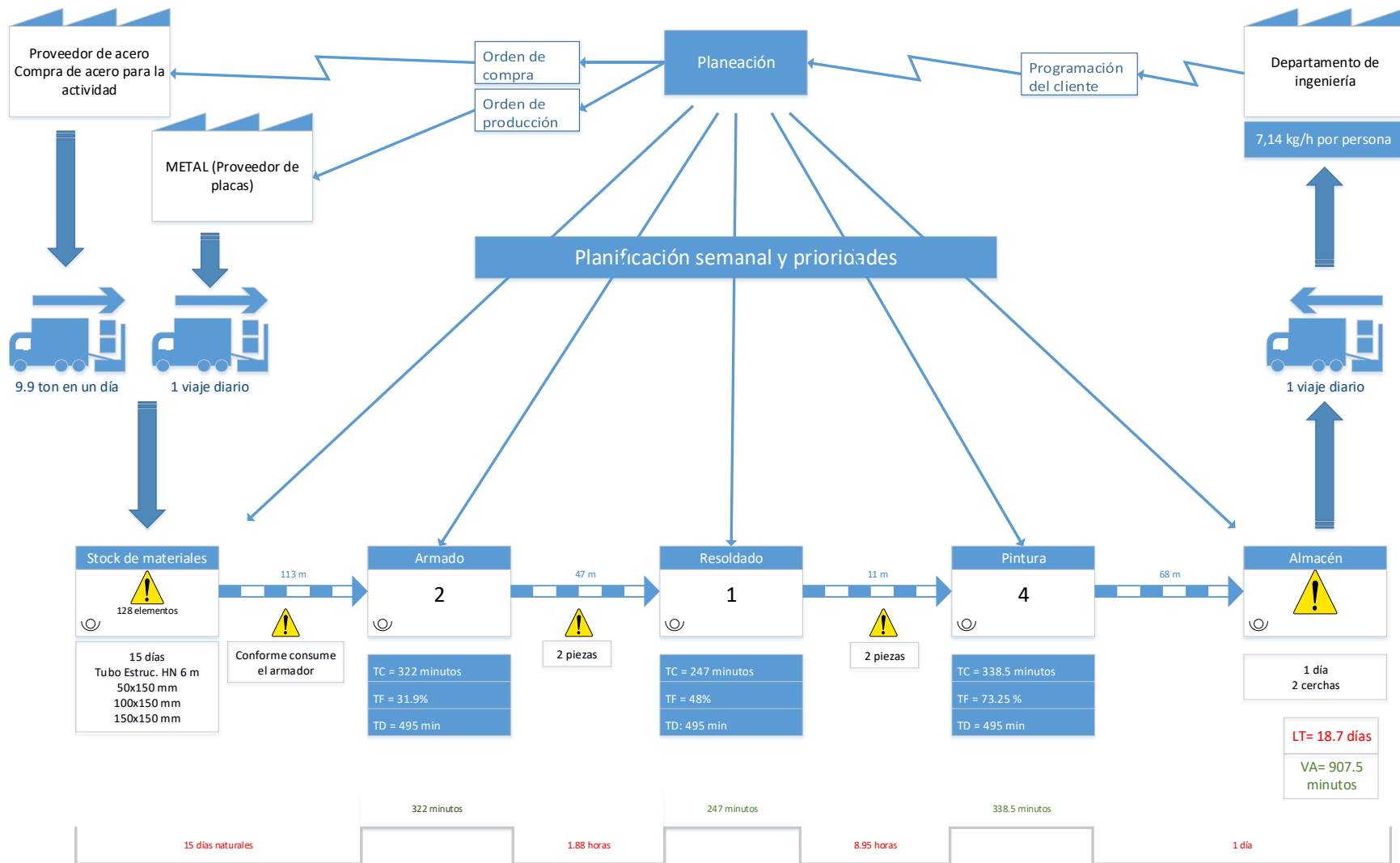


Figura 5. 35. Mapa de valor del estado actual para el taller de producción Belén. Fuente: Elaboración propia en Visio Professional

Estado futuro

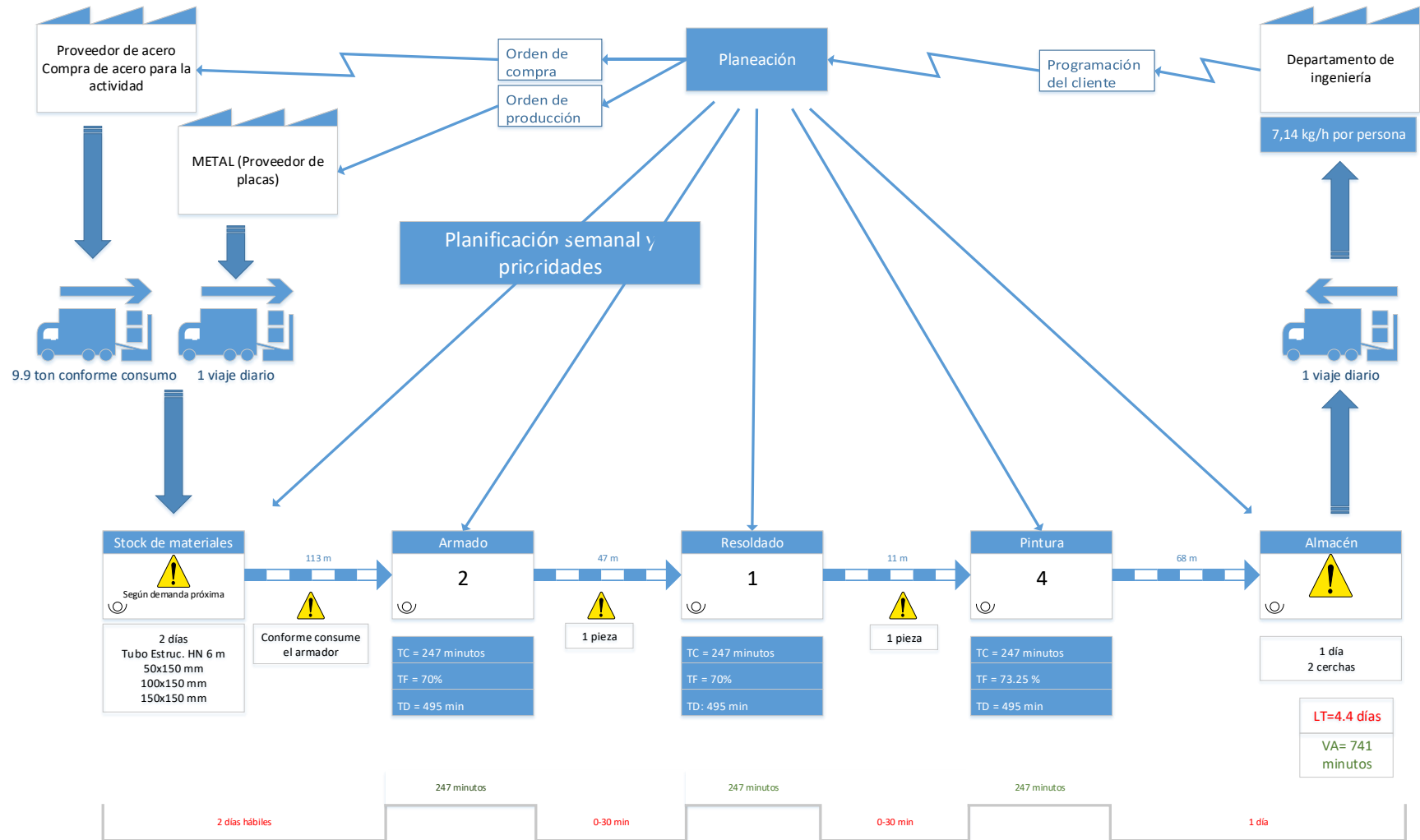


Figura 5. 36. Mapa de valor del estado futuro para el taller de producción Belén. Fuente: Elaboración propia en Visio Profesional

Trabajo y rendimiento

Se obtuvieron los tiempos de trabajo, así como rendimientos para diferentes elementos confeccionados en el taller Belén, en el que se prestó especial atención al proyecto de Centro de Convenciones Caja de ANDE, para el que la empresa realizó la estructura metálica correspondiente.

La media de kilogramos procesados por pieza se muestra en la tabla 5.15.

Tabla 5. 15. Media de kilogramos por pieza			
Elemento	Media (kg)	Desv. Estándar (kg)	Coef. Variación
Vigas entrepiso	246.30	215.19	0.87
Marcos entrepiso	1940.16	411.00	0.21
Vigas de techo	248.28	175.05	0.71
Columnas de techo	803.18	11.13	0.01
Cerchas techo central	427.23	104.58	0.24
Columnas de gradería	1010.54	2.51	0.00

Fuente: Minitab 19

Proyecto: Centro de Convenciones Caja ANDE

El proyecto de edificación del Centro de Convenciones Caja ANDE se hizo en tres etapas: una para el entrepiso, seguido por obras de techo y la gradería del auditorio.

Para cada elemento estudiado en esta sección se cuenta con el proceso de armado, resoldado y pintura.

Vigas de entrepiso

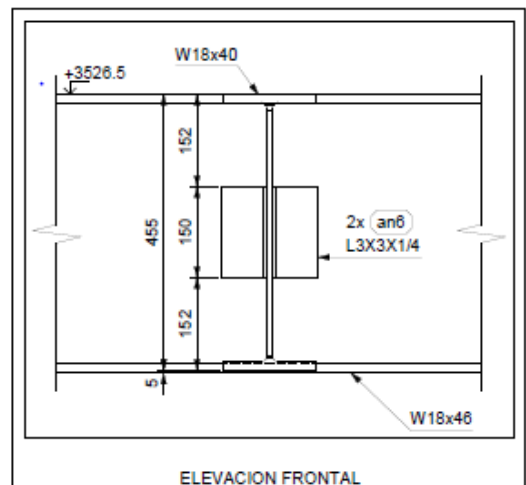


Figura 5. 37. Vista frontal de conexión de vigas de entrepiso. Fuente: Planos de taller en Advanced Steel de Grupo Yeril S.A.

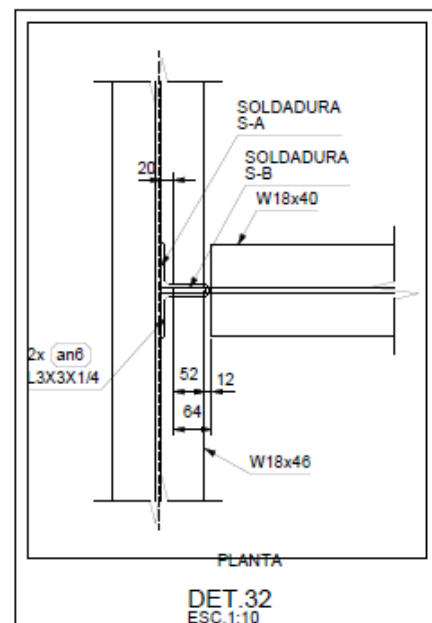


Figura 5. 38. Vista en planta de conexión de vigas de entrepiso. Fuente: Planos de taller en Advanced Steel de Grupo Yeril S.A.

Armado

Tabla 5. 16. Estadística descriptiva para armado de vigas de entrespiso del proyecto ANDE		
Variable	Parámetro	
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)
Número de datos	20	20
Media	5.33	67.00
Desv. estándar	3.49	97.90
Coef. variación	0.65	1.46
Mínimo	0.83	9.50
Cuartil 1	2.26	19.20
Mediana	4833.00	41.10
Cuartil 3	7.38	72.00
Máximo	14.00	455.50

Fuente: Minitab 19

Resoldado

Tabla 5. 17. Estadística descriptiva para resoldado de vigas de entrespiso del proyecto ANDE		
Variable	Parámetro	
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)
Número de datos	14	14
Promedio	3.29	72.30
Desviación estándar	3.14	41.30
Coef. variación	0.96	0.57
Mínimo	0.67	21.50
Cuartil 1	1.23	30.00
Mediana	2.04	61.80
Cuartil 3	4.21	123.80
Máximo	12.00	132.40

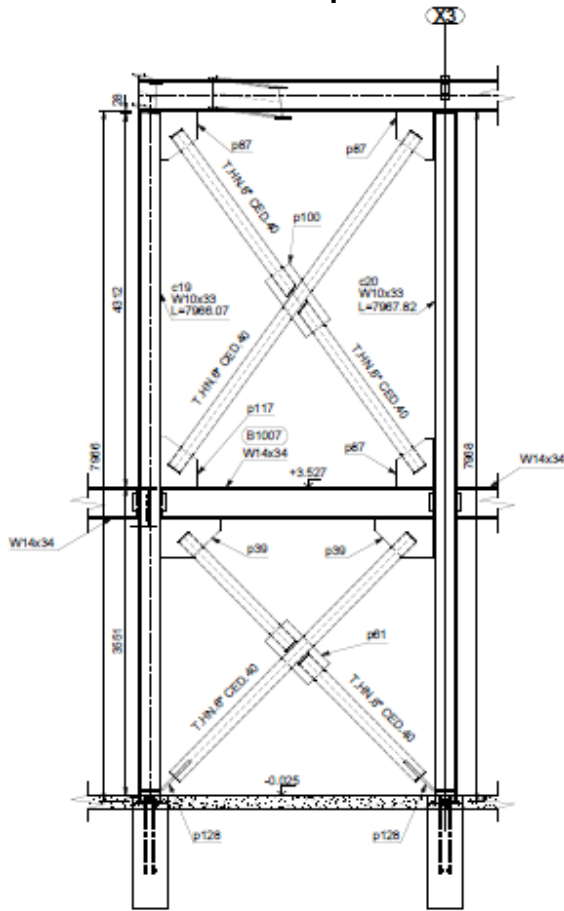
Fuente: Minitab 19

Pintura

Tabla 5. 18. Estadística descriptiva para pintura de vigas de entrespiso del proyecto ANDE			
Variable	Parámetro		
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)	Rendimiento (m ² /h)
Número de datos	42	42	42
Media	3.33	149.40	3.37
Desv. Están.	3.26	161.00	3.17
Coef. variación	0.98	1.08	0.94
Mínimo	1.24	7.70	0.27
Cuartil 1	1.25	36.60	1.39
Mediana	2.00	78.60	2.43
Cuartil 3	4.93	232.10	6.24
Máximo	19.50	601.90	10.60

Fuente: Minitab 19

Marco de entrepiso



ELEVACION MAR-L-2
ESC. 1/30

Figura 5. 39. Marco de entrepiso módulo derecho MARL-2.
Fuente: Planos de taller en Advanced Steel de Grupo Yeril S.A.

Armado

Tabla 5. 19. Estadística descriptiva para armado de marcos de entrepiso del proyecto ANDE		
Variable	Parámetro	
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)
Número de datos	14	14
Media	57.57	38.76
Desv. estándar	27.81	15.25
Coef. variación	0.48	0.39

Mínimo	29.25	18.91
Cuartil 1	41.75	26.44
Mediana	50.92	36.47
Cuartil 3	63.66	49.31
Máximo	140.00	68.53

Fuente: Minitab 19

Resoldado

Tabla 5. 20. Estadística básica para resoldado de marcos de entrepiso del proyecto ANDE		
Variable	Parámetro	
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)
Número de datos	10	10
Media	10.54	382.00
Desv. estándar	8.01	423.00
Coef. variación	0.76	1.11
Mínimo	1.33	62.00
Cuartil 1	5.09	122.00
Mediana	8.67	271.00
Cuartil 3	16.46	498.00
Máximo	27.83	1503.00

Fuente: Minitab 19

Pintura

Tabla 5. 21. Estadística básica para pintura de marcos de entrepiso del proyecto ANDE			
Variable	Parámetro		
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)	Rendimiento (m ² /h)
Número de datos	14	14	14
Promedio	16.58	208.00	3.33
Desviación estándar	6.91	242.90	3.89
Coef. varianza	0.42	1.17	1.17
Mínimo	2.83	59.50	0.95
Cuartil 1	10.81	86.90	1.39
Mediana	17.88	101.30	1.62

Cuartil 3	21.25	211.70	3.38
Máximo	26.50	877.40	14.04

Fuente: Minitab 19

Vigas de techo

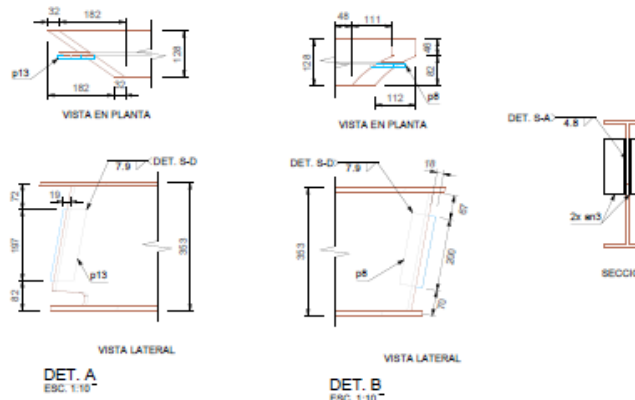


Figura 5. 40. Detalles de viga de techo. Fuente: Planos de taller en Advanced Steel de Grupo Yeril S.A.

Armado

Variable	Parámetro	
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)
Número de datos	90	90
Media	4.4	67.8
Desv. estándar	2.6	59.7
Coef. variación	1.0	1.3
Mínimo	0.8	5.1
Cuartil 1	3.2	26.9
Mediana	4.0	52.4
Cuartil 3	4.9	92.6
Máximo	20.0	283.2

Fuente: Minitab 19

Resoldado

Variable	Parámetro	
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)
Número de datos	31	31
Media	3.0	254.3
Desv. estándar	2.8	306.9
Coef. Variación	0.9	1.2
Mínimo	0.2	10.4
Cuartil 1	1.2	69.7
Mediana	2.0	112.2
Cuartil 3	4.3	315.4
Máximo	13.7	1305.9

Fuente: Minitab 19

Pintura

Variable	Parámetro		
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)	Rendimiento (m2/h)
Número de datos	82	82	82
Promedio	1.21	299.80	10.81
Desv. Estánd	1.35	261.90	9.16
Coef. variación	1.12	0.90	0.85
Mínimo	0.33	16.00	0.66
Cuartil 1	0.64	99.40	3.56
Mediana	0.75	213.80	8.17
Cuartil 3	1.51	418.40	15.55
Máximo	8.97	1093.50	38.32

Fuente: Minitab 19

Columnas de techo

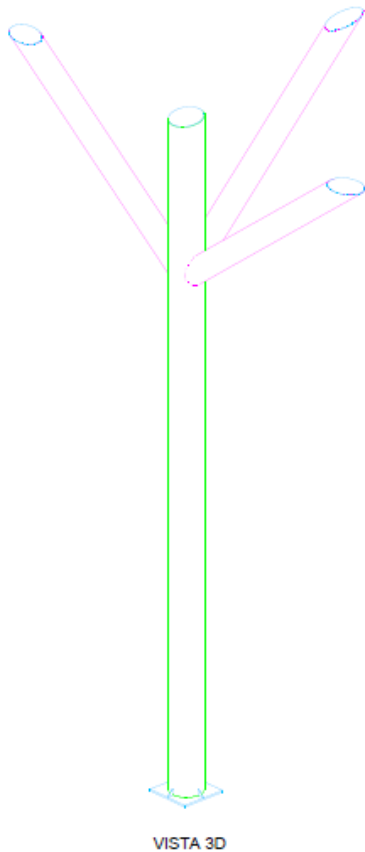


Figura 5. 41. Columna de techo C1000, proyecto ANDE.
Fuente: Planos de taller de Grupo Yeril S.A. en Advanced Steel

Cuartil 3	100.00	53.64
Máximo	222.00	80.60

Fuente: Minitab 19

Resoldado

Tabla 5. 26. Estadística descriptiva para armado de columnas de techo del proyecto ANDE

Variable	Parámetro	
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)
Número de datos	5	5
Promedio	10.53	93.20
Desviación estándar	4.97	46.20
Coef. varianza	0.47	0.50
Mínimo	5.00	46.10
Cuartil 1	6.00	53.90
Mediana	10.00	80.60
Cuartil 3	15.33	138.80
Máximo	17.50	161.20

Fuente: Minitab 19

Armado

Tabla 5. 25. Estadística descriptiva para armado de columnas de techo del proyecto ANDE		
Variable	Parámetro	
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)
Número de datos	11	11
Promedio	55.10	35.98
Desviación estándar	65.50	25.03
Coef. varianza	1.19	0.70
Mínimo	10.00	3.54
Cuartil 1	14.70	8.15
Mediana	20.70	39.02

Pintura

Tabla 5. 27. Estadística descriptiva para pintura de columnas de techo del proyecto ANDE			
Variable	Parámetro		
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)	Rendimiento (m2/h)
Número de datos	8	8	8
Promedio	6.08	254.10	2.65
Desviación estándar	5.17	173.00	1.80
Coef. varianza	0.85	0.68	0.68

Mínimo	1.53	87.10	0.91
Cuartil 1	1.87	128.50	1.34
Mediana	5.25	154.00	1.61
Cuartil 3	8.56	433.10	4.51
Máximo	17.00	526.00	5.48

Fuente: Minitab 19

Promedio	77.75	13.71
Desv. Estándar	18.31	3.63
Coef. variación	0.24	0.26
Mínimo	54.00	10.55
Cuartil 1	56.25	10.76
Mediana	83.25	12.18
Cuartil 3	93.75	18.01
Máximo	96.00	18.75

Fuente: Minitab 19

Columnas de gradería

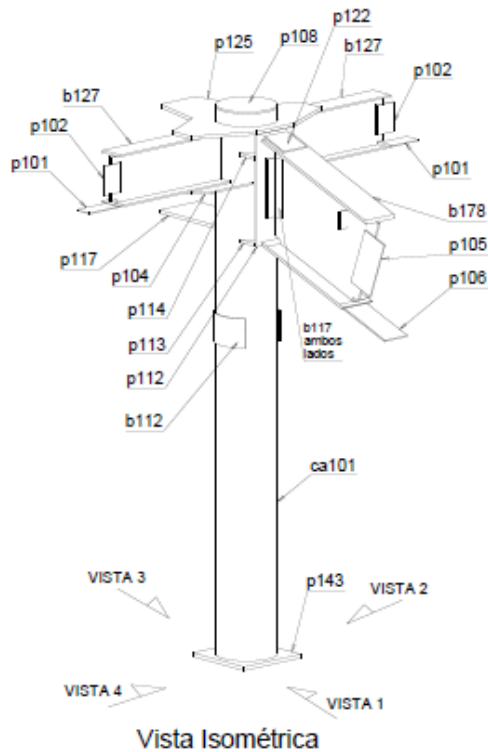


Figura 5. 42. Columna de gradería P103 proyecto ANDE.
Fuente: Planos de taller en Advanced Steel de Grupo Yeril S.A.

Armado

Tabla 5. 28. Estadística básica para armado de columnas de gradería del proyecto ANDE		
Variable	Parámetro	
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)
Número de datos	6	6

Resoldado

Tabla 5. 29. Estadística básica para resoldado de columnas de gradería del proyecto ANDE		
Variable	Parámetro	
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)
Número de datos	9	9
Promedio	28.46	56.90
Desv.estándar	15.02	46.60
Coef. Variación	0.53	0.82
Mínimo	6.25	18.10
Cuartil 1	18.83	25.80
Mediana	23.00	43.80
Cuartil 3	39.25	78.90
Máximo	56.00	162.00

Fuente: Minitab 19

Pintura

Tabla 5. 30. Estadística básica para pintura de columnas de gradería del proyecto ANDE			
Variable	Parámetro		
	Trabajo (h)	Rendimiento (kg/h)	Rendimiento (m2/h)
Número de datos	7	7	7
Promedio	9.32	174.90	2.76
Desv. Estánd	5.62	141.20	2.23
Coef. variación	0.60	0.81	0.81

Mínimo	2.29	67.20	1.05
Cuartil 1	4.21	67.50	1.07
Mediana	10.50	96.00	1.50
Cuartil 3	15.00	240.30	3.80
Máximo	15.00	441.90	6.99

Fuente: Minitab

Cerchas de techo central

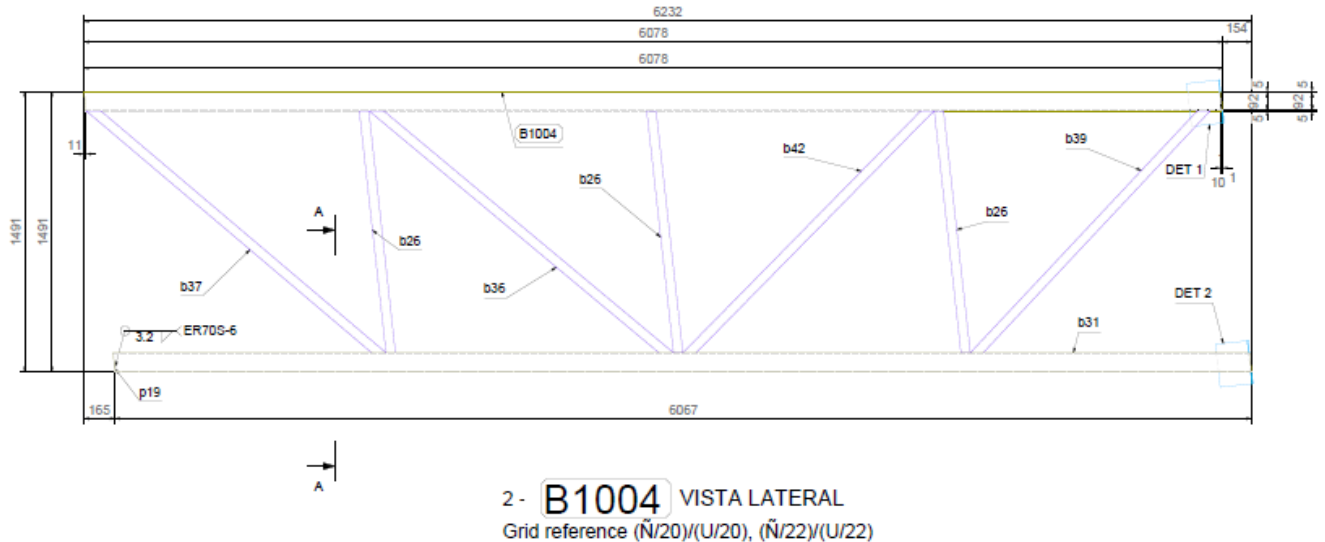


Figura 5. 43. Cercha de techo central proyecto ANDE. Fuente: Planos de taller en Advanced Steel de Grupo Yeril S.A.

Tabla 5. 31. Estadística descriptiva para cerchas del techo central del proyecto ANDE							
Variable	Parámetro						
	Armado (h)	Resoldado (h)	Pintura (h)	Rend Arm (kg/h)	Rend Resol (kg/h)	Rend Pintura (kg/h)	Rend Pintura (m2/h)
Número de datos	10	10	10	10	10	10	10
Promedio	13.46	7.43	17.275	38.82	71.2	25.12	0.5672
Desviación estándar	5.97	3.65	3.019	22.95	34.1	6.12	0.1424
Coef. Variación	0.44	0.49	0.17	0.59	0.48	0.24	0.25
Mínimo	6.42	2.00	13.25	19.18	36.5	15.08	0.332
Cuartil 1	9.21	4.90	13.5	21.4	44	20.31	0.4572
Mediana	10.50	7.67	18	25.86	60.8	27.07	0.6068

Cuartil 3	18.13	9.63	18.5	58.72	99.5	29.54	0.6733
Máximo	23.00	14.50	22.5	82.88	135.7	33.29	0.7531

Fuente: Minitab 19

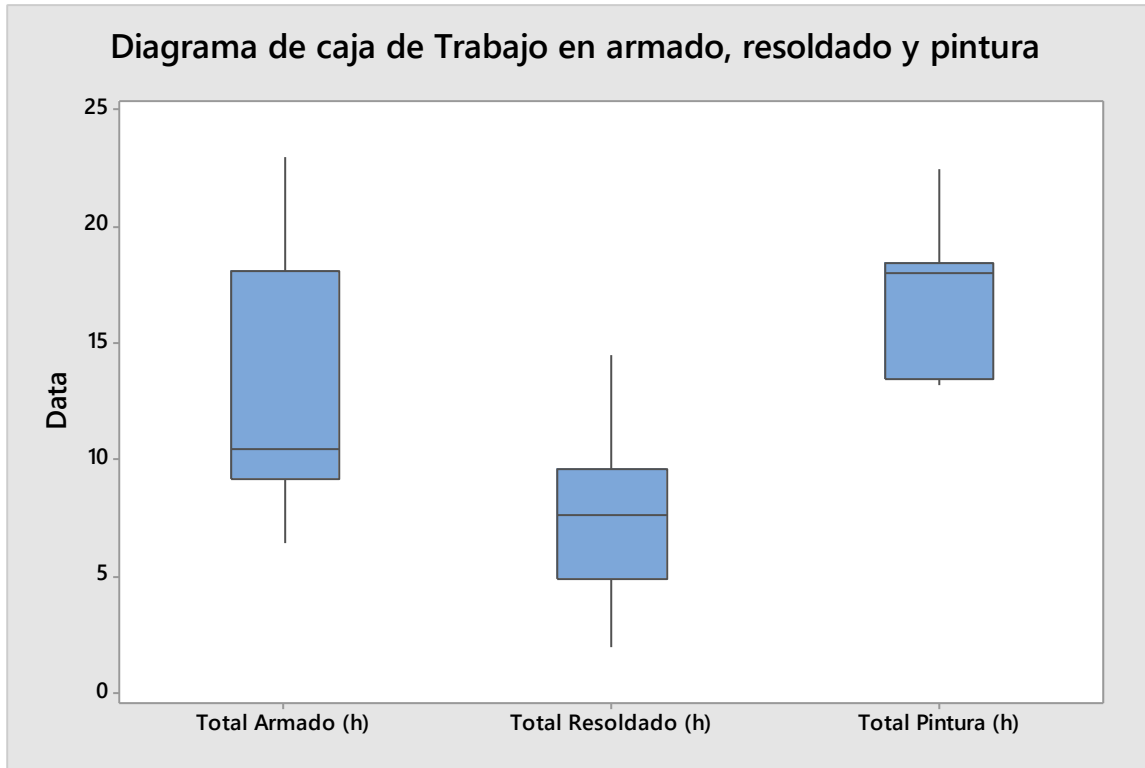


Figura 5. 44. Diagrama de caja para trabajo de armado, resoldado y pintura de cerchas del proyecto ANDE. Fuente: Minitab 19

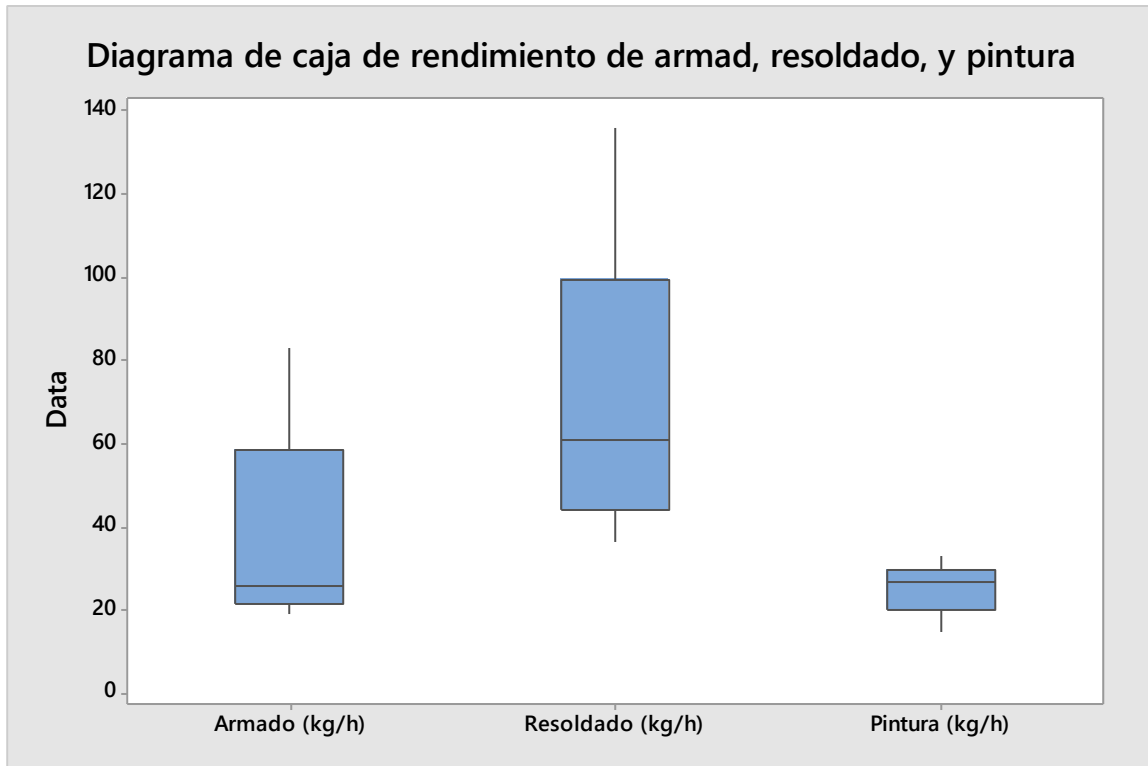


Figura 5. 45. Diagrama de caja para rendimiento de armado, resoldado y pintura de cerchas del proyecto ANDE. Fuente: Minitab 19

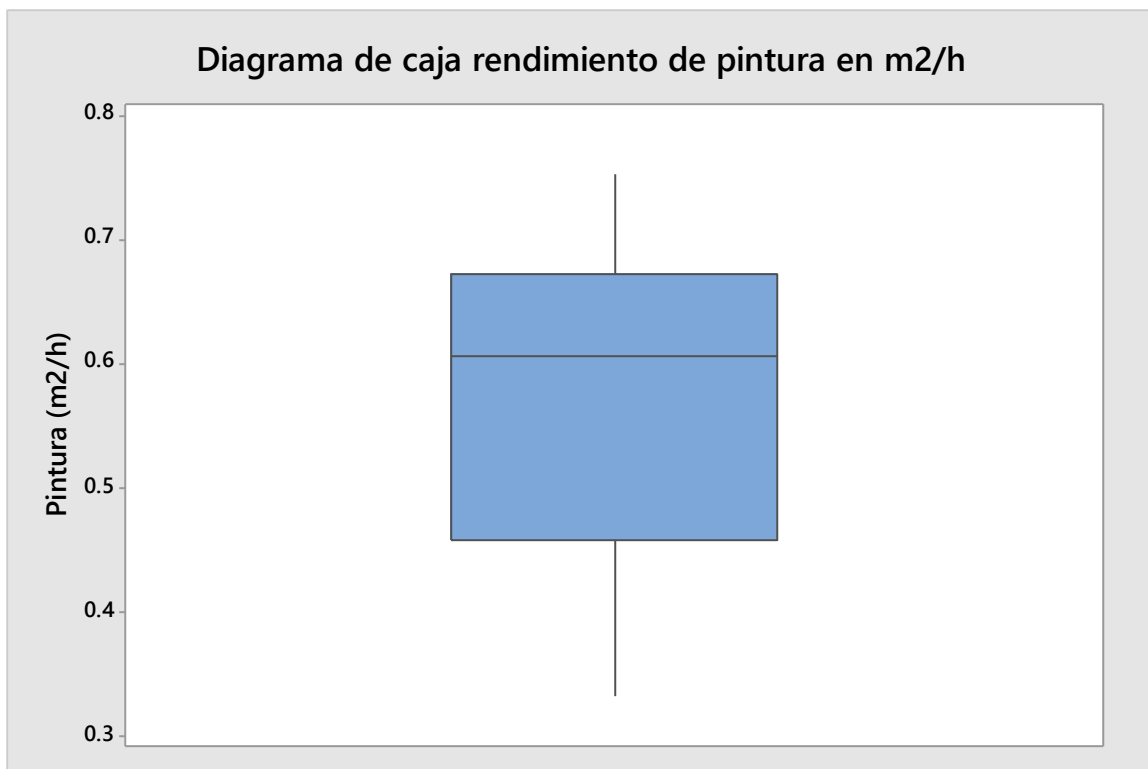


Figura 5. 46. Diagrama de caja para rendimiento de pintura en m²/h de cerchas del proyecto ANDE. Fuente: Minitab 19

Correlación de los procesos por pieza

En esta sección se muestran los coeficientes de correlación lineal para cada proceso que conlleva el ciclo completo de producción, para evaluar la relación entre kilogramos como variable

dependiente con las horas de trabajo como variable independiente mostrado en la tabla 5.33 .

Tabla 5. 32. Coeficientes de correlación lineal por proceso y tipo de elemento			
Elemento	Armado	Resoldado	Pintura
Vigas entrepiso	0.258	0.558	-0.196
Marcos entrepiso	0.414	-0.190	-0.326
Vigas de techo	0.109	-0.157	0.097
Columnas de techo	-0.255	-0.162	0.074
Cerchas techo central	-0.210	0.605	0.361
Columnas de gradería	-0.335	0.510	-0.110

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 5. 33. Compilación de datos obtenidos con anterioridad

Proyecto	Elemento	Proceso	Núm. datos	Media trabajo (h)	Desv. Estándar	Coef. Variación	Media rendimiento (kg/h)	Desv. Estándar	Coef. Variación	Media rendimiento (m2/h)	Desv. Estándar	Coef. Variación
Centro de Convenciones Caja ANDE	Vigas entrepiso	Armado	20	5.33	3.49	0.65	67.00	97.90	1.46	-	-	-
		Resoldado	14	3.29	3.14	0.96	72.30	41.30	0.57	-	-	-
		Pintura	42	3.33	3.26	0.98	149.40	161.00	1.08	3.37	3.17	0.94
	Marcos entrepiso	Armado	14	57.57	27.81	0.48	38.76	15.25	0.39	-	-	-
		Resoldado	10	10.54	8.01	0.76	382.00	423.00	1.11	-	-	-
		Pintura	14	16.58	6.91	0.42	208.00	242.90	1.17	3.33	3.89	1.17
	Vigas de techo	Armado	90	4.384	2.552	0.58	67.78	59.72	0.88	-	-	-
		Resoldado	31	3.049	2.811	0.92	254.3	306.9	1.21	-	-	-
		Pintura	82	1.21	1.35	1.12	299.80	261.90	0.87	10.81	9.16	0.85
	Columnas de techo	Armado	11	55.10	65.50	1.19	35.98	25.03	0.70	-	-	-
		Resoldado	5	10.53	4.97	0.47	93.20	46.20	0.50	-	-	-
		Pintura	8	6.08	5.17	0.85	254.10	173.00	0.68	2.65	1.80	0.68
	Cerchas techo central	Armado	10	13.46	5.97	0.44	38.82	22.95	0.59	-	-	-
		Resoldado	10	7.43	3.65	0.49	71.2	34.1	0.48	-	-	-
		Pintura	10	17.28	3.019	0.17	25.12	6.12	0.24	0.5672	0.1424	0.25
	Columnas de gradería	Armado	6	77.75	18.31	0.24	13.71	3.63	0.26	-	-	-
		Resoldado	9	28.46	15.02	0.53	56.90	46.60	0.82	-	-	-
		Pintura	7	9.32	5.62	0.60	174.90	141.20	0.81	2.76	2.23	0.81

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en Minitab 19

Modelo de simulación en FlexSim

Modelos de probabilidad

La información mostrada en la Tabla 5. 34 fueron obtenidos por medio de la herramienta Experformit incorporado en el programa FlexSim. En el apéndice 8 se encuentra la evaluación individual de los tres procesos para cada pieza confeccionada; además, se encuentra un gráfico

de comparación para cada proceso de los tres modelos con mejor ajuste.

El error de las medias es la comparación del error de la media de la muestra con la del modelo de probabilidad, [. La tabla . muestra....](#)

Elemento	Proceso	Distribución	Puntaje relativo	Evaluación absoluta	Error de las medias
Vigas entrepiso	Armado	Beta	97.92	Buena	0.07%
	Resoldado	Pearson Type V	79.17	Buena	7.33%
	Pintura	Beta	100	Indeterminada	3.13%
Marcos entrepiso	Armado	Log-Logistic(E)	96.77	Buena	0.46%
	Resoldado	Gamma	87.5	Buena	0%
	Pintura	Beta	98.15	Buena	0.84%
Vigas de techo	Armado	Log-Laplace	100	Indeterminada	3.22%
	Resoldado	Johnson SB	90.79	Buena	0.12%
	Pintura	Inverted	97.22	Indeterminada	0.02%
Columnas de techo	Armado	Johnson SB	95	Buena	2.34%
	Resoldado	Erlang(E)	81.45	Buena	0%
	Pintura	Erlang	83.65	Buena	0%
Cerchas techo central	Armado	Random Walk(E)	85	Buena	0%
	Resoldado	Weibull	95.19	Buena	0.12%
	Pintura	Johnson SB	78.23	Buena	0.18%
Columnas de gradería	Armado	Weibull	91.94	Buena	0.36%
	Resoldado	Weibull	92.86	Buena	0.01%
	Pintura	Beta	100	Buena	0.39%

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel a partir de datos de FlexSim 2019

Proceso de la pieza	¿Rechaza hipótesis nula?
Pintura de vigas de entrepiso	No
Armado de vigas de techo	Si
Pintura de vigas de techo	Si

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel a partir de datos de FlexSim 2019

Tiempo de grúa viajera y montacargas

Equipo	N° datos	Rubro	Carga (min)	Desplazamiento (min)	Descarga (min)
Grúa Viajera	21	Promedio	01:00	00:47	00:31
		S	00:48	00:40	00:15
		Coef. Var	0.80	0.86	0.50
Monta cargas	12	Promedio	00:19	01:07	00:25
		S	00:23	01:16	00:38
		Coef. Var	1.17	1.13	1.48

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Equipo	Proceso	Distribución	Puntaje relativo	Evaluación	Error de las medias
Grúa Viajera	Carga	Beta	97.62	Buena	0.11%
	Descarga	Gamma	83.33	Buena	0.00%
Monta cargas	Carga	Inversa Gaussiana (E)	94.57	Buena	0.00%
	Descarga	Log normal (E)	89.13	Buena	6.50%

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel a partir de datos de FlexSim 2019

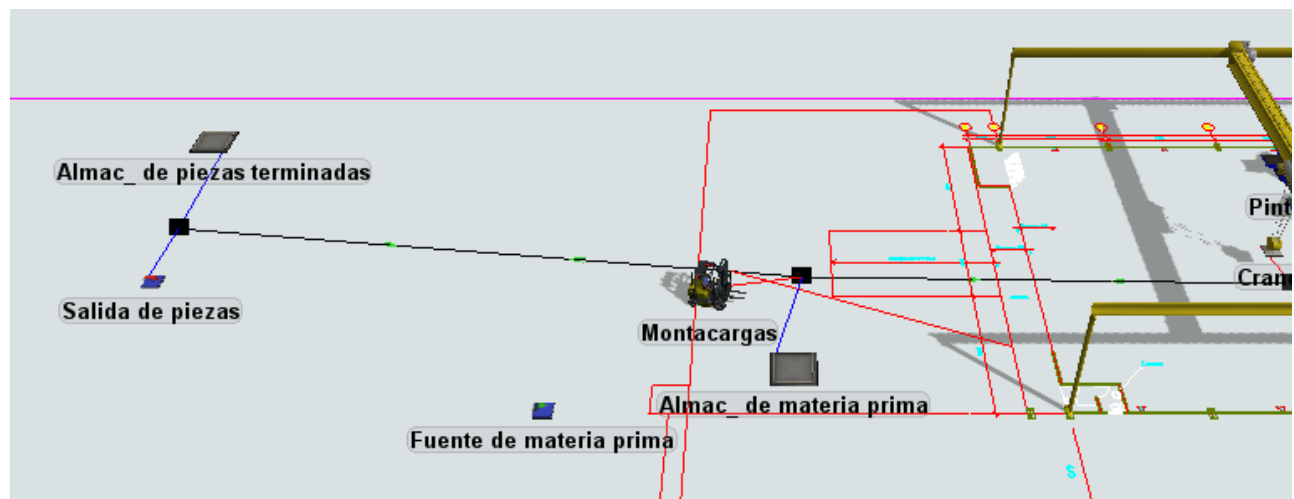


Figura 5. 47. Distribución de fuente de materiales y almacenamiento de materiales y piezas terminadas. Fuente: Elaboración propia en FlexSim 2019

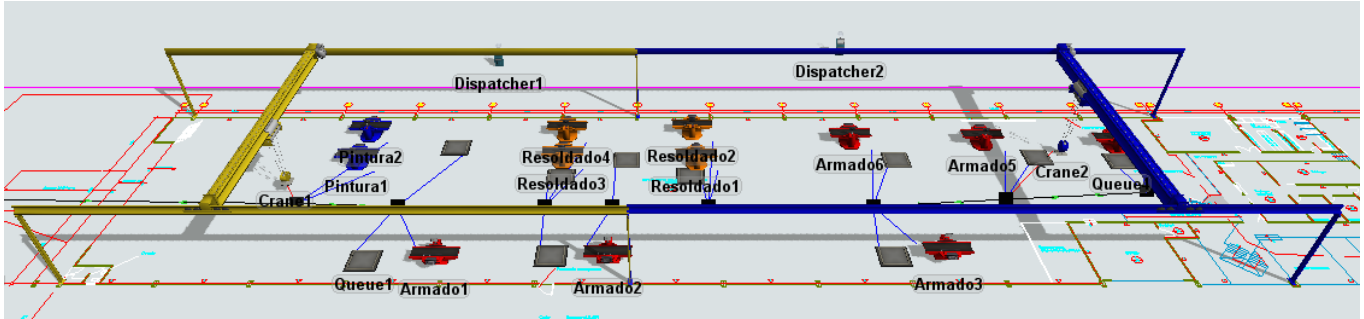


Figura 5. 48. Distribución del taller de producción. Fuente: Elaboración propia en FlexSim 2019.

Calibración del modelo

En esta sección se muestran los resultados de la calibración del modelo de simulación. Tomando en cuenta los tiempos de cada proceso y el tiempo de ciclo completo.

Inicialmente se toman los tiempos de proceso individual por tipo de pieza, mostrados en la Figura 5. 49, Figura 5. 50 y la Figura 5. 51, para luego compararlos con los resultados reales de las muestras en la Tabla 5. 38. **Comparación de medias de trabajo en horas de la muestra y el modelo**

Calibración del tiempo de cada proceso

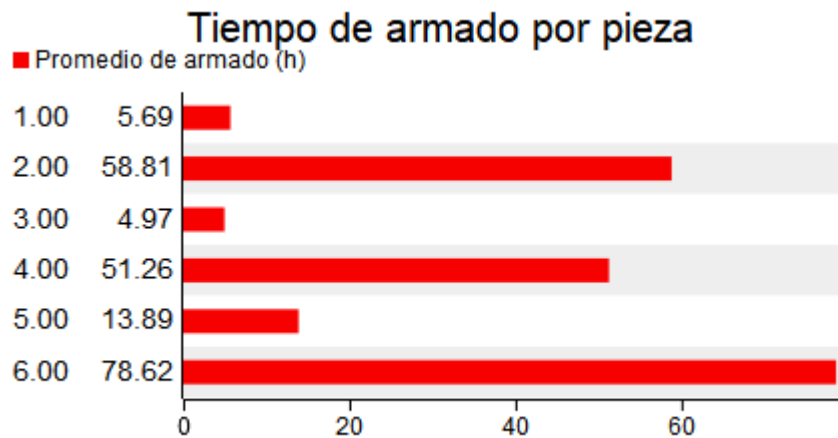


Figura 5. 49. Tiempo promedio de armado por pieza. Fuente: FlexSim 2019

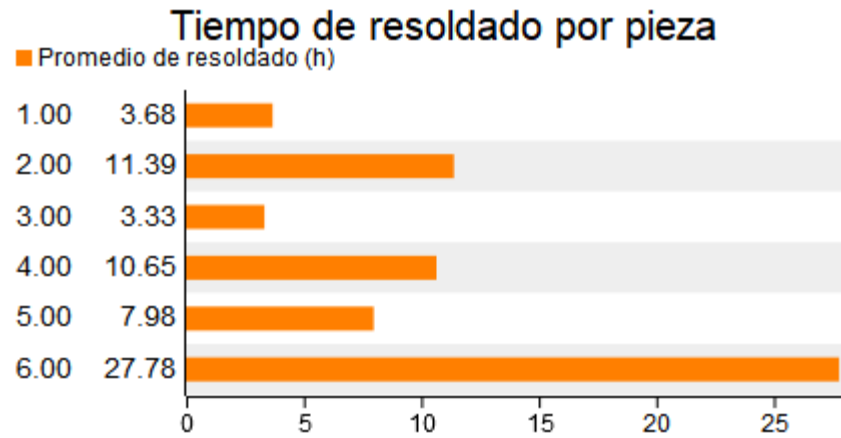


Figura 5. 50. Tiempo promedio de resoldado por pieza. Fuente: FlexSim 2019

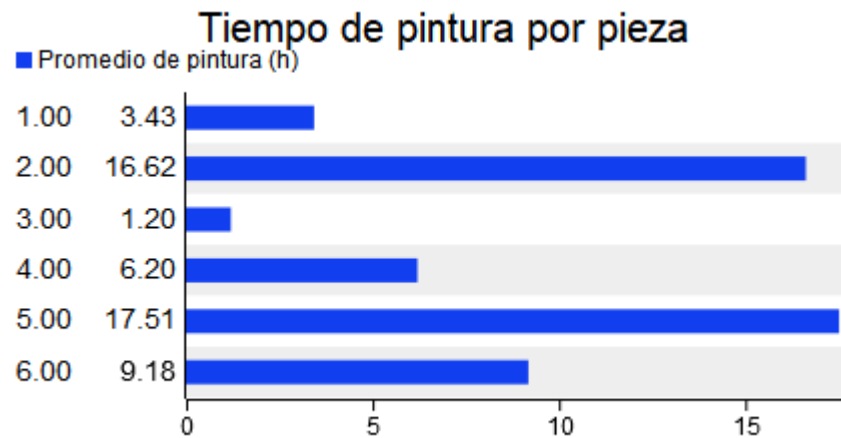


Figura 5. 51. Tiempo promedio de pintura por pieza. Fuente: FlexSim 2019

Tabla 5. 38. Comparación de medias de trabajo en horas de la muestra y el modelo

Elemento	Proceso	Media trabajo de la muestra (h)	Evaluación 1		Evaluación 2		Evaluación 3	
			Media trabajo del modelo (h)	Variación	Media trabajo del modelo (h)	Variación	Media trabajo del modelo (h)	Variación
Vigas entrepiso	Armado	5.33	5.69	6.4%	5.65	5.7%	5.79	8.0%
	Resoldado	3.29	3.68	10.7%	3.67	10.5%	3.59	8.5%
	Pintura	3.33	3.43	3.0%	3.45	3.6%	3.61	7.8%
Marcos entrepiso	Armado	57.57	58.81	2.1%	57.50	0.1%	56.25	2.3%
	Resoldado	10.54	11.39	7.5%	11.14	5.4%	10.76	2.0%
	Pintura	16.58	16.62	0.2%	16.67	0.5%	16.62	0.2%
Vigas de techo	Armado	4.38	4.97	11.8%	4.83	9.2%	4.84	9.4%
	Resoldado	3.05	3.33	8.4%	3.25	6.2%	3.22	5.3%
	Pintura	1.21	1.20	0.7%	1.20	0.7%	1.22	1.0%
Columnas de techo	Armado	55.10	51.26	7.5%	54.55	1.0%	52.08	5.8%
	Resoldado	10.53	10.65	1.1%	10.71	1.7%	11.10	5.1%
	Pintura	6.08	6.20	1.9%	6.14	1.0%	5.86	3.8%
Cerchas techo central	Armado	13.46	13.89	3.1%	13.73	2.0%	13.59	1.0%
	Resoldado	7.43	7.98	6.9%	7.64	2.7%	7.80	4.7%
	Pintura	17.28	17.51	1.3%	17.39	0.7%	17.43	0.9%
Columnas de gradería	Armado	77.75	78.62	1.1%	78.97	1.5%	78.32	0.7%
	Resoldado	28.46	27.78	2.4%	28.28	0.6%	29.93	4.9%
	Pintura	9.32	9.18	1.5%	9.38	0.6%	9.41	1.0%

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel a partir de datos de FlexSim 2019

Calibración del tiempo de ciclo completo

En la Tabla 5. 39. **Media del tiempo para el ciclo completo** se muestra la media con su respectiva desviación estándar del tiempo para

completar el ciclo de cada pieza, tomando en cuenta que el ciclo completo incluye el armado, resoldado y pintura, y las esperas entre procesos.

Tabla 5. 39. Media del tiempo para el ciclo completo

Pieza	Número de datos	Media (h)	Desv. Estándar (h)	Coef Variación
Vigas de entrepiso	24	42.11	26.42	0.63
Marcos de entrepiso	12	72.07	18.78	0.26
Vigas de techo	68	40.35	12.20	0.30
Columnas de techo	7	58.90	21.47	0.36
Cerchas de techo	10	31.82	22.62	0.71
Columnas de gradería	5	109.30	28.64	0.26

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 5. 40. Personal asignado por pieza en el modelo			
Pieza	Armado	Resoldado	Pintura
Vigas de entrepiso	1	1	1
Marcos de entrepiso	2	1	3
Vigas de techo	1	1	1
Columnas de techo	2	1	2
Cerchas de techo	2	1	2
Columnas de gradería	2	1	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 41. Evaluación de ciclo completo de producción del modelo de simulación							
Pieza		Vigas de entrepiso	Marcos de entrepiso	Vigas de techo	Columnas de techo	Cerchas de techo	Columnas de gradería
Número de datos		24	12	68	7	10	5
Media real (h)		42.11	72.07	40.35	58.90	31.82	109.30
Límite inferior (h)		15.70	53.29	28.14	37.44	9.21	80.66
Límite superior (h)		68.53	90.85	52.55	80.37	54.44	137.94
Evaluación 1	Media del modelo (h)	45.84	76.3	41.73	69.14	54.72	101.13
	Variación	8.85%	5.87%	3.42%	17.38%	71.94%	7.47%
	Estado con límites	OK	OK	OK	OK	X	OK
Evaluación 2	Media del modelo (h)	50.47	80.86	46.26	74.84	59.1	105.68
	Variación	19.84%	12.20%	14.65%	27.05%	85.71%	3.31%
	Estado con límites	OK	OK	OK	OK	X	OK
Evaluación 3	Media del modelo (h)	41.07	71.68	36.54	64.82	49.57	96.33
	Variación	2.48%	0.54%	9.44%	10.04%	55.76%	11.87%
	Estado con límites	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Evaluación 4	Media del modelo (h)	44.96	75.2	40.81	68.7	53.56	100
	Variación	6.76%	4.34%	1.14%	16.63%	68.30%	8.51%
	Estado con límites	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Evaluación 5	Media del modelo (h)	42.85	73.22	38.77	66.76	51.36	98.01
	Variación	1.75%	1.60%	3.91%	13.34%	61.39%	10.33%
	Estado con límites	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Evaluación 6	Media del modelo (h)	46.32	76.78	42.17	69.88	54.98	100.88
	Variación	9.99%	6.54%	4.51%	18.63%	72.76%	7.70%
	Estado con límites	OK	OK	OK	OK	X	OK
Evaluación 7	Media del modelo (h)	49.86	80.22	45.44	73.37	58.58	104.08
	Variación	18.39%	11.31%	12.62%	24.56%	84.07%	4.78%
	Estado con límites	OK	OK	OK	OK	X	OK
Evaluación 8	Media del modelo (h)	43.58	74.34	39.42	66.81	52.07	98.75
	Variación	3.48%	3.15%	2.30%	13.42%	63.62%	9.65%
	Estado con límites	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Evaluación 9	Media del modelo (h)	57.2	87.81	53.12	80.68	65.86	112.48
	Variación	35.82%	21.84%	31.65%	36.97%	106.95%	2.91%
	Estado con límites	OK	OK	X	X	X	OK
Evaluación 10	Media del modelo (h)	44.72	75.22	40.43	68.53	53.42	99.16
	Variación	6.19%	4.37%	0.20%	16.34%	67.86%	9.28%
	Estado con límites	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Evaluación final	Media del modelo (h)	46.687	77.163	42.469	70.353	55.322	101.65
	Variación	10.86%	7.07%	5.26%	19.44%	73.84%	7.00%
	Estado con límites	OK	OK	OK	OK	X	OK

Fuente: Elaboración propia con datos de FlexSim 2019

Tabla 5. 42. Evaluación del tiempo para el ciclo completo de columnas de techo	
Pieza	Promedio ponderado
Columnas de techo	59.72
Diferencia 1 (%)	8.37%
Diferencia 2 (%)	1.04%
Diferencia 3 (%)	17.00%

Diferencia 4 (%)	10.31%
Diferencia 5 (%)	14.00%
Diferencia 6 (%)	7.94%
Diferencia 7 (%)	1.91%
Diferencia 8 (%)	12.81%
Diferencia 9 (%)	10.28%
Diferencia 10 (%)	10.55%

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Resultados del modelo calibrado

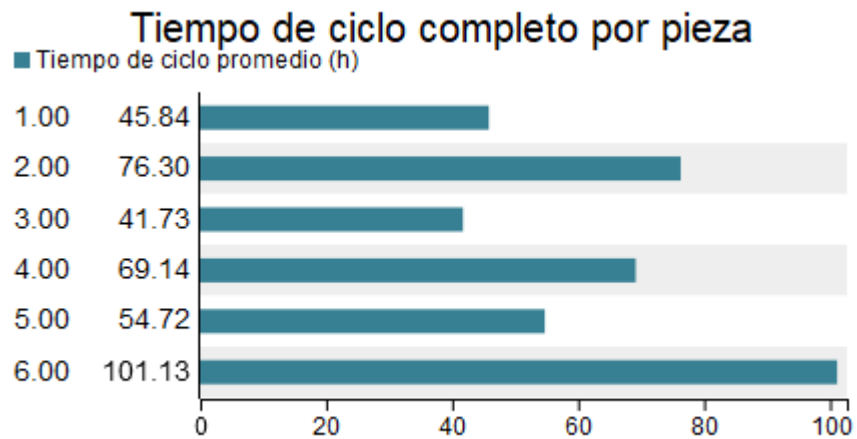


Figura 5. 52. Tiempo de ciclo total por pieza. Fuente: FlexSim 2019

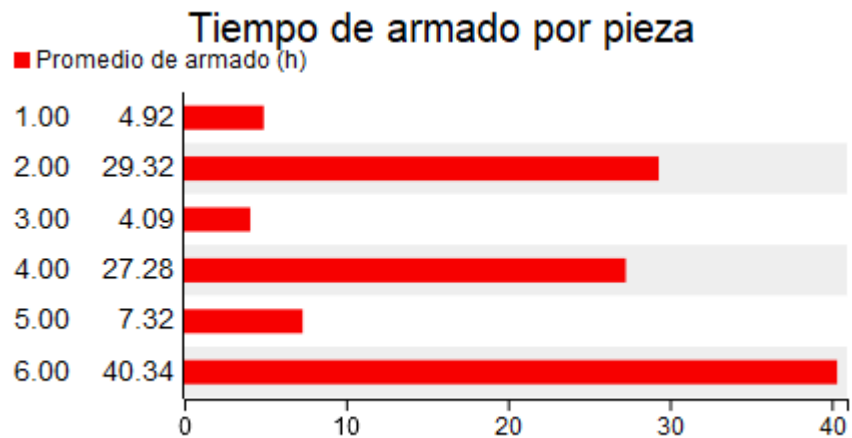


Figura 5. 53. Tiempo de ciclo en armado por pieza según el modelo de simulación. Fuente FlexSim 2019.

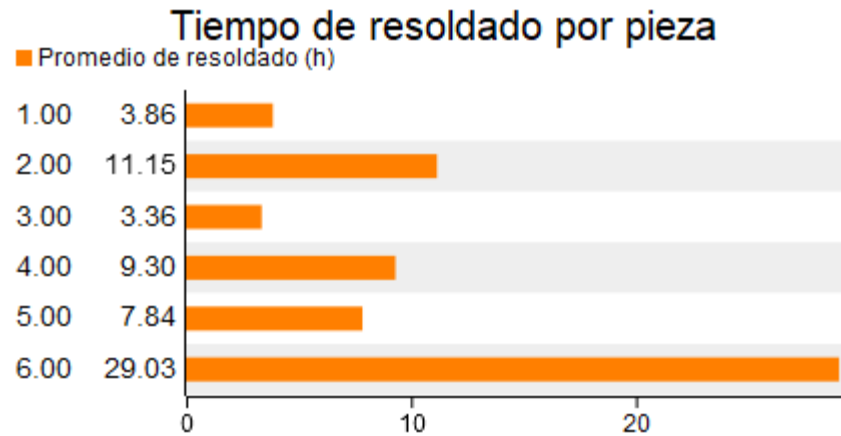


Figura 5. 54. Tiempo de ciclo de resoldado por pieza según el modelo de simulación. Fuente: FlexSim 2019.

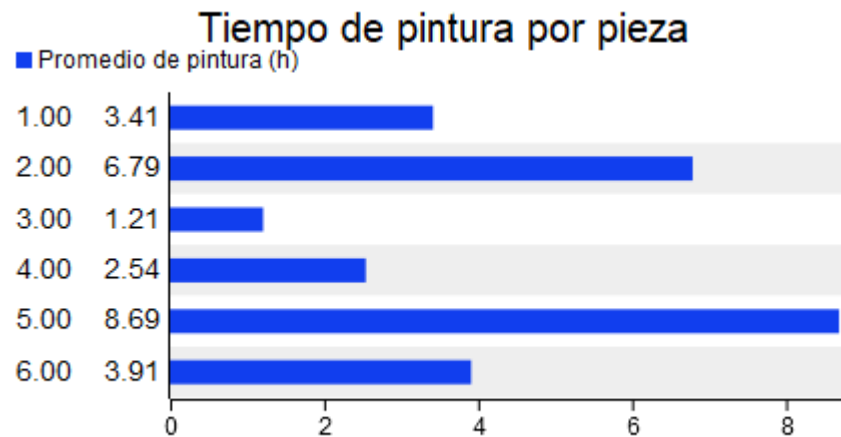


Figura 5. 55. Tiempo de ciclo de pintura por pieza según el modelo de simulación. Fuente: FlexSim 2019.

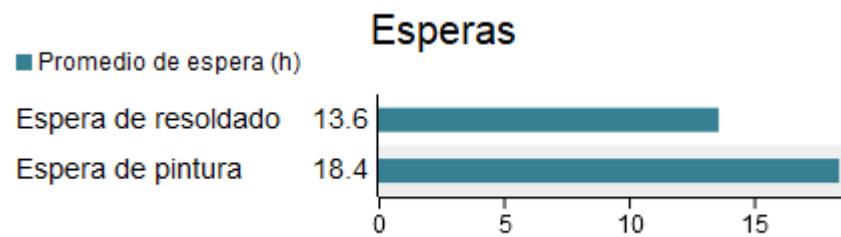


Figura 5. 56. Tiempo de espera promedio en resoldado y pintura según el modelo de simulación. Fuente: FlexSim 2019.

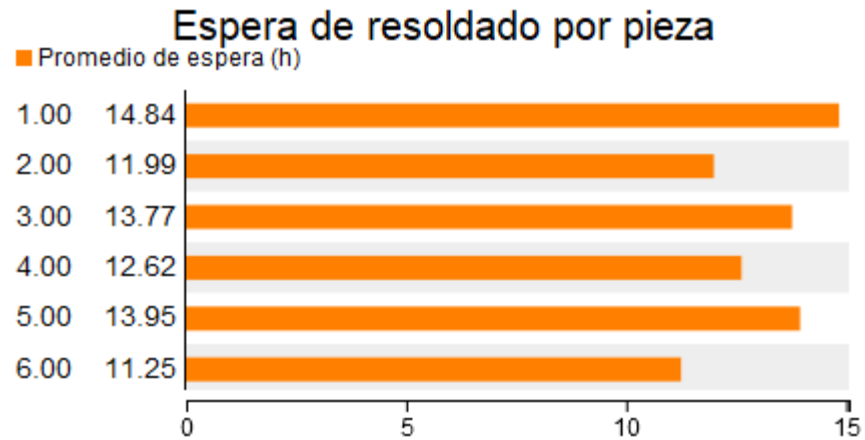


Figura 5. 57. Tiempo de espera de resoldado por pieza según el modelo de simulación. Fuente: FlexSim 2019.



Figura 5. 58. Tiempo de espera de pintura por pieza según el modelo de simulación. Fuente: FlexSim 2019.



Figura 5. 59. Utilización del tiempo del proceso de armado según el modelo de simulación. Fuente: FlexSim 2019.

Estado del proceso de resoldado

■ No trabajando
 ■ Trabajando
 ■ Esperando transporte

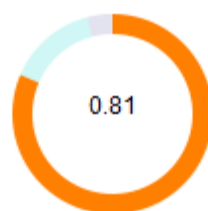


Figura 5. 60. Utilización del tiempo del proceso de resoldado según el modelo de simulación. Fuente: FlexSim 2019.

Estado del proceso de pintura

■ No trabajando
 ■ Trabajando
 ■ Esperando transporte

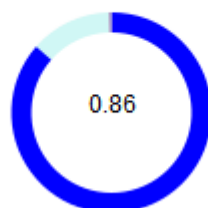


Figura 5. 61. Utilización del tiempo del proceso de resoldado según el modelo de simulación. Fuente: FlexSim 2019.

Tabla 5. 43. Porcentaje de tiempo en cada estado de las grúas viajeras		
Estado	Grúa 1	Grúa 2
Viaje vacío	0.41%	0.56%
Viaje con carga	0.46%	0.31%
Viaje vacío fuera de la red	0.61%	0.57%
Viaje cargado fuera de la red	0.66%	0.49%
Cargando	2.50%	2.20%
Descargando	1.28%	1.13%
Tiempo libre	91.89%	88.71%
Bloqueado	2.19%	6.03%

Fuente: FlexSim 2019

Tabla 5. 44. Porcentaje de tiempo en cada estado del montacargas	
Estado	Montacargas
Viaje vacío	0.99%
Viaje con carga	1.23%
Compensar viaje vacío	0.13%
Compensar viaje cargado	0.23%
Cargando	0.91%
Descarga	1.15%
Tiempo libre	95.36%

Fuente: FlexSim 2019

Tabla 5. 45. Producción del taller		
Elemento	Rendimiento (piezas/h)	Producción (kg/h)
Vigas entrepiso	0.09	23.09
Marcos entrepiso	0.06	108.26
Vigas de techo	0.28	69.27
Columnas de techo	0.06	44.82
Cerchas techo central	0.06	24.78
Columnas de gradería	0.02	18.80
TOTAL		289.02

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Según el ingeniero de producción del taller Belén, para la nave 1 modelada la cantidad de kilogramos procesados por hora es de 270 kg/h. Al

comparar este valor con el obtenido en la Tabla 5. 45 es de un 7,04%.

Estado con nuevas estaciones de pintura y resoldado

A continuación se muestra los resultados del taller de producción, ampliando un puesto de trabajo en

resoldado y otro en pintura, con el fin de disminuir los tiempos de espera, para cada proceso.

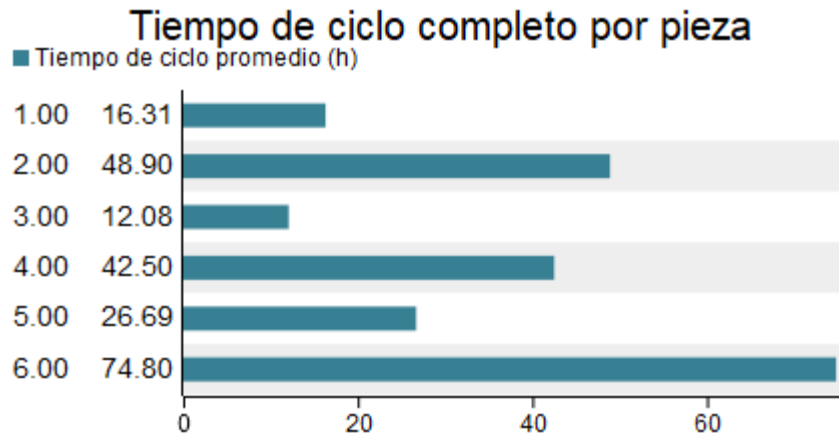


Figura 5. 62. Tiempo completo de ciclo para mejora de estación de resoldado y pintura. Fuente: FlexSim 2019.

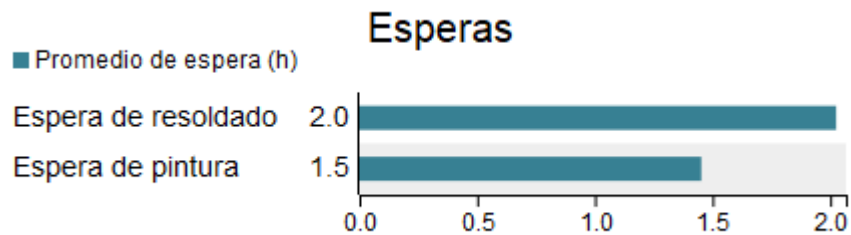


Figura 5. 63. Espera para la mejora de estación de resoldado y pintura. Fuente: FlexSim 2019.



Figura 5. 64. Estado de armado en la mejora de estación de resoldado y pintura. Fuente: FlexSim 2019

Estado del proceso de resoldado

■ No trabajando
 ■ Trabajando
 ■ Esperando transporte

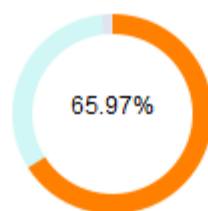


Figura 5. 65. Estado de resoldado en la mejora de estación de resoldado y pintura. Fuente: FlexSim 2019

Estado del proceso de pintura

■ No trabajando
 ■ Trabajando
 ■ Esperando transporte

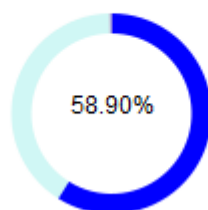


Figura 5. 66. Estado de pintura en la mejora de estación de resoldado y pintura. Fuente: FlexSim 2019

Tabla 5. 46. Producción del taller proyectada	
Elemento	Producción (kg/h)
Vigas entrepiso	22.35
Marcos entrepiso	116.41
Vigas de techo	69.52
Columnas de techo	48.19
Cerchas techo central	25.63
Columnas de gradería	20.21
TOTAL	302.31

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Estado con menor variación de la muestra

Tabla 5. 47. Tiempo de ciclo completo en horas a diferentes coeficientes de variación				
Coefficiente de variación:	0.3	0.2	0.1	0.05
Vigas entrepiso (h):	57.75	44.22	42.15	50.53
Marcos entrepiso (h):	87.72	74.4	72.01	80.3
Vigas de techo (h):	54.79	41.25	38.86	47.34
Columnas de techo (h):	82.72	68.78	65.75	73.48
Cerchas techo central (h):	65.12	51.65	49.43	57.77
Columnas de gradería (h):	79.91	66.49	63.96	72.26

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel a partir de datos de FlexSim 2019

Tabla 5. 48. Espera en horas para proceso promedio total				
Coefficiente de variación:	0.3	0.2	0.1	0.05
Espera para resoldado (h):	17.54	11.9	9.75	10.28
Espera para pintura (h):	27.4	19.47	19.28	27.1

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel a partir de datos de FlexSim 2019

Tabla 5. 49. Producción del taller en kg/h a diferentes coeficientes de variación				
Coefficiente de variación:	0.3	0.2	0.1	0.05
Vigas entrepiso (kg/h):	27.31	27.31	27.31	27.31
Marcos entrepiso (kg/h):	116.41	116.41	116.41	116.41
Vigas de techo (kg/h):	79.45	79.45	79.45	79.45
Columnas de techo (kg/h):	48.19	48.19	48.19	48.19
Cerchas techo central (kg/h):	25.63	25.63	25.63	25.63
Columnas de gradería (kg/h):	20.21	20.21	20.21	20.21
TOTAL (kg/h):	317.51	317.41	317.31	317.26

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel a partir de datos de FlexSim 2019

Mejora de la producción

En esta sección se presentan mejoras propuestas para mejorar los procesos constructivos.

Reprocesos

Con el fin de disminuir los reprocesos, se recomienda el seguimiento estricto y obligatorio del formulario 8F100 del anexo 5. Sin embargo, los encargados de revisar los elementos en cada proceso, no deben limitarse a una revisión final de las piezas, sino más bien, a un seguimiento del avance del elemento, a fin de identificar errores en subprocesos.

Recorridos

Con el fin de eliminar o disminuir los recorridos se propone las siguientes medidas:

- **A consulta de planos en zona de trabajo:** Adquirir tabletas digitales con el visor de Advanced Steel para observar la estructura, así como los planos digitales, para evitar desplazamientos a zonas de trabajo de compañeros aledaños por una posible falta de planos.
- **A oficina de coordinación de producción:** implementar un sistema de llamada del jefe de taller para aclaraciones de planos de taller o de verificación final de la pieza, el cual puede consistir en dos tipos de llamada, uno correspondiente para las aclaraciones y otro para la verificación final, con el fin de que los colaboradores puedan seguir realizando otras actividades mientras se presenta la espera.
- **A bodega:** inculcar en los colaboradores la revisión de los consumibles (soldadura, discos de esmeril, cinta adhesiva) que hagan falta en cada puesto de trabajo al concluir la jornada, para entregar una boleta debidamente completada a

bodega. De manera que bodega prepare lo solicitado a primera hora del día siguiente y que los encargados de bodega lleven los consumibles solicitados a cada puesto de trabajo, con ayuda de un carro auxiliar como se muestra en la Figura 5. 67. Estos pueden ser adquiridos a un proveedor específico o por elaboración propia del taller. El encargado de hacer el recorrido de repartición, deberá hacer otro recorrido a media jornada para verificar un correcto suministro de consumibles en todos los puestos de trabajo.



Figura 5. 67. Carro auxiliar Fuente: Equinox de Costa Rica

- **A servicios sanitarios:** instalar servicios sanitarios exteriores a las naves, los cuales pueden ser permanentes o en dado caso mientras se realiza la inversión, se puede optar por la instalación de cabinas sanitarias.
- **Traslados en búsqueda de herramienta o equipo:** adquirir cinturones porta herramienta que permitan tener herramientas básicas y de bajo peso a la mano, tales como la tiza de trazado, nivel, escuadra, cincel, llaves de calibración de equipo, maso. El cinturón deberá ser equipado hasta un punto en que no genere incomodidad y cansancio a los trabajadores. Por otra parte, se pueden confeccionar ganchos móviles para

colocar equipo de protección personal cerca de donde se realiza la actividad. Por ejemplo, al realizar labores con el esmeril se debe cambiar el casco de seguridad por una careta protectora, para evitar que virutas desprendidas puedan ocasionar un accidente en los ojos, por lo que mantener este equipo a corta distancia evitaría recorridos innecesarios.



Figura 5. 68. Cinturón porta herramienta. Fuente: mercadolibre.com

Mejoras en procesos

En esta sección se presentan mejoras para cada proceso productivo del taller.

Armado

- De acuerdo con el diagrama de flujo, el proceso se realiza de manera que se concluyan las etapas en su totalidad hasta llegar al producto final, sin embargo, en la práctica se observó que en el caso de armadores se alternaba el procedimiento, y no cumplía con lo expresado en el diagrama. Por ejemplo, se debe realizar todos los trazados y cortes de material, antes de iniciar con el biselado de las piezas.
- Marcar cada pieza que forma parte de un elemento con el fin de que posteriormente sea armada según los planos (ver Figura 5. 43 de cercha de techo central), clasificando las piezas en función del momento en que se van a utilizar.

- Inculcar la limpieza y el orden en los trabajadores, mediante visitas diarias a sus puestos de trabajo.
- Organizar los cables de suministro eléctrico de equipos ordenados adecuadamente para evitar daños en el cable cuando se encuentre en el tránsito de equipo como el montacargas, o que puedan generar accidentes.
- Para el caso de corte de material con alto espesor de acero se recomienda utilizar oxicorte, sin embargo, dado el acabado del corte al terminar, se deben realizar capacitaciones para un correcto uso.
- Por otra parte, se pueden adquirir equipos de plasma manuales como reemplazo del oxicorte, los cuales según la empresa Hypertherm, cualquier equipo de plasma ofrecido tiene una velocidad de corte mayor que el oxicorte y un menor costo de operación. Por otra parte, no utiliza gases altamente inflamables e inestables como el acetileno; solamente utiliza aire comprimido.



Figura 5. 69. Equipo de corte con plasma. Fuente: Hypertherm

- Para el ensamblado de elementos que forman parte de una pieza, se propone utilizar escuadras magnéticas, con el fin de evitar el uso de sargentos con adaptadores. En la Figura 5. 70 se muestra el uso de una escuadra magnética. Según Capris Costa Rica, las escuadras magnéticas tienen una capacidad desde los 10 kg hasta los 75 kg de fuerza de tiro.
- Confeccionar moldes de estructuras para disminuir el trazado con tiza a nivel de piso para elementos repetitivos, que los

mismos sean adaptables en caso de variaciones en las longitudes.



Figura 5. 70. Uso de escuadras magnéticas. Fuente: manoalaobra.com

Resoldado

- Colocar la pieza a resoldar de manera que se requiera el mínimo uso de la grúa viajera. Por ejemplo, colocar una cercha de forma vertical y arriostrarla lateralmente para evitar cualquier incidente, en vez de acostarla sobre soportes en los extremos, donde posteriormente será necesaria la grúa para girarla, hacer uso de una escalera en caso de ser necesario.
- No trabajar por debajo de la pieza al elevarla con soportes en los extremos, para evitar movimientos innecesarios y afectar la ergonomía del puesto del trabajo.

Pintura

- Realizar un elemento para pruebas de espesor cerca del equipo de aire comprimido, con el fin de medir el espesor aplicado de la pintura y poder calibrar correctamente la aplicación de pintura antes del traslado a la zona donde se encuentran los elementos a pintar.

Esperas por grúa

Para disminuir esperas por grúa la empresa propuso la adquisición de plumas hidráulicas como

la mostrada en la Figura 5. 71, esto a partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo. El equipo, según el instructivo de uso, posee una capacidad para dos toneladas de izaje. Esta pluma permitiría rotar los elementos, así como su transporte. Se debe capacitar a los colaboradores para su uso con base en el instructivo de uso, para evitar el daño del equipo y las posibles repercusiones sobre la integridad humana de los colaboradores.



Figura 5. 71. Pluma hidráulica Truper capacidad de dos toneladas. Fuente: Truper

Planificación

A la hora de planificar el trabajo en el taller de producción, se puede clasificar el trabajo por tipo de elemento a elaborar, así como el total de kilogramos por tipo de pieza, y utilizar rendimientos de cada tipo de elemento a preparar con el fin de tener una programación más detallada.

6. Análisis de resultados

Estado *Lean*

Conocimiento *Lean* de los colaboradores

A las capacitaciones en este tema no se les dio un seguimiento continuo, por lo que la aplicación de la filosofía *Lean* en el personal no es evidente en la empresa, así como tampoco lo es en la planta de producción Belén.

La falta de seguimiento de las capacitaciones, sumado al ingreso y egreso de personal, es un obstáculo para la integración de la filosofía *Lean* para los trabajadores que permita a criterio propio, identificar los desperdicios y apliquen mejoras a sus actividades bajo una filosofía de mejora continua.

El conocimiento de los principios de esta filosofía y los tipos de desperdicios por parte de los trabajadores es fundamental para que éstos puedan aplicarla.

Planificación para el taller

El LPS es una herramienta que permite una planificación de las tareas de forma interdepartamental con una mejor comunicación a partir del uso de tecnologías de información. En las reuniones PMO se revisa las actividades completadas y las incompletas, así como también se proyectan las actividades futuras. Sin embargo, al no establecer claramente los compromisos de cada departamento, se da un uso ineficiente de la reunión PMO y, por lo tanto, de la herramienta del último planificador.

La programación del taller por medio de la plantilla del anexo 4, proyecta la cantidad de armadores, por lo que no desglosa el trabajo estimado para los procesos de resoldado y pintura; sin embargo, genera que el proceso se desglose

se ve nublado debido a que las piezas se mantienen en producción continua y no de forma que se realice el armado de toda la actividad, posteriormente el resoldado y por último la pintura.

Proceso de construcción

La etapa de inicio mostrada en el Cuadro 5.1 es una etapa de suma importancia para la planificación de las obras. En esta etapa se identifican alcances de la actividad y limitaciones producto de las variables que presentan cada proyecto, tales como dimensiones de las piezas para planificar la distribución de área del taller por tarea, identificar especificaciones inusuales en el taller con el fin de investigar sobre la especificación y la cantidad de personal necesaria para conllevar el proyecto.

En la etapa de armado se presentan la mayor cantidad de subprocesos a realizar para la confección de estructuras metálicas, con 13 subprocesos, para los cuales se le aplica un solo control de verificación final y no a cada etapa del proceso.

Según el Cuadro 5.2, el resoldado presenta siete subprocesos para completar una aplicación correcta de la soldadura en donde el control lo realizan una vez terminada la pieza, el control se debe aplicar solamente en el resoldado debido a que es la actividad en donde se producen más disconformidades.

El resoldado representa un punto crítico en el control de calidad y es en el que se realiza el control cuando las piezas se encuentran finalizadas a espera de transporte.

El proceso de pintura está compuesto por ocho subprocesos mostrados en el Cuadro 5.2, en el que el control de calidad se aplica para el acabado de limpieza y la aplicación de pintura; sin

embargo, no se llevan registros de la cantidad de personas.

De acuerdo con el marco teórico, uno de los principios de construcción *Lean*, es la aplicación de control sobre el proceso completo el cual se aplica de forma parcial como se muestra en el Cuadro 5. 4. Además, el control de calidad aumenta la transparencia del proceso para detectar errores eficientemente, con el fin de mejorar el proceso de producción; esto en concordancia con otros de los principios de la filosofía *Lean*.

Según Devera y Ortiz (2019), “el personal calificado, materiales y supervisión técnica tienen un papel de tan alta importancia que, si no se manejan, ejecutan y controlan simultáneamente, traen consigo repercusiones que se presentan a mediano y/o largo plazo posterior a la entrega de las obras”. (p. 19).

Acorde con lo expresado con anterioridad, el control de calidad utilizado genera que se identifiquen disconformidades en etapas en donde la corrección tiene un mayor impacto económico, generando un reproceso considerable.

Representaciones del proceso

Representatividad del diagrama de flujo

La secuencia de actividades de cada proceso se representa en la Figura 5. 3 y la Figura 5. 4; sin embargo, al aplicarse en la práctica el diagrama de flujo no se cumple como tal, debido a que los colaboradores alternan entre cada subproceso, principalmente en la sección de armado, por ejemplo, no ejecutan todos los cortes, antes de iniciar con el armado de los elementos.

Para el caso de soldadores, estos alternan entre el resoldado y la limpieza de la zona a soldar debido a que la aplicación de soldadura emite residuos que se adhieren a la pieza y pueden impedir una aplicación de soldadura satisfactoria, además de que la revisión de especificaciones en planos es omitida en muchas ocasiones por los soldadores.

En pintura, no todas las piezas pasan por los tres subprocesos de limpieza (SP1, SP2 y SP3) de acuerdo con el nivel de oxidación o corrosión del acero de la pieza a tratar., por lo que en el diagrama de flujo se omiten algunas etapas.

Recorridos de materia prima y piezas procesadas

En el diagrama de recorrido de la Figura 5. 6 a Figura 5. 15 se muestran tanto desperdicios como actividades que generan valor al proceso. Las operaciones 1, 2 y 3 corresponden a las actividades que generan valor en el proceso; sin embargo, dentro de estas operaciones se presentan desperdicios que se analizarán más adelante. Estas operaciones se generan solamente dentro del puesto de trabajo de cada colaborador y conlleva lo expuesto en los Cuadro 5.1. **Desglose de tareas revisión inicial y armado de estructuras metálicas** Cuadro 5.2, correspondiente al armado, resoldado y pintura. Por otra parte, se generan puntos de almacenamiento de piezas como se especifica en el diagrama de recorrido. El almacenamiento 1, 2 y 3 corresponden a materia prima a procesar y se utiliza el montacargas, principalmente para realizar los traslados 1 y 2.

El recorrido 2, aumenta de 113 metros máximos en la nave 1 a 244 metros mínimos de la nave 2 y 3 según la Tabla 5.1, esto producto de que la materia prima se almacena en el patio frontal a ser despachada por el proveedor de acero, y por lo tanto debe ser llevada a los armadores.

En las etapas finales del proceso completo, el montacargas hace nueva participación con el fin de retirar las piezas terminadas del área de pintura en el recorrido 8 al almacenamiento 7 para el transporte al sitio de proyecto. El recorrido 8 tiene una distancia de 68 metros para la nave 1 y de 300 metros para las naves 2 y 3.

Por otra parte, se genera el almacenamiento 4 en la zona de resoldado, en el que el recorrido 4 es realizado por los armadores.

El almacenamiento 5 es producido debido a que los soldadores trasladan con el recorrido 6 las piezas en espera de pintura.

Por último, las piezas listas en pintura deben ser trasladadas con el recorrido 8 a espera de transporte.

Recorrido de mano de obra

La mano de obra realiza dos tipos de recorridos, uno de ellos para revisar especificaciones de los planos de taller, almacenar residuos producto de la confección de estructuras metálicas y en búsqueda de herramienta necesaria para el trabajo, y el otro tipo de recorrido corresponde a un recorrido para ir a los servicios sanitarios, bodega y oficina de coordinación de producción.

Los 43 recorridos en dos horas de la Tabla 5.4 se consideran innecesarios sumado a que, según se mencionó en la Tabla 5. 5, el tiempo invertido para la nave es de 87,4 horas que traducidas a valores monetarios se obtiene 253 460 colones semanales, este dato se obtuvo sin tomar en cuenta las demoras 4, 5 y 6.

Otro recorrido que se debe considerar es ir en busca de la grúa, para movilizar o rotar objetos, este recorrido no se diagramó debido a que la grúa, al ser viajera se encuentra en muchos puntos de la nave.

Diagrama de Ishikawa

En el Cuadro 5. 8 se muestra la frecuencia con que un problema afecta al proceso de construcción de estructura metálica.

En el ámbito de materiales la causa más común es el material defectuoso, así como los inconvenientes con accesorios. Estas causas no solo afectan una baja productividad y reprocesos, sino que esta pérdida se ve reflejada en inconvenientes en la programación debido a que se deben asignar horas de trabajo que no se tenían planificadas para reparar el material, o en el caso de accesorios se debe suspender la actividad, lo que genera un inventario innecesario de materiales en el proceso, así como esperas tanto del colaborador como de la pieza confeccionada.

Para la causa en el ámbito del proceso se encuentran los inconvenientes con la programación los cuales afectan la productividad, ya que actividades que se tenían planificadas se deben posponer. En este ámbito entran las

órdenes de cambio, que son solicitadas por el cliente. Por otra parte, las omisiones de revisiones pueden conllevar a generar reprocesos, y por lo tanto afectar la planificación de las actividades, otra alternativa es que el encargado de revisar las piezas tarde más de lo deseado en revisarlas, lo que provocaría esperas en la mano de obra.

Los errores en planos de taller de la empresa, así como los realizados por subcontrato generan una baja productividad debido a que los trabajadores deben consultar con la oficina de coordinación una aclaración de las especificaciones y, si el inconveniente continúa, se debe realizar la consulta al departamento de asistencia técnica, por lo que la espera sería mayor. Si la aclaración modifica considerablemente la pieza en confección se genera un reproceso.

La mano de obra es el principal activo de trabajo de la empresa, sin embargo, esta puede generar una baja productividad debido a una falta de capacitación, o se le asignan tareas en la que el trabajador no se desempeña de la mejor manera. Además, genera reprocesos al realizar incorrectamente los procesos constructivos, en armado, resoldado y pintura.

En el ámbito del equipo el mal estado y falta de mantenimiento de las grúas y montacargas genera una baja productividad debido a que aumentan las esperas por el equipo para trasladar las piezas o rotarlas para continuar con la confección de la pieza. Por otra parte, cuando el equipo o herramienta no se encuentra disponible se generan esperas o el rendimiento baja, es decir la efectividad del trabajo disminuye.

Productividad de los procesos

En los Cuadro 5.9, Cuadro 5. 10 y Cuadro 5. 11 se clasificó las actividades para armado, resoldado y pintura en actividades productivas y contributivas, las actividades productivas son las que representan el verdadero avance sobre la pieza, cabe destacar que en el resoldado sólo se encuentra una actividad productiva, la cuál es la aplicación de resoldado y para pintura las labores de limpieza aplicación de pintura se consideraron como productivas. Las actividades improductivas

del Cuadro 5. 12 son las actividades que se le atañen a los tres procesos; estas actividades son considerados desperdicios y se debe disminuir su participación en los procesos o en el mejor de los casos su eliminación.

Armado

Para una pareja de armadores elaborando una cercha se cuenta con una productividad conjunta del 31,90%, las cuales son actividades que generan valor a la pieza; por otra parte, el 37,6% son actividades necesarias pero que no genera valor y por último un 30,50% de desperdicio en el proceso. Sin embargo, al estudiar la productividad por colaborador, en la

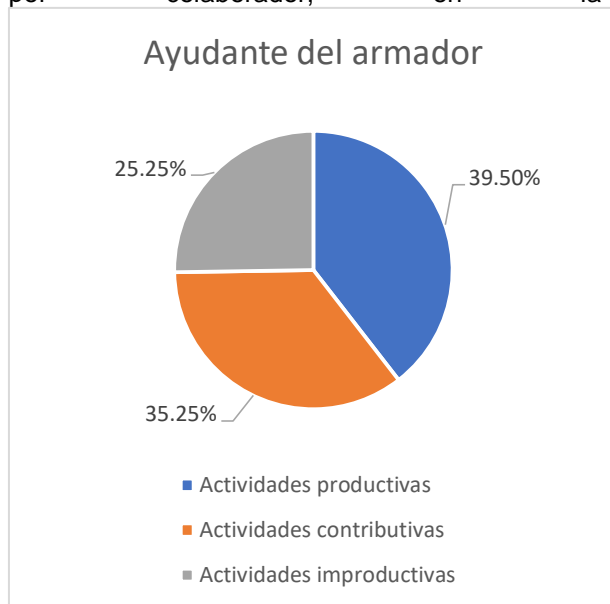


Figura 5. 19 y la Figura 5. 20, se muestra que las actividades productivas del ayudante del armador superan con un 39,50% a las del armador con un 24,24% de actividades productivas. En la Figura 5. 18 se puede observar que los armadores comparten actividades productivas mas no las realizan simultáneamente, se enfocan en labores diferentes tal como se puede observar en el armado según planos, para el ayudante este representa un 23% de las actividades, mientras que para el armador este representa un 5% del tiempo invertido. En el caso del armador se observa que ejecuta labores que no atañen al ayudante como el de corte de material con un 10% de las observaciones y la consulta de planos de taller con un 18 % de las observaciones, este aspecto se vio considerablemente incrementado

debido a que el armador acudió a la oficina de coordinación por aclaraciones en los planos de taller.

Para que el armador realizara el proceso de corte de material fue necesario estar trazando el corte en el material, generando el 9% de las observaciones, para luego realizar el corte con la ayuda de la esmeriladora. Es al estar en el cambio de procesos productivos que se genera gran parte del 17% de las observaciones correspondiente a traer y dejar herramienta que se traduce como tiempo improductivo y, por lo tanto, un desperdicio, además de que para realizar el corte del material se debe girar el elemento donde se genera el 5% de observaciones correspondientes a tiempo contributivo, necesario pero que no genera valor.

Para el ayudante del armador se observa que se encarga de realizar el armado según planos con un 23% de las observaciones para tiempo productivo. Esta actividad conlleva a estar verificando la correcta configuración de las piezas armadas el cual representa un 20% de las observaciones realizadas. El armado se realizó con ayuda de sargentos y un adaptador hecho de profundidad previamente elaborado, para lograr ubicar los elementos diagonales y verticales en el centro de los largueros (o cuerdas), los cuales poseen mayores dimensiones, este tiempo se ve reflejado en el 12% de las observaciones para sostener herramienta o pieza, mientras se ajustaban los sargentos del elemento a colocar en la pieza. En este 12% se tomó en cuenta cuando el ayudante se encontraba acomodando un equipo de soldadura.

Resoldado

El trabajo de los soldadores normalmente se realiza individualmente por pieza, aunque dependiendo de las dimensiones de la pieza se utilizan dos o más soldadores.

Al comparar la primera medida de productividad con la segunda, se obtienen valores finales muy variables en cada soldador, mostrado en detalle en las Figura 5. 21 y Figura 5. 25.

Para el soldador 1 se obtuvo un tiempo productivo de 1,25% a uno de 48%, de un 14,25% de tiempo contributivo a 25% y por último de un soldador 1 finalizó una cumbra al poco tiempo de iniciada la medición. Esto debido a que en la medición 1 el soldador se encontraba

trasladando la pieza recién finalizada a la espera del proceso de pintura y posteriormente procedió a trasladar una cercha a resoldar, esto con ayuda del soldador 2. Estos traslados representan el 58% del tiempo observado, sumado con un 21% de movilización de la grúa sin carga, comparado con el 2% de traslado de la pieza y el 1,25% de mover la grúa sin carga de la medición 2.

Una vez colocada la cercha para resoldar, el tiempo productivo incrementó al 48%; sin embargo, este tiempo productivo genera un tiempo contributivo directo el cuál es limpiar la zona a resoldar, en el que se invierte el 12,5% de las observaciones.

El comportamiento de las actividades del soldador 2 es similar al soldador 1; sin embargo, se presenta un desperdicio del 36,25% de las observaciones debido a que el soldador 2 no se encontraba laborando iniciada la medición, añadiendo que una vez se encontraba en ayuda del soldador 1 para el traslado del elemento, este presenta un mayor tiempo de espera para asistir al soldador 1.

Para la medición 2, el soldador 2 incrementó su tiempo productivo de 0% a 38,25%; sin embargo, al tomar en cuenta que ambos soldadores tenían la cercha lista para trabajar, el soldador 2 la inició posteriormente, lo que se traduce como una diferencia entre ambos soldadores del 9,75% del tiempo productivo en la medición.

En la medición 1, el soldador 3 se encontraba resoldando una cumbrera de marco para nave industrial, en el que obtuvo un porcentaje de actividad productiva del 49,50%; sin embargo, una vez terminada la pieza, disminuyó a un 16%. Así como su tiempo improductivo aumenta a un 46,75%, producto de la espera por la grúa viajera con el fin de trasladar la pieza terminada a pintura, esta espera representó un 30,75% de las observaciones realizadas, producto de que otro compañero se encontraba en su uso.

Limpieza

Para la actividad de limpieza se observa un aumento de productividad considerable con respecto a las actividades de armado y resoldado.

El nivel de actividad productivo mínimo para la limpieza es del 61,25% del ayudante de pintura 3, el cual vio mermada su productividad al ayudar al traslado de elementos con ayuda del montacargas en la nave 3, para el proceso de pintura.

Por otra parte, el mayor nivel de productividad es del ayudante de pintura 1 con un 79,25% de las observaciones, al cual también corresponde las actividades improductivas más bajas con un 13%, para el caso del ayudante de pintura 2 presenta un valor del 18,75% y por último del ayudante 3 presenta un valor del 19,75% complementado por un 19% de actividades contributivas.

En la carta de balance de la Figura 5. 29, se observa que en el periodo de medición de productividad solo el ayudante de pintura 2 realiza acciones de verificación de la limpieza, con un 7,25% de las observaciones. Además se observa que en labores de limpieza los traslados de los colaboradores es baja donde la carta de balance muestra que el traslado dentro de la zona de trabajo representa solamente del 3,5 al 5,5% de las observaciones, de forma similar la acción de traer o dejar herramienta representa dentro del 3,5 al 6,5% de las observaciones, en este último parámetro se refleja que para los colaboradores no fue necesario cambiar constantemente de herramienta, sino que más bien la labor de limpieza es una actividad con poco cambio de actividades.

Aplicación de pintura

En la Figura 5. 34 se muestra que la productividad del pintor es de un 38,5% de las observaciones realizadas, las cuales corresponden a la aplicación de pintura según la carta de balance de la Figura 5. 33. El tiempo improductivo representa un 37,79% de las observaciones realizadas, en el que según la carta de balance los desplazamientos del pintor tienen un gran peso, dentro de la zona de trabajo el pintor invirtió un 10,56% de las observaciones y para desplazamientos fuera de la zona de trabajo invirtió un 11,27% de las observaciones, según lo observado este desplazamiento fue con el fin de calibrar el equipo que representa el 16,67% de las observaciones y que forma parte de las actividades contributivas, la calibración puede darse por regulación del equipo de impulsor de pintura, o por relleno del recipiente de pintura a aplicar.

Por su parte el 38,50% de aplicación de pintura genera además un 4,93% de tiempo contributivo en la verificación del espesor de pintura.

Muestreo del trabajo

El muestreo del trabajo realizado para determinar el desperdicio por espera debido a que una grúa se encontraba fuera de mantenimiento, donde el tiempo no productivo se obtuvo de 24,81% por espera de grúa de los trabajadores del total de observaciones realizadas las cuales fueron 1411 observaciones, en donde se presentaron hasta 6 colaboradores en la zona de trabajo. El nivel de espera por grúa resultaría más alto si en la labor observada los trabajadores ajenos a la zona de trabajo no colaboraran con el trabajo donde se ocupa la grúa viajera, por lo que invierten tiempo de sus respectivas zonas de trabajo en actividades ajenas, generando un desperdicio.

Mapeo del flujo de valor

En el mapa del estado actual de la Figura 5. 35 se representa el proceso que conlleva las cerchas del techo central del proyecto ANDE. Estas presentan un *Lead Time* de 18,7 días, lo que se traduce como el tiempo de entrega para el que se tiene un tiempo de valor agregado de 907,5 minutos, repartido en cada uno de los tres procesos de producción, donde cabe destacar que en cada uno de estos procesos se genera un valor agregado de acuerdo con el tiempo de funcionamiento estudiado con la carta de balance de cada proceso.

De los 18,7 días, 15 fueron utilizados en almacenamiento de materia prima para la actividad a ejecutar, en donde además como se indicó para la Tabla 5. 9 todo el material a utilizar en la actividad se lleva al taller en un periodo corto, pues el proveedor lleva al taller 9,9 toneladas, generando un inventario innecesario en el taller. También se refleja en las esperas entre cada proceso que finalmente genera una acumulación de dos cerchas de techo, entre cada proceso.

Considerando el tiempo de ciclo desde el inicio del armado hasta la culminación del proceso

de pintura, según el registro del apéndice 5, se presentan tiempos de espera de 84,8% del ciclo total en promedio para las cerchas de techo central, además hay piezas que superan en espera el 90% del ciclo total.

Para cada proceso presente se toma en cuenta la planificación semanal, así como las prioridades que establecieron previamente o que se presentaron a solicitud del departamento de ingeniería, lo que en ocasiones genera que piezas que ya llevaron uno o dos procesos, vea interrumpida la culminación del ciclo total del proceso, generando almacenamientos y, por lo tanto, inventarios innecesarios.

Las entregas al sitio de proyecto se realizaron diariamente, las cuales dependen de la disponibilidad y capacidad de carga de los vehículos de transporte. Como se observa en la Tabla 5. 13, en elementos de alta masa como columnas, se realizan viajes diariamente, contrario a las vigas mostradas que realizan viajes con menor frecuencia en espera de una mayor cantidad de elementos.

Cabe destacar que al considerar solamente las cerchas de techo del proyecto ANDE en el mapa de la Figura 5. 35, se generan solamente dos piezas almacenadas, sin embargo, en el taller se generan simultáneamente más almacenamiento producto de la variedad de piezas en procesamiento.

En cuanto a la demanda del cliente considerado, el departamento de ingeniería solicita que el taller de producción genere 7,14 kg de material procesado por hora de trabajo para un colaborador, sin importar las funciones que tenga el colaborador del taller de producción en su puesto de trabajo.

Para el estado futuro e ideal de la planta, representado en la Figura 5. 35, se proponen modificaciones considerables: Que la materia prima sea solicitada al proveedor conforme se va consumiendo en las piezas del techo central, y tener los materiales con al menos dos días de anticipación en el taller, pero sin incurrir en tiempo excesivo de almacenamiento, lo que disminuiría el tiempo de almacenamiento de materia prima en 13 días. Además, generar una planificación semanal y establecer prioridades para el inicio de los procesos de construcción correctamente establecidas para evitar imprevistos en los proyectos que provoquen modificaciones en el flujo del proceso, y que el flujo del proceso por pieza sea continuo y con las menores

interrupciones posibles, para lo que la planificación y las prioridades afecten solamente en el almacenamiento de materia prima y del inicio del proceso de armado.

Otra modificación reflejada en el mapa de valor de estado futuro es disminuir los tiempos de ciclo de cada proceso y nivelar que los demás procesos tengan una duración similar que permita un flujo continuo para elementos repetitivos, en búsqueda de eliminar almacenamientos entre los procesos.

Al final del ciclo de producción se obtiene un *Lead Time* de 4,4 días con un tiempo de valor agregado de 741 minutos.

Horas de trabajo por pieza procesada

Inicialmente se puede observar en la tTabla 5. 15 la cantidad de kilogramos que representa cada tipo de pieza estudiado del proyecto ANDE, para así lograr representar las piezas de las muestras obtenidas en un valor medio con su respectiva desviación estándar. Se puede observar que la cantidad las vigas de entepiso y de techo tomadas en la muestra poseen el mayor coeficiente de variación entre las piezas evaluadas con un 0,87 y un 0,71 respectivamente. Sin embargo, para piezas de una media con mayores kilogramos que las vigas se presenta un coeficiente de variación menor, siendo las cerchas de techo central la de mayor variación con un 0,24 y las columnas de gradería central presenta una variación cercana a 0, debido a la semejanza entre las piezas estudiadas.

Procesos de construcción

Para la estadística descriptiva mostrada a partir de la Tabla 5. 16, se espera que los cuartiles presentes se encuentren cercanos al valor de la media para obtener una menor variabilidad de la muestra, dictada por la desviación estándar y el coeficiente de variación. La distribución de los datos se puede observar de manera gráfica en los diagramas de caja del apéndice 7.

Se puede observar que el tiempo con menor variabilidad corresponde a las horas de

trabajo en el proceso de pintura de las cerchas de techo central, con un coeficiente de variabilidad del 0,17, contrario al armado de las columnas de techo que tienen una variabilidad de 1,19, es decir la variabilidad supera en un 19% el valor de la media.

Por otra parte, según las correlaciones realizadas de kilogramos procesados en función del tiempo de la Tabla 5. 32, se tiene que en la mayoría de los procesos se tiene un coeficiente de correlación lineal menor que 0,3 absoluto (11 de 18), donde según el marco teórico, si el coeficiente presenta un valor superior a 0,3 y menor a 0,7 la relación entre la variable dependiente y la independiente es moderada. Dentro de este rango se incluye el resoldado de las vigas de entepiso, con un valor de 0,558, el armado y pintura de los marcos de entepiso con 0,414 y -0,326 respectivamente; en este rango se encuentra también el resoldado y pintura de las cerchas del techo central con 0,605 y 0,361 respectivamente; por último, el armado y resoldado de las columnas de gradería con un -0,335 y 0,510 respectivamente.

Aunque los 11 coeficientes de correlación menor a 0,3 de los 18 totales, dicta que no existe relación clara entre la masa de las piezas en función de las horas de trabajo y por lo tanto representa una alta variabilidad en los procesos, contrario al principio *Lean* de disminución de la variabilidad, sin embargo entre los valores en valor absoluto situados entre 0,3 y 0,7, se destaca el coeficiente de correlación del resoldado del techo central con el valor de 0,605 el cuál ejemplifica que en los procesos sí se puede llegar a disminuir la variabilidad de los procesos y por lo tanto aumentar la correlación entre la cantidad de kilogramos procesados y el trabajo empleado.

Por otra parte, se puede observar que existen correlaciones inversas representadas con los coeficientes de correlación negativos, en el que destaca con una correlación moderada el proceso de armado de las columnas de gradería con un coeficiente de -0,335 y -0,325 del proceso de pintura de marcos de entepiso

La gran variabilidad se genera por una estandarización insuficiente de los procesos constructivos y el deficiente control de calidad detallado en la Cuadro 5. 4 y el formulario de control de calidad y producción propuesto por la empresa, mostrado en el anexo 5.

Además, la alta variabilidad se debe a que se está evaluando procesos constructivos con participación de capital humano en todo el proceso

y se evalúa personal diferente para un mismo tipo de pieza.

Los tiempos de espera por grúa dados en la Tabla 5. 8 presenta un gran impacto en la variabilidad, ya que para elementos con alta cantidad de kilogramos es necesario utilizar la grúa para girar la pieza en varias ocasiones y continuar con el proceso.

Modelo de simulación

Modelos de probabilidad

Modelo de probabilidad de los procesos

Los modelos de probabilidad de la Tabla 5. 34, muestran que, según el puntaje relativo de la mayoría de modelos para cada proceso se adapta de forma satisfactoria a los datos de la muestra. En este rubro se puede denotar el resoldado de las vigas de entrepiso y la pintura de las cerchas de entrepiso con valores de 79,17 y 78,23, respectivamente, este puntaje relativo es producto de que la herramienta de FlexSim, Experfit, compara el modelo obtenido con esquemas de evaluación patentado con 27 modelos candidatos, basado en los 33 años de experiencia e investigación para la herramienta. (Law, A; 2011)

Por otra parte, en la Tabla 5. 34, se muestra que la evaluación absoluta es "Buena". Law (2011), considera que la evaluación absoluta "Buena" es suficiente para ser utilizada en el modelo de simulación. Sin embargo, para los procesos con una evaluación absoluta indeterminada no es posible concluir que el modelo es apto para utilizar en el modelo, por lo cual se realizó la prueba de Chi cuadrado, mostrado en la Tabla 5. 35 con los resultados de la hipótesis nula, sin embargo, en el apéndice 9 se muestran los resultados completos de la prueba de Chi cuadrado. La prueba de Chi cuadrado, emite que solo el proceso de pintura para vigas de entrepiso presenta un modelo de distribución de datos aceptable para el modelo de simulación,

contrario al armado y pintura de vigas de techo. Sin embargo, debido a que es el mejor modelo de probabilidad propuesto por Experfit, se utilizó para el modelo de simulación del taller de producción Belén.

Por otra parte, se puede observar que el mayor error de las medias es de un 7,33%, este error responde al comparar la media del modelo de distribución con la media de la muestra obtenida y se puede notar que se encuentran errores de medias menores al 1%.

También, se puede observar que la distribución de probabilidad varía de un proceso a otro, sin tener una distribución de probabilidad claramente establecida, sin embargo, la que se repite en mayor medida es la distribución Beta con cuatro ocasiones, Johnson SB y Weibull en tres ocasiones cada una.

Modelos de probabilidad de equipos

En la Tabla 5. 36 se muestra los promedios de tiempo y desviaciones estándar para la carga, desplazamiento y descarga de la grúa viajera y montacargas. En la Tabla 5. 36, se denota que la muestra obtenida posee un coeficiente de variación de hasta un 0,86 y superior a 0,50 para la grúa viajera, y para el montacargas se cuenta con coeficientes de variación de hasta 1,48.

Por otra parte, en la Tabla 5. 37, se muestra que el puntaje relativo presenta niveles superiores a 80 y evaluaciones absolutas "Buenas". Por último, el error máximo de las medias es de 6,50% para la descarga del montacargas.

Calibración del modelo

Calibración de cada proceso

En la Tabla 5. 38, se muestran los resultados de la ejecución del modelo de simulación en tres ocasiones, con el fin de revisar que el modelo de probabilidad implementado, genere valores cercanos a los esperados, para lo cual, la variación esperada para cada evaluación es de 0%.

A partir de las variaciones mostradas se nota que para un mismo proceso y tipo de pieza la variación puede tener un valor cercano al 0% en

una ocasión y pasar a un valor lejano a 0% debido a la generación de valores aleatorios. A manera de ejemplo en armado de columnas de techo, se observa que inicialmente la variación representó un 7,5%, posteriormente este valor disminuyó a un valor de 1,0% y para la siguiente evaluación, este aumenta a un valor de 5,8%, así como en otras ocasiones se presenta un comportamiento similar como el caso de resoldado de las columnas de gradería con una variación inicial del 2,4% para disminuir a un 0,6% y recuperar la variación a un 4,9%.

La oscilación de los valores de variación, se puede producir debido a que para los modelos de probabilidad se generan valores aleatorios que conllevan a datos extremos y los cuales pueden reiterarse en la misma ejecución del modelo de simulación.

La variación de las medias más altas es la del proceso de armado de vigas de techo con 11,8% y esta disminuye hasta un 9,2% y un 9,4%, para este proceso las variaciones presentan un nivel superior a los descritos con anterioridad y de forma constante para las tres evaluaciones.

Calibración del tiempo de ciclo completo

En la Tabla 5. 39 se muestra la media de las horas invertidas en el taller para modificar la materia prima pasando por el proceso de armado, resoldado y pintura. Para cada tipo de pieza se obtuvo la desviación estándar de la muestra, y por lo tanto el coeficiente de variación, el cual arroja un valor de 0,71 como variación máxima para las cerchas de techo y un coeficiente de variación mínimo de 0,26 para los marcos de entrepiso y las columnas de gradería.

Los tiempos de ciclo representados en la Tabla 5. 39 fueron medidos sin tomar en cuenta la cantidad de ayudantes para llevar a cabo cada proceso y toma en cuenta los tiempos de espera en los procesos de resoldado y pintura.

Al comparar los coeficientes de variación del ciclo completo que no superan el 0,71 con el tiempo de proceso de cada pieza, los cuales tienen un valor de hasta uno, se puede tener un indicio inicial de que el trabajo de los colaboradores que funcionan como ayudantes no es efectivo.

Para la Tabla 5. 41 se muestra el tiempo medio de procesamiento completo con límites

establecidos mediante la suma y resta de una desviación estándar a la media obtenida, para el que también se tiene la diferencia expresada como porcentaje para cada evaluación realizada al comparar matemáticamente el resultado obtenido del modelo y el teórico obtenido mediante la muestra. Como evaluación final se obtiene la media del tiempo de ciclo de las 10 evaluaciones con datos emitidos por la simulación y se compara con el valor de la muestra estudiada.

Para las vigas de entrepiso se observa que la variación más grande es del 35,82% para la evaluación 9, sin embargo, al comparar con los límites esta variación se encuentra dentro del rango establecido. Por otra parte, la variación mínima es de 1,75% para la evaluación 5. Por último, la evaluación final, correspondiente a la media del tiempo de ciclo completo para todas las evaluaciones, presenta una variación del 10,86% y se encuentra dentro del rango establecido.

Para los marcos de entrepiso, la variación máxima es del 21,84% para la evaluación 9, la cual se encuentra dentro del rango establecido y como variación mínima se tiene un 0,54% para la evaluación 3, que de igual forma se encuentra dentro del rango. La evaluación final arroja una variación del 7,07% y el valor obtenido se encuentra dentro del rango.

Con el caso de las vigas de techo se tiene una variación máxima del 31,65% para la evaluación 9, y para este caso el valor obtenido se encuentra por fuera del rango establecido. Por otra parte, la variación menor es del 0,20% y por lo tanto el valor del tiempo de ciclo de la evaluación 10 es muy cercano al esperado. La evaluación final tiene una variación del 5,26% y por lo tanto se encuentra dentro del rango mostrado.

Las columnas de techo presentan una variación máxima de 36,97%, donde también el valor de 53,12 horas se encuentra por fuera del rango establecido. Por otra parte, la menor variación se presenta en la evaluación 3, con un valor de 10,04%, el valor de 64,82 horas se encuentra dentro de los límites dados. Por último, la evaluación final arroja una variación del 19,44% y el valor medio de las evaluaciones se encuentran dentro de los límites.

Para las cerchas de techo, la variación máxima es de un 106,95% para la evaluación 9 y el valor de 65,86 horas no se encuentra por fuera del rango establecido; la variación mínima es de un 61,39%, y el valor se encuentra dentro del rango establecido. Esta pieza presenta altas

variaciones en todas las evaluaciones, al punto de que 5 evaluaciones tienen el valor dentro del rango y 5 evaluaciones quedan por fuera. Además, la evaluación final dicta que el valor medio de las evaluaciones queda por fuera del rango y la variación media es de un 73,84%.

Sin embargo, para las cerchas de techo se tomaron en cuenta tres datos que se omitieron inicialmente por la diferencia de kilogramos con las utilizadas como muestra, con los cuales se obtuvo un promedio ponderado de 59,72 horas, con una variación máxima de 17% y una mínima de 1,04 para la evaluación dos.

Por último, para las columnas de gradería se obtuvo una variación máxima respecto a la media de la muestra de un 11,87%; el valor de 96,33 horas también se encuentra dentro del rango. Por otra parte, la variación mínima es de 2,91%, para un tiempo de ciclo completo de 112,48 horas, que, de igual forma, se encuentra dentro del intervalo establecido. La evaluación final presenta una variación de 9,28% y por lo tanto la media de las evaluaciones se encuentra dentro del intervalo.

Las variaciones de una evaluación a otra son muestra de la generación de valores aleatorios del programa. La evaluación 9 es la que más presenta variación con respecto a las otras evaluaciones a excepción de las columnas de gradería que presenta la menor variación. La variación puede darse debido a una generación excesiva de datos extremos a partir de los modelos de probabilidad.

Variables no consideradas en el modelo de simulación

Las variables a mostrar no se consideraron dentro del modelo de simulación, lo que puede provocar diferencias entre los resultados esperados.

- En el taller de Belén se ingresan órdenes de cambio en el proceso de pintura que en muchas ocasiones es necesario realizar y que no se tenían contemplados en la programación del taller y por lo tanto genera que otras actividades aumenten su tiempo de espera, aspecto que no se contempló dentro de la simulación.
- Para las tareas del montacargas no se consideró, la descarga de material desde

el vehículo proveedor hasta el punto de almacenamiento. Tampoco se consideró el tiempo que se invierte en buscar la correcta materia prima y de trasladar la materia prima que impida llegar a la materia prima solicitada. De igual forma, no se consideró las labores de asistencia para el personal de mantenimiento, ni llevar a bodega remanentes de materia prima.

- El montacargas asiste de igual forma a las naves 2 y 3 omitidos en la simulación con ayuda de otro montacargas.
- Para las grúas viajeras se omiten labores dentro de los tres procesos, como girar las piezas para continuar con la actividad, lo que puede generar retrasos para otros puestos de trabajo, sin embargo, dentro de las muestras obtenidas sí se consideraron las esperas por grúa.
- No se establecieron prioridades sobre las piezas a procesar.
- Otra variable omitida es la disponibilidad de materiales o placas, ya que se parte del hecho de que se encuentran disponibles en el taller Belén.
- También se omitió el tiempo invertido por el jefe de armado para la revisión final del proceso de armado. Tampoco el tiempo transcurrido desde la finalización por parte de los armadores hasta el momento en que el jefe de armado acude a la revisión.

Datos del modelo calibrado

Los datos obtenidos en esta sección son generados a partir de una ejecución adicional para obtener los gráficos suministrados por FlexSim.

En la Figura 5. 52 se muestra el tiempo de ciclo total de la ejecución extra, el cual va acorde a la calibración del modelo de simulación discutido con anterioridad.

Para los procesos de armado, resoldado y pintura de las Figura 5. 53, Figura 5. 54 y Figura 5. 55 respectivamente se observan variaciones con respecto a la calibración del proceso de las Figura 5. 49, Figura 5. 50 y Figura 5. 51, debido a que en la calibración por proceso se utilizaban los datos obtenidos para un solo armador, pero al calibrar el modelo por ciclo completo, con base en la Tabla 5. 40, se asignaron los colaboradores necesarios.

Con respecto a las esperas mostradas en la Figura 5. 56 se tiene que la espera media de resoldado es de 13,6 horas y al observar al Figura 5. 57, se observa que la pieza con menor espera es la pieza de columnas de gradería con 11,25 horas, la que por su parte es la que se genera en menor cantidad en el modelo de simulación; sin embargo, no se observa gran diferencia respecto a la de mayor espera con 14,84 horas.

Por otra parte, el promedio de espera en pintura tiende a ser mayor con 18,4 horas, el desglose de la espera de pintura de la Figura 5. 58 en el que se observa que el mayor tiempo de espera corresponde a las vigas de techo, donde cabe destacar que es la pieza con mayor cantidad de unidades a procesar, en la **Tabla 5.1**Tabla 5. 45, se observa que las piezas de vigas de techo tienen un valor mayor con 0,28 piezas/hora, contrario a las demás piezas que poseen de 0,02 a 0,09 piezas/hora.

Debido a la espera generada para el proceso de pintura, superior al proceso de pintura y a que al comparar el estado de cada proceso de la Figura 5. 60 para resoldado y la Figura 5. 61 para pintura, donde el estado del proceso trabajando es del 81% y para el de pintura es de un 86%, se puede deducir que el proceso cuello de botella es el de pintura.

El estado del proceso de armado de la Figura 5. 59, a pesar de ser el proceso con mayor tiempo de trabajo con un 94%, no se considera el cuello de botella debido a que al ser el primer proceso, su nivel de actividad está sujeto a la disponibilidad de materiales, montacargas y la grúa viajera; variables que como se mencionó anteriormente, se consideraron parcialmente en la simulación. La disponibilidad del montacargas según la Tabla 5. 44 es del 95,36%, lo que en la realidad no sucede de esta forma, ya que el montacargas cuenta con una gran cantidad de labores y su disponibilidad es limitada. Por su parte, las grúas viajeras presentan tiempos libres del 91,86% para la grúa 1 y 88,71% para la grúa 2, parámetro que no se considera real, puesto que las actividades del taller generan atrasos a otras actividades como se discutió con anterioridad.

Por último, para el modelo de simulación, se obtuvo la cantidad de

kilogramos por hora para cada pieza, para el cual se obtuvo un valor final de 289,02 kg/h mostrado en la Tabla 5. 45, el cual presenta una variación del 7,04% respecto al dato suministrado por el ingeniero de producción, de 270 kg/h.

Estaciones de resoldado y pinturas adicionales

La estación nueva de resoldado y de pintura, se propone con el fin de disminuir los tiempos de espera en ambos procesos y por lo tanto inventarios innecesarios durante el proceso.

Los tiempos de espera obtenidos a partir de la mejora disminuyó hasta alcanzar las 2 horas para resoldado y 1 hora 30 minutos para pintura, según la Figura 5. 63. Cabe destacar que el proceso de pintura corresponde ahora al proceso de cuello de botella, lo cual también se refleja en la Figura 5. 65 del estado del proceso de resoldado y la Figura 5. 66 del estado del proceso de pintura con valores de tiempo trabajando de 65,97% y 58,90%, donde al ser mayor del nivel de actividad del proceso de resoldado se considera el proceso de cuello de botella.

Sin embargo, bajo esta mejora, se observa que el porcentaje de tiempo de no trabajo aumentó respecto al estado actual del taller de producción. De lo que se deduce que bajo esta modificación los colaboradores se encuentran trabajando en menor cantidad. Pero por otra parte la producción aumentó de 279,02 kg/h a 302 kg/h.

Estado con menor variación de la muestra

La variación realizada en el personal asignado fue en aumentar en una persona al proceso de columnas de techo.

Este estado fue confeccionado con el fin de representar un mayor control sobre el proceso de producción. El coeficiente de variación máximo utilizado de 0,3 fue utilizado debido a que si se utiliza un coeficiente de variación elevado para calcular la desviación estándar a partir de la media, se producen datos con tendencia a 0 y hasta generar valores negativos a partir de la distribución normal utilizada, debido a que según

los resultados de trabajo y rendimiento, el tiempo de ciclo mínimo es de 0,67 horas de trabajo para el resoldado de las vigas de entrepiso, con la excepción de la 0,2 hora para el resoldado de las vigas de techo y la 0,33 hora de la pintura de las mismas. Cabe destacar que las vigas de entrepiso y de techo presentan la menor media de kilogramos entre las seis piezas estudiadas, con 246,30 y 248,28 kg respectivamente.

En la Tabla 5. 47. **Tiempo de ciclo completo en horas a diferentes coeficientes de variación** se muestran los tiempos de ciclos completos para cada pieza, donde se puede observar que los tiempos de ciclo para el coeficiente de variación de 0,3 y 0,05, son más elevados que para los ciclos de coeficiente de variación de 0,2 y 0,1, donde los valores generados para estos últimos son más cercanos a los esperados según la Tabla 5. 39, a excepción de las columnas de gradería donde su tiempo de ciclo disminuyó a 66,49 para el CV de 0,2 y de 63,96 horas para el CV de 0,1, cuando se esperaba un valor cercano a 109,30.

Con respecto a las esperas de la Tabla 5. 48, se obtuvieron valores menores para los CV de 0,2 y 0,1. Además, la espera en resoldado disminuyó de 13,6 horas a 11,9 horas para CV de 0,2 y a 9,75 para CV de 0,1. Para el caso de pintura, la espera aumentó de 18,4 a 19,47 horas para CV 0,2 y 19,28 horas para CV 0,1. Los tiempos de espera para el CV de 0,3 aumentaron considerablemente para resoldado con un valor 17,54 horas y para pintura de un tiempo de espera de 27,4 horas.

El escenario más desfavorable es el descrito para un coeficiente de variación de 0,3 ya que presenta los tiempos de ciclo completo más elevado, así como los tiempos de espera más elevados.

Debido a la disminución del tiempo de ciclo de las columnas de gradería, se aumentó la producción de 289,02 kg/h a 317 kg/h, prácticamente por igual para todos los coeficientes de variación. Este aumento es debido principalmente a la disminución del ciclo completo de las columnas de gradería, discutido con anterioridad.

Este estado se realizó para atender el principio de la filosofía Lean de disminuir la variabilidad del proceso.

Mejoras de la producción

Reprocesos

Como se expuso con anterioridad, el formulario 8F100 es con el fin de aumentar el control del proceso de producción del taller y crear un registro detallado de las piezas producidas. Desde el punto de vista de la filosofía *Lean*, esta medida aumentaría el control sobre todo el proceso, así como la transparencia del mismo, ya que permite identificar quiénes son los asignados en cada proceso y permite llevar un registro de los aspectos que más afecta a la mano de obra.

La medida de que el encargado de área realice verificaciones parciales, permite identificar errores que pueden tener consecuencias monetarias considerables; por el contrario, actualmente se realiza una verificación final, que usualmente conduce a una interrupción de la línea de producción, dando paso a retrasos a otras actividades de diferentes proyectos.

El hecho de aumentar el control, atañe directamente al principio del enfoque al cliente, ya que se pretende eliminar desperdicios que el cliente final termina pagando.

Recorridos

Las mejoras propuestas para los recorridos, corresponde a la búsqueda de la eliminación del desperdicio de transporte por las diferentes causas mencionadas en el Cuadro 5.7. Para este desperdicio cabe destacar la propuesta de mejora para los recorridos a bodega, donde se propone la implementación de un nuevo puesto de trabajo para la bodega, sin embargo, este gasto extra se compensa con el desperdicio por desplazamiento de mano de obra, traducidos en 253 460 colones semanales. Además, esta medida presentaría un aumento en la productividad de la mano de obra.

Otra mejora a destacar es la implementación de cinturones porta herramientas, el cual atañe a las 5'S en el aspecto de clasificación, ya que se tendría la herramienta más esencial en un punto más cercano, así como

también puede hacer referencia a la S de organizar el puesto de trabajo. Con esta medida se eliminan movimientos innecesarios y recorridos a causa de la ubicación de la herramienta, por lo que el aspecto de traer o dejar herramienta o equipo evaluado en las cartas de balance se disminuiría.

Mejoras en procesos

Armado

La mejora de apegarse al diagrama de flujo del proceso de armado, es con el fin de buscar la estandarización del proceso, lo que conllevaría a una disminución de la variabilidad. Por otra parte, marcar los elementos de una pieza respecto a las especificaciones permitiría la estandarización ya que conllevaría a realizar el mismo trabajo de manera ininterrumpida para luego armar la pieza.

El orden y limpieza corresponde a dos aspectos de las 5 S, para mejorar constantemente las condiciones de trabajo.

La implementación de plasma para el corte de acero con altos espesores responde a la eliminación de procesos innecesarios, ya que el corte de éste con esmeriladora es un proceso ineficiente.

Las escuadras magnéticas, por su parte, disminuyen la participación de los ayudantes y elimina un proceso innecesario y sobredimensionado como lo es la utilización de sargentos para afirmar los elementos.

Resoldado

Colocar la pieza de forma vertical conlleva a que no se generen movimientos innecesarios que perjudiquen la ergonomía del puesto de trabajo y se disminuyen esperas por la grúa viajera.

Al tener posiciones ergonómicas, se disminuye la fatiga de los colaboradores y el desarrollo de enfermedades laborales.

Pintura

Al tener un elemento para calibración, disminuiría considerablemente el tiempo de calibración. Aunque éste es necesario, se debe buscar su reducción al punto de una cercana eliminación.

Esperas por grúa

Las plumas hidráulicas atacan directamente las esperas por grúa, expresadas en la sección del muestro del trabajo. De esta forma, se disminuye el impacto en la productividad cuando una grúa se encuentre fuera de funcionamiento.

7. Conclusiones

- El principal impedimento para implementar la filosofía *Lean* dentro de los colaboradores es la falta de seguimiento de las capacitaciones proporcionadas que permita criterio de los colaboradores operativos para mejorar e identificar desperdicios dentro de las actividades que realizan.
- El control de calidad actual dentro de los tres procesos de producción, es de índole correctivo y no preventivo; por lo que, al aplicar la mejora de verificaciones parciales con el formulario 8F100, se produce un seguimiento del proceso de producción en función de controlar todo el proceso y por lo tanto, se transformaría el control por otro de carácter más preventivo.
- El diagrama de flujo presentado en el documento representa las etapas del proceso para piezas a las que se le deba aplicar la totalidad de subprocesos, mas no para todas las piezas a producir es necesario realizar todos los subprocesos, sumado con que al ser una labor con incidencia de mano de obra humana, no se acata estrictamente el diagrama de flujo, sino que las etapas tienden a alternarse.
- La planta de producción cuenta con gran interferencia entre los procesos mostrado en el diagrama de flujo, tanto por actividades productivas, flujo de material y flujo de personal.
- El desperdicio de mano de obra por transporte hacia los servicios sanitarios, oficina de producción o bodega, se traduce en una pérdida de 253 460 colones semanales. Este desperdicio se pretende disminuir con la mejora de un puesto de trabajo en bodega, la instalación de otros servicios sanitarios y un sistema de llamado para la verificación final del jefe de armadores.
- De acuerdo con lo analizado para los diagramas de Ishikawa, la causa que afecta en mayor frecuencia a la productividad son los errores u omisiones de especificaciones en planos de taller, la cual también produce reprocesos. Por otra parte, la materia prima defectuosa y los inconvenientes con accesorios suministrados por el proveedor afecta con alta frecuencia la productividad, así como también producen reprocesos.
- El proceso que genera más valor al ciclo completo de trabajo es el de pintura, ya que para la limpieza se tiene un promedio actividad de productiva de un 71,25% para los tres colaboradores evaluados y para la aplicación de pintura se tiene un 37,79%. Mientras que el proceso que genera menos valor es el proceso de armado con un 31,9% de actividad productiva.
- El mal funcionamiento de una de las grúas viajeras afecta en gran medida a la productividad de la planta donde se da un desperdicio de 24,8% de la mano de obra. Con la aplicación de las plumas hidráulicas se espera mitigar el impacto por espera de grúa.
- El ciclo completo de producción presenta altos desperdicios por esperas, donde el *Lead Time* es de 18,7 días el tiempo de valor agregado es de 907,5 minutos según el mapa de flujo de valor del estado actual para las cerchas de techo central evaluadas.
- El trabajo en horas de los procesos de producción presenta una alta variabilidad donde el coeficiente de variación más bajo es de 0,17 y el más alto es de 1,19.
- No existe correlación entre los kilogramos procesados en función del trabajo en horas invertidas, ya que el coeficiente de correlación más alto es de 0,605 en valor absoluto, donde además, siete de los 18 procesos evaluados están dentro del

intervalo en valor absoluto de [0,3 , 0,7], los restantes 11 procesos se encuentran por debajo de 0,3 en valor absoluto.

- La calibración del sistema de simulación se considera satisfactoria, al obtener variabilidades menores al 11% entre la media de la muestra con la simulada, sumado con la variación del 7% entre los kg/h entre el valor suministrado por el ingeniero de producción y la obtenida mediante el modelo de simulación.
- El proceso de pintura es el cuello de botella de la planta, ya que presenta 18,4 horas de espera, mientras que el resoldado presenta 13,6 horas de espera.
- La mejora con nuevas estaciones de resoldado y pintura disminuye las esperas de 13,6 y 18,4 horas en resoldado y pintura respectivamente a 2,0 y 1,5; sin embargo, la actividad de trabajo con las nuevas estaciones disminuyó de un 81%

a un 65,97% para el resoldado y de un 86% a un 58,9% para el proceso de pintura.

8. Recomendaciones

- Generar un plan de mantenimiento de equipos especiales como las grúas y montacargas, de la mano con un registro de dadas de baja del equipo, donde se tome en cuenta la causa, el tiempo que estuvo de baja hasta su reparación y el proceso realizado para su reparación, así como los repuestos utilizados.
- Implementar capacitaciones de filosofía *Lean Construction*, enfocada en la identificación, por parte de los colaboradores, de desperdicios en los procesos, para generar mejoramiento continuo en la producción.
- Mejorar la planificación de los trabajos con el fin de evitar acumulación de inventario e interrupciones del proceso de construcción.
- Recibir recomendaciones por parte de los trabajadores del taller, evaluarlas y buscar su aplicación.
- Generar un control de costos para comparar con lo presupuestado inicialmente, que permita la toma de decisiones cercana al tiempo real.
- Realizar un estudio similar para cuantificar las mejoras propuestas, así como las que puedan surgir a lo largo de la aplicación de la mejora continua y evaluar el estado del taller.
- Estandarizar los procesos al máximo para disminuir la variabilidad y con ello obtener que la cantidad de kilogramos procesados dependa realmente de la cantidad de trabajo en horas, por lo que es necesario un estudio detallado de cada proceso para determinar la estandarización más adecuada.
- En caso de utilizar este documento para el cálculo de presupuestos y programación del trabajo del taller se recomienda el uso de la mediana, ya que es una medida de tendencia central menos afectada por datos atípicos.

Apéndices

Apéndice 1: Entrevistas aplicadas

Apéndice 2: Control de producción por proceso

Apéndice 3: Programación en Visual Basic

Apéndice 4: Control general de producción

Apéndice 5: Control de producción por boleta

Apéndice 6: Observaciones de productividad

Apéndice 7: Diagramas de caja para proyecto ANDE

Apéndice 8: Mediciones de grúa y montacargas

Anexos

Anexo 1: Registro de
disconformidades

Anexo 2: Inventario de acero del
proyecto ANDE

Anexo 3: Boleta de salida de
elementos

Anexo 4: Programación en taller
Belén

Referencias

- Bermejo, M (2017). *COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE TRAYECTOS, METRO A PIE-BICI EN LA ZONA URBANA DE BARCELONA*. Universidad Politécnica de Barcelona. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3316>
- Botero, L. (2002). *ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS Y CONSUMOS DE MANO DE OBRA EN ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN*. Revista Universidad EAFIT N°128. Recuperado de: https://www.academia.edu/22259467/RENDIMIENTOS_DE_MANO_DE_OBRA
- Botero, L y Álvarez, E (2004). *GUÍA DE MEJORAMIENTO CONTINUO PARA LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE VIVIENDA*. Medellín, Colombia. Universidad Eafit, vol. 40, número 136, pp.50-64. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/215/21513605.pdf>
- Cabrera, R. (s.f) *VALUE STREAM MAPPING: ANÁLISIS DE CADENA DE VALOR*. Recuperado de: <https://eddymercado.files.wordpress.com/2013/05/analisis-del-mapeo-de-la-cadena-de-valor.pdf>
- Casadiego, R. (s.f.) *GUÍA DE USUARIO PARA EL SOFTWARE FLEXSIM*. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/rodolf22/manual-en-espaol-de-software-flexsim>
- Cordero, D. (2015) *INCORPORACIÓN DE CONCEPTOS DE LA METODOLOGÍA LEAN EN LA FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURAS METÁLICAS*. Proyecto final de graduación. Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 75 p. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6738?show=full>
- Cruz, C (2017) *IMPLEMENTACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO CON AUTOHORMIGONERA*. Proyecto final de graduación. Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 92 p. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9944>
- Devera, F. y Ortiz, D. (2019). *GUÍA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN LA CONTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS*. Proyecto final de graduación. Universidad Santo Tomás. Bucaramanga, Colombia. 142 p. Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18447/2019OrtizDenise.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Faraldo, P. y Pateiro, B. (2012) *TEMA 1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA*. Material de curso de Estadística y metodología de la Investigación. Universidad de Santiago de Compostela. Recuperado de: http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_G2021103104_EstadisticaTema1.pdf
- García, N (2005). *ESTUDIO DEL TRABAJO. INGENIERÍA DE MÉTODOS Y MEDICIÓN DEL TRABAJO*. Editorial McGriall Hill. Segunda Edición. Recuperado de: https://faabenavides.files.wordpress.com/2011/03/estudio-del-trabajo_ingenierc3ada-de-mc3a9todos-roberto-garcc3ada-criollo-mcgraw_hill.pdf

- Hypertherm (s.f) *7 VENTAJAS POR LAS QUE EL PLASMA AVANTAJA AL OXICORTE*. Ficha técnica. Recuperado de: <https://www.hypertherm.com> > Download
- Hines, P y Rich, J. (1997) *THE SEVEN VALUE STREAM MAPPING TOOLS*. Cardiff, UK. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/235309659_The_seven_value_stream_mapping_tools
- Jain, S. (2011). *HOW THE EXPERFIT DISTRIBUTION FITTING SOFTWARE CAN MAKE YOUR SIMULATION MODELS MORE VALID*. Tucson, USA. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.416.2517&rep=rep1&type=pdf>
- Koskela, L. (1992) *APPLICATION OF THE NEW PRODUCTION PHILOSOPHY TO CONSTRUCTION*. Stanford University. Stanford, United States. Recuperado de: <http://www.leanconstruction.org/media/docs/Koskela-TR72.pdf>
- Lean Construction Institute (2015) *LAST PLANNER SYSTEM: BUSINESS PROCESS STANDARD AND GUIDELINES*.
- Marhani, M; Jaapar, N; Ahmad, N. (2012) *LEAN CONSTRUCTION: TOWARDS ENHANCING SUSTAINABLE CONSTRUCTION IN MALAYSIA*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/257718428_Lean_Construction_Towards_Enhancing_Sustainable_Construction_in_Malaysia
- Medina, R. (s.f.) *CONSTRUCCIÓN DIAGRAMA CAUSA-EFECTO*. Universidad de Carabobo. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/alexchelsea22/construccion-diagrama-causa-efecto-ishikawarm>
- Montero, A. (s.f) *MODELOS DE PROBABILIDAD*. Universidad de Granada. Granada, España. Recuperado de: <https://www.ugr.es/~eues/webgrupo/Docencia/MonteroAlonso/estadistical/tema3.pdf>
- Oglesby, C., Parker, H., & Howell, G. (1989). *PRODUCTIVITY IMPROVEMENT IN CONSTRUCTION*. (1er ed.). New York: McGraw-Hill.
- Oficina Internacional del Trabajo (1998) *INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DEL TRABAJO*. Cuarta Edición. Ginebra, Suiza. Recuperado de: <https://teacherke.files.wordpress.com/2010/09/introduccion-al-estudio-del-trabajo-oit.pdf>
- Pértegas, S. y Pita, S. (2001) *LA DISTRIBUCIÓN NORMAL*. Complejo Hospitalario Juan Canalejo A Coruña. Coruña, España. Recuperado de: https://www.fisterra.com/mbe/investiga/distr_normal/distr_normal2.pdf
- Ramonet, J. (2004). *ANÁLISIS Y DISEÑO DE PROCESOS EMPRESARIALES*. Recuperado de: https://www.iramonet.com/sites/default/files/adjuntos/diagramas_flujo_jrf_v2013.pdf
- Rincón, L. (2007) *PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA*. Material de curso, UNAM. Ciudad de México, México. Recuperado de: <https://www.cimat.mx/~pabreu/LuisRinconl.pdf>
- Serpell, A. y Verbal, R. (1990) *ANÁLISIS DE OPERACIONES MEDIANTE CARTAS DE BALANCE*. Revista de Ingeniería en Construcción. Santiago, Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado: <https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj7xviJg5TIAhUCheAKHXgmBJAQjhx6BAgBEAI&url=https%3A%2F%2Fwww.ricuc.cl%2Findex.php%2Fric%2Farticle%2Fdownload%2F337%2F280&psig=AOvVaw0QeVaeBaopPelGLEn6yB3v&ust=1570877021440369>

Saokheon, Y. et al. (2011) PRODUCTIVITY ANALYSIS OF STEEL WORKS FOR COST ESTIMATION OF PUBLIC PROJECTS IN KOREA. KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 16, N° 1. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/257774209_Productivity_analysis_of_steel_works_for_cost_estimation_of_public_projects_in_Korea

Truper (s.f) *INSTRUCTIVO: PLUMA HIDRÁULICA. MODELO: PHF-2.* Recuperado de: <https://www.truper.com/pdf/manuales/12888.pdf>

Vázquez, R. (2017) *APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING "5S" EN UNA EMPRESA DE REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS PARA LA MEJORA DEL TRABAJO. Proyecto final de graduación* p. 83. Universidad de Sevilla. Sevilla, España. Recuperado de: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30300/fichero/Proyecto+FC+Ra%C3%BAI+V%C3%A1zquez+Garrido+IOI.pdf>