



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE PUEBLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Colegio de Ingeniería Industrial

“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA TUGGER PARA
SUMINISTRO DE MATERIALES EN EL ÁREA DE
MAQUINADOS CONVENCIONALES DE UNA EMPRESA DEL
RAMO AUTOMOTRIZ A TRAVÉS DE METODOLOGÍA DMAIC”

T E S I S

**PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA
INDUSTRIAL.**

PRESENTA:

Jorge Vicente Medrano

Asesor:

M.A Karina Martínez Morales

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre Javiera Medrano Silverio y a mi padre Jorge Vicente Quero por apoyarme desde el principio, educándome e inculcándome muchos de los valores que son hoy en día la brújula de mi vida, gracias por todo su apoyo, su confianza y su amor incondicional. También quiero agradecer a mi hermana Miriam Denisse por todos tus consejos, tu ejemplo y tu apoyo incondicional. Los amo y los llevo en mi corazón.

Asimismo, quiero agradecer a Mónica Aideth Díaz Delgado mi novia desde hace 8 años, por tu apoyo, compañía y consejo durante mi vida personal y universitaria, no cabe duda de que una parte de este logro es debido a ti. Gracias por compartirme tu visión del mundo.

Quiero agradecer también a todos mis profesores que han logrado inspirarme a superarme todos los días, en especialme le agradezco a la profesora Esmeralda López y al maestro Román Ricárdez por incentivar en mí la excelencia desde una edad temprana, así como también las bases y el gusto por las ciencias exactas. De igual forma, agradezco profundamente a mis profesores durante la universidad y, además, asesores de este proyecto la M.A Karina Martínez, y al Ingeniero Luis Chávez, gracias por haberme otorgado parte de mi formación profesional, así como su tiempo y asesoría durante la realización de este proyecto.

También extiendo mi más sincero agradecimiento a la empresa en donde fue implementado el proyecto, por creer en mi potencial, y por darme la oportunidad y las herramientas para realizar mi primera experiencia profesional como ingeniero industrial. También agradezco a mi mentor durante el proyecto, por su guía y su paciencia durante la realización de este. Nada hubiera sido posible sin ustedes.

Finalmente, gracias a mi familia y amigos que han estado ahí para mí, para escucharme, darme un consejo o compartir bellos recuerdos.

RESUMEN

En el siguiente escrito se presenta la implementación de un proyecto logístico en el área de maquinados convencionales de una planta de la industria automotriz de embragues en Puebla, México. La problemática que se resuelve está enfocada en el suministro de materiales realizado con un sistema de montacargas, el cual, resulta ineficiente para abastecer las líneas productivas del área de maquinados debido a sus limitaciones de equipo. Adicionalmente, existen otras áreas en las cuales se busca una mejora con la aplicación de este proyecto, tales aspectos son: la baja eficiencia del sistema, el exceso de movimientos realizados durante las tareas de suministro y el mejorar la seguridad de los trabajadores del área operativa de la planta.

Para la resolución de esta problemática fue necesaria la sustitución del sistema por montacargas a otro esquema de abastecimiento, en este caso, por un sistema de tugging. La implementación es trabajada bajo la estructura de la metodología DMAIC; durante todo el proceso se utilizan herramientas de Seis Sigma y de la ingeniería industrial para dar soporte a las etapas de detección, análisis y mejora. Todo el desarrollo del proyecto se explica haciendo uso de gráficos, figuras y fotografías que permiten que el lector pueda hacer una comparación objetiva de la situación inicial del sistema de suministro de materiales por montacargas contra el sistema de tugging implementado.

Los resultados de la implementación son considerados satisfactorios al realizarse dentro de los límites de tiempo y presupuesto establecidos y cumpliendo el objetivo general del proyecto. Después de la implementación del sistema de tugging, todas las líneas de producción han podido habilitarse para su suministro con el nuevo sistema de abastecimiento.

Palabras clave: *Seis Sigma, tugging, montacargas, abastecimiento, eficiencia, seguridad industrial, line-back planning, DMAIC.*

ABSTRACT

The following paper presents the implementation of a logistics project in the area of conventional machining of a plant in the automotive clutch industry in Puebla, Mexico. The problem that is solved is focused on the supply of materials made with a forklift system, which is inefficient to supply the production lines of the machining area due to its equipment limitations. Additionally, there are other areas of opportunity in which an improvement is possible with the application of this project, such aspects are: the low efficiency of the system, the excess of movements made during the supply tasks and the improvement of the workers' safety in the operational area of the plant.

For the resolution of this problem it was necessary to replace the system with forklifts to another supply scheme, in this case, a tugger train system. The implementation is worked under the structure of the DMAIC methodology; Six Sigma and industrial engineering tools are used throughout the process to support the detection, analysis and improvement stages. The entire development of the project is explained using graphics, figures and visual evidence that allow the reader to make an objective comparison of the initial situation of the material supply system with a forklift against the final situation with the implemented tugger system.

The results of the implementation are considered satisfactory because were accomplished within the established time and budget limits and fulfilling the general objective of the project. After the implementation of the tugger system, all the production lines have been able to be enabled for supply with the new supply system.

Keywords: Six Sigma, tugger, forklift, supply, efficiency, industrial safety, line-back planning.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT	4
ÍNDICE	5
CAPÍTULO I.....	8
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos	14
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	15
ALCANCES.....	15
LIMITACIONES	16
CAPÍTULO II	17
MARCO TEÓRICO	18
La industria automotriz en Puebla, México.....	18
Implementación de sistemas de abastecimiento por tugging	20
Transmisiones y embragues	22
Herramientas de Seis Sigma utilizadas en el proyecto.....	26
METODOLOGÍA	34
Lean Seis Sigma (DMAIC).....	34
Line-back planning.....	36
CAPÍTULO III.....	37
Definir:	38
Área de implementación del proyecto.....	38
Situación actual	39
Proceso de abastecimiento	40
Requerimientos del cliente	41
Características clave para satisfacer al cliente	41
Cronograma de actividades	44
Acta de constitución del proyecto	45

Medir	46
Paros de producción en área de maquinados convencionales ocasionados por falta de material.....	46
Paros productivos causados por el montacargas en área de bujes	48
Paros productivos causados por el montacargas en área de volantes	49
Paros productivos causados por el montacargas en área de platos.....	50
Eficiencia durante suministro de materiales.....	51
Piezas críticas para suministro	53
CAPÍTULO IV.....	54
Analizar	55
Posibles causas de la baja eficiencia en el suministro.....	55
Puntos de abastecimiento	57
Clasificación de bases para material	59
Bases con características especiales	62
Materiales sin base	66
Inventario de bases en área de maquinados.....	67
Vagones en el tugger y PSA.....	69
Cantidad total de vagones para funcionamiento de Tugger	70
Ruta y tiempo de ciclo de tugger.....	73
Situación inicial de área de suministro de producción	76
Corrida de prueba del tugger (Análisis Gemba).....	81
Simulación de sistema de suministro	82
Mejorar.....	85
Condiciones de las bases	85
Inversión realizada en los vagones.....	87
Adaptación de área de suministro de producción.....	90
Flujo de tugger por los pasillos	93
Sustitución del sistema de suministro por montacargas	94
Diagrama de Espagueti de tugger.....	95
Eficiencia de suministro de actividades con tugger	97
Controlar	99
Rotulado y pintado de vagones	99

Inversión total de proyecto de implementación de ruta de tigger.....	100
Recuperación de la inversión	100
Análisis de Modo y Efecto de Fallos (AMEF).....	101
Matriz de responsabilidades (RACI).....	104
CONCLUSIONES	105
ANEXOS:	108
ÍNDICE DE FIGURAS.....	111
ÍNDICE DE GRÁFICOS.	112
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES E IMÁGENES.....	113
REFERENCIAS	114

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Podría pensarse que una actividad tan extensa como la logística sería tan conocida como otras disciplinas profesionales, como sucede en el caso de la mercadotecnia, ventas, finanzas o leyes. Sorprendentemente no es así. Como el movimiento no cambia la apariencia de un producto, mucha gente olvida que el proceso de empaque, el manejo de materiales, el almacenamiento y el transporte le agregan valor a un producto. Una pieza de fabricación en Alemania, cuyo destino final de ensamble es Estados Unidos, es de poco valor hasta que se encuentre en las instalaciones del fabricante en el momento correcto, en el lugar correcto y en las condiciones correctas. (Christopher, 1999a, pp. 42–43)

El mercado actual requiere que las empresas manufacturas cuenten con eficiencia, flexibilidad, calidad y competitividad en costos. En ese aspecto, la logística juega cada vez un papel más importante en el alcance de estos resultados.

Cuando se piensa en logística, es probable que lo primero que llegue a la mente sean los grandes barcos trasatlánticos que transportan cientos de contenedores, o tal vez las camionetas de distribución urbana que se encargan de llevar un producto directamente hasta la puerta de un domicilio. Estas actividades están enfocadas en un cliente externo o cliente último y la mayoría de las investigaciones en el área logística se realizan bajo este enfoque, no obstante, también existen otros procesos logísticos focalizados en la satisfacción de los clientes internos de cada empresa, uno de estos clientes son las actividades logísticas de aprovisionamiento y el otro son las actividades logísticas de manufactura, a este último se le conoce también como logística en planta o logística interna. (Novack, Rinehart & Jr Langley, 1994)

La logística interna está directamente relacionada al ciclo de actividades de apoyo al proceso de fabricación, es decir, a la planificación y control de la producción, y tiene como responsabilidades operacionales el manejo y almacenaje de los productos, materiales, componentes y piezas semiacabadas (Bowersox & Closs, 2008). En un estudio realizado en 2007 por Hiregoudar y Reddy, se concluyó que el manejo de materiales constituye el 25%

de los trabajadores, el 55% del área de la fábrica y el 87% del tiempo de producción, razón por la cual las aplicaciones logísticas en la planta y el diseño del sistema de manejo de materiales son muy cruciales en términos de reducción de desperdicios¹ durante el abastecimiento de materiales.

En el presente escrito se encuentra la planeación, la ejecución y los resultados de la implementación de un tigger en el área de maquinados convencionales de una empresa del ramo automotriz, este incluye las consideraciones técnicas para el inicio de operaciones del sistema, tales como la ruta de abastecimiento o la definición de un tiempo de ciclo, así como también las consideraciones para la ejecución del proyecto como el tiempo y el presupuesto disponible. La idea de implementación surge como iniciativa del área logística de la empresa por mejorar las condiciones del abastecimiento de materiales. El desarrollo de este proyecto fue llevado de la mano del área de análisis de procesos bajo la metodología de Seis Sigma. El proyecto tuvo exámenes periódicos por un jurado bajo una rubrica de evaluación, en su conclusión tuvo la aprobación del jefe del área del área de análisis de procesos y el jefe del área logística; los resultados finales fueron presentados al gerente general de la planta de donde se implementó el proyecto.

Se espera que los resultados aquí mostrados puedan servir como guía para las personas u organizaciones interesadas en mejorar sus procesos de suministro de materiales a través de la implementación de un sistema de abastecimiento por tigger.

¹ Refiriéndose a los 7 tipos de desperdicios de manufactura: Sobreproducción, inventarios, transporte, movimientos innecesarios, tiempos de espera, procesos innecesarios, defectos. (Pérez Rave et al., 2011)

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el área de maquinados convencionales de una empresa fabricante de transmisiones en Puebla se realiza el maquinado de 4 componentes de embrague los cuales son: estatores, bujes, platos y volantes. Cada línea productiva se abastece con diferentes materias primas, las cuales después un proceso de maquinado deben ser recolectadas de su respectiva estación de trabajo, esta labor es realizada por un abastecedor definido exclusivamente para el área de maquinados, el responsable utiliza un montacargas contrabalanceado de la marca Raymond (Anexo 4), con el cual, se abastecen los 3 turnos productivos del área de maquinados convencionales. Existen 4 problemas de abastecimiento de materiales relacionados al suministro por montacargas, el principal tiene que ver con que el equipo de abastecimiento es insuficiente para suministrar las líneas productivas de estatores, esto debido a que los componentes que se utilizan para ese maquinado son muy pequeños y, por ende, deben de ser suministrados en contenedores que el montacargas no puede manipular. En consecuencia, se ha recurrido a la logística del área de ensambles para realizar este suministro, lo cual ha ocasionado una sobrecarga de trabajo en el abastecedor de esa área, ya que esa actividad no fue calculada en su ruta inicial de abastecimiento. Adicionalmente, existen otros 3 problemas con el sistema de abastecimiento por montacargas en el área de maquinados convencionales.

- El exceso de viajes que tiene que realizar un montacargas para suministrar una línea de producción, esto debido a su capacidad de carga de solo 2 contenedores *GLT*² estibados por viaje.
- La falta de un orden durante la entrega de materiales a las líneas de producción, ya que la prioridad de entrega depende completamente del abastecedor, ocasionando paros de línea productivos.
- El riesgo constante de accidentes al que se encuentra expuesto todo el personal que labore en el área productiva, ya que un montacargas es un equipo riesgoso para la seguridad. Estadísticas muestran lo peligrosos que pueden llegar a ser estos equipos,

² GLT: Del alemán Großladungsträger se refiere a contenedores de carga pesada de dimensiones mayores a 80x120x60cm (Información corporativa, 2019)

en los Estados Unidos alguien muere en un accidente relacionado con un montacargas cada 3 días (Bostelman, 2009).

JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto pretende poner en práctica los conocimientos y conceptos sobre la logística, el manejo de materiales y los sistemas de información, adquiridos en la licenciatura de ingeniería industrial de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en una empresa del ramo industrial automotriz, lo cual resultará de gran beneficio para ambas partes involucradas en la elaboración de este proyecto, por una parte, como un primer acercamiento profesional como alumno y por otra parte, debido a la gran utilidad que tendrá el aplicar la metodología DMAIC para la implementación de un sistema de suministro de materiales en la empresa.

La razón para realizar un proyecto de mejora en el departamento de logística de esta empresa se remonta a la llegada de líneas de producción de estatores en el año 2018, las cuales han entrado como parte de la estrategia de disminución de los volúmenes de producción del embrague de bidisco, para así enfocarse en aumentar la producción del embrague tipo cadena CVT³, siendo esto realizado para seguir las tendencias del mercado y reorientar el enfoque de la producción hacia los nuevos acuerdos comerciales que esta empresa ha realizado en los últimos años, el resultado de estos acuerdos se traduce en tener que trabajar con un tipo de maquinado nuevo para la planta 1 de Puebla, lo cual requiere muchas adaptaciones en las áreas productivas y logísticas. Una de estas adaptaciones, y sobre la cual se trabajará en el presente proyecto será la de reemplazar el actual sistema de suministro de materiales, con lo cual, se busca atacar problemas de eficiencia en la realización de actividades de abastecimiento hechas por el montacargas y los paros de línea relacionados a esa ineficiencia, problemas que ya existían desde antes de la llegada de las líneas de estatores y que pueden ser minorizados con una correcta planeación e implementación del nuevo sistema de tugging.

³ Transmisión de variación continua de la velocidad (Márquez, 2004)

La importancia de tener una transición de un sistema de suministro de materiales de montacargas a uno por tigger desde febrero del 2019, radica principalmente en la prevención y la mejora continua, ya que, en el último trimestre del año 2019, llegarán nuevas líneas de estatores, las cuales también tendrán que ser alimentadas mediante contenedores que el montacargas no puede manipular, lo cual haría que los problemas que se plantearon en el apartado anterior se intensifiquen, razón por lo cual es justificable una inversión de hasta 50,000 dólares en un nuevo sistema de suministro capaz de adaptarse a las próximas necesidades de abastecimiento. No obstante, es importante aclarar que a pesar de que la implementación realizará mayoritariamente a medida de prevención, el análisis costo-beneficio de la implementación se hará de acuerdo con la situación actual, siendo así que los ahorros generados por este proyecto pudieran ser aún mayores cuando la llegada de las líneas de estatores esté completada.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

- Implementar un sistema de suministro de materiales por tugging en el área de maquinados convencionales de una empresa del ramo automotriz en Puebla antes del 31 de mayo del 2019.

Objetivos Específicos

- Acondicionar el almacén del área de suministro de producción para tener una recolección de materiales eficiente con el tugging.
- Definir una ruta mediante la cual el tugging estará abasteciendo las líneas de producción para reducir el número de movimientos innecesarios realizados durante el suministro de materiales.
- Analizar la situación actual las bases de material existentes y adaptarlas para funcionar con el suministro de materiales hecho por tugging.
- Realizar las adaptaciones al área de maquinados convencionales necesarias para permitir el tránsito eficiente del tugging por los pasillos.
- Disminuir la cantidad de tiempo dedicado a actividades que no generan valor durante el suministro de materiales.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Por qué es conveniente utilizar un sistema de suministro de tugger en un área de producción de maquinados?

¿En qué medida se verá disminuido el porcentaje de actividades de abastecimiento que no genera valor al pasar de un montacargas a un Tugger?

¿Cuáles son los factores más importantes para tener éxito en una implementación de un sistema de tugger?

¿Cuáles son las adaptaciones que se tienen que realizar en una planta de producción para poder realizar en una implementación de Tugger?

¿Qué se puede hacer en una planta que ya cuenta con un sistema de suministro de Tugger para mejorar su eficiencia?

ALCANCES

Existen múltiples factores que pueden afectar a la eficiencia de un sistema de suministro de materiales para la producción, sin embargo, a lo largo de este proyecto sólo se trabajará bajo el enfoque logístico interno exclusivamente en el área de maquinados convencionales de la empresa. Se considera dentro del alcance de este proyecto el flujo de todo material que se encuentre a disposición logística desde el área de suministro para la producción, hasta su llegada a alguna de las dos zonas de liberación del área de maquinados convencionales. También se encuentra dentro del alcance el reacondicionamiento de las bases de materiales para que estas puedan funcionar con el suministro de tugger. Por último, se encuentran dentro del alcance del proyecto todas aquellas modificaciones al lay-out y PSA⁴ que se tengan que hacer para que el tugger pueda transitar de manera segura y eficiente en el área de maquinados convencionales.

⁴ PSA: Área de suministro para la producción (Información corporativa, 2019)

LIMITACIONES

Como limitaciones de este proyecto se encuentra todo el flujo de materiales anterior al área de suministro para la producción y posterior a las 2 zonas de liberación, así como también queda fuera del alcance el flujo de materiales interno entre cada proceso y el rebalanceo de líneas. Otro aspecto importante es que tampoco se harán propuestas ni modificaciones a la base de datos en el software S.A.P ⁵de la empresa debido a políticas internas. Como última limitación, todo el proyecto debe de ser realizado con un presupuesto no mayor a 50,000 dólares en un plazo de 3 meses que abarcarán desde el 11 de marzo al 31 de mayo del 2019

⁵ S.A.P es una empresa multinacional alemana dedicada al diseño de productos informáticos de gestión empresarial (SAP, 2019)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

La industria automotriz en Puebla, México.

Actualmente, México es uno de los referentes mundiales en lo que se refiere a la producción automotriz, tan solo en el 2015 tuvo una producción de 3.6 millones de vehículos automotores siendo así el 7^a productor más importante del mundo en ese año (Durán & Fundación Friedrich Ebert, 2016). La razón por la cual México ha sido tan atractivo para la inversión de capitales privados se debe principalmente a su infraestructura, costos de manufactura y a sus acuerdos comerciales, los cuales han permitido exportar los autos producidos en México a E.E.U.U y Canadá principalmente (ProMéxico, 2016), esto ha disminuido la dependencia de México sobre la producción de combustibles fósiles del siglo pasado y ha permitido un mayor desarrollo en el sector de la manufactura.

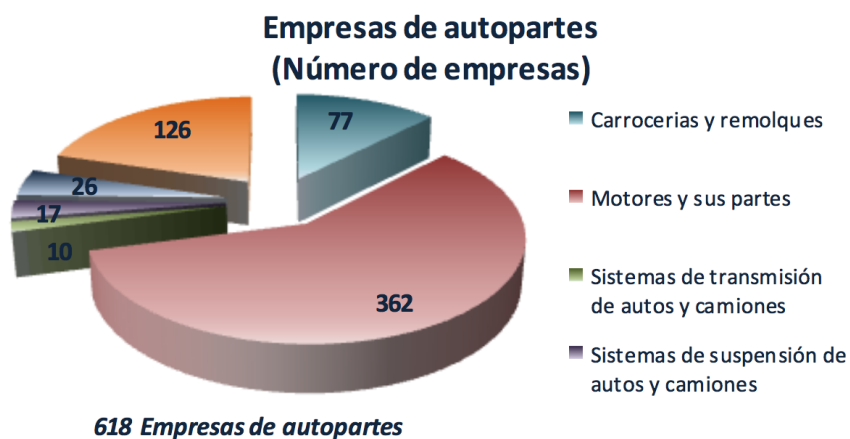
El desarrollo del sector automotriz manufacturero tiene sus orígenes en el año 1921 con la llegada de la primera ensambladora de partes de la empresa Buick a la Ciudad de México, posteriormente, en el año de 1925 este crecimiento continuó con la llegada de Ford Motor Company la cual era capaz de lograr una producción de hasta 100 autos al día. Más adelante, en 1938, llega la ensambladora de General Motors, después, se funda Nissan en México con la apertura de su primera instalación de fabricación fuera de Japón en 1961 (Chávez López & Garnica Flores, 2007) y fue finalmente hasta enero de 1964 cuando llega el grupo automotriz Volkswagen de México al estado de Puebla, iniciando en junio de 1965 la construcción de la planta de producción del auto popularmente conocido como “Vocho”. (Grupo Volkswagen, 2018).

La Industria Automotriz regional en el Estado de Puebla y sus alrededores, se han convertido en un clúster manufacturero, en el sentido que la industria regional se refiere a las empresas interconectadas y organizaciones en una región específica que a través de las relaciones cooperativas y competitivas tienen una infraestructura de apoyo a las empresas localizadas y una visión compartida, tratando de formar sinergias para sí mismos y su industria local en particular. (Arbuthnott & Von Friedrich, 2013). Este clúster automotriz poblano tiene la mayor contribución al PIB estatal en la industria manufacturera (26,6%) y es el mayor

receptor de clúster de la inversión extranjera (81,4%) (Sintonía, 2013). Esta tendencia de inversión se ha mantenido en crecimiento, siendo así que, en el año 2017, se inauguró la primera planta premium de la industria automotriz en Puebla, la cual viene también a cargo del grupo Volkswagen bajo la marca Audi, la llegada de esta ensambladora al estado fue impulsada por una cadena de 180 proveedores que se instalaron en 50 fábricas cerca de la planta en Puebla. (El Financiero, 2015).

De acuerdo con información del Sistema Empresarial Mexicano (SIEM), en territorio nacional se encuentran más de 600 empresas de autopartes de primer, segundo y tercer nivel las cuales son parte fundamental de la cadena de valor generada por la industria automotriz. Dentro de las empresas de autopartes se encuentran las fabricantes de motores, carrocerías, sistemas de transmisión y de suspensión de autos y camiones (Secretaría de Economía, 2012).

Ilustración 1. Empresas de autopartes en México



Fuente: elaborado con información del Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM).

Actualmente la industria automotriz y de autopartes en México se encuentra en un momento de crecimiento, incluso frente a un ambiente internacional difícil, con frecuentes llamados a revisión y los retos que significan una mayor competencia y el desarrollo de nuevas investigaciones y tecnologías. A pesar de este entorno, diversos expertos a nivel internacional consideran que en algunos años México se posicionará como el sexto productor de vehículos

a nivel internacional y el tercer exportador de vehículos ligeros, superando en la producción a países como Brasil, Corea e India. (ProMéxico, 2016)

Implementación de sistemas de abastecimiento por tugger

En la industria automotriz, los sistemas de trenes de remolque desempeñan un papel vital en el suministro de la producción y son utilizados en los principales OEM⁶. Los Tugger son camiones industriales operados manualmente que conducen continuamente en rutas fijas y que se detienen en destinos donde un contenedor de carga lleno se debe suministrar o donde uno vacío se debe recoger. Esto permite un suministro de alta frecuencia justo a tiempo de material que permite una sincronización con el flujo de materiales y el ciclo de ensamble. Como resultado, se puede obtener una mejora significativa de los indicadores clave de rendimiento, como el tiempo de ciclo (Alnahhal & Noche, 2013)

A pesar del uso generalizado de trenes de tugger, no hay estándares definidos todavía y una gran variedad de técnicas han sido utilizadas para su implementación (Baerwolff, 2011). Manuales de implementación de un sistemas de tugger han sido descritos en libros o artículos considerando todo el proceso de planeación y dando soporte a ciertos aspectos con guías básicas (Günthner & Keuntje, 2016; Günthner & Boppert, 2014). Sin embargo, existen muchas variaciones en implementaciones pasadas, por ejemplo, la asociación de ingenieros alemanes (2016), presentó una propuesta para implementar un tugger, no obstante, esta implementación no contempló la ergonomía.

Otros autores han intentado estandarizar el proceso de implementación (Droste & Deuse, 2011; Kelterborn, 2017), en estos fueron descritos modelos para calcular un tiempo de ciclo de acuerdo con un sistema de control de tiempos MTM⁷, a pesar de que este sistema permite medir en detalle la ergonomía de la manipulación de pequeños contenedores de carga, se ha

⁶ OEM: Fabricante original de equipo (Lund & Skeels, 1983)

⁷ MTM: Métodos medición de tiempos (Kuhlang, Mair & Sihn, 2011)

demostrado que para la evaluación de contenedores de carga pesados (+200Kg) existen importantes diferencias técnicas.

En este campo también se ha demostrado que la simulación es una buena herramienta para detectar posibles bloqueos o atascos de tráfico durante la circulación que puede tener un efecto significativo en el cálculo del tiempo de ciclo de un sistema de tugging; Sin embargo, este no cuenta con todos los detalles técnicos para su completa implementación (Staab et al., 2016).

De acuerdo con Keuntje, Christopher., Hormes, Fabian, & Fottner, Johannes (2018), ni los trabajos relacionados con todo el proceso de planificación de un sistema de tugging, ni los que se centran en aspectos parciales de la planificación, son capaces de apoyar al planificador lo suficiente cuando se trata de la especificación de detalles técnicos de tugging para el suministro de transportadores de carga pesada. Los mayores déficits metodológicos con respecto a la consideración de detalles técnicos se encuentran en el cálculo de los tiempos de ciclo y la evaluación ergonómica de las alternativas de planificación. Debido a la situación descrita, la planificación detallada de un sistema de suministro por tugging a menudo se basa en el conocimiento práctico del planificador o debe basarse en un enfoque de prueba y error (Martini & Stache, 2015).

Transmisiones y embragues

El motor es el encargado de proporcionar la fuerza necesaria para el desplazamiento del vehículo. Para este fin, se dispone de un conjunto de órganos mecánicos cuya misión es transmitir el giro del motor a las ruedas. A este conjunto se le denomina transmisión, que básicamente está formado por los siguientes elementos:

- Embrague
- Caja de cambios
- Eje (árboles) de transmisión
- Grupo reductor
- Conjunto diferencial
- Palieres y bujes

El embrague se encuentra situado entre la caja de velocidades y el motor del automóvil y se encarga de transmitir o cortar la transmisión de par desde el motor hasta las ruedas a voluntad del conductor, para poder realizar los cambios de marchas o poder arrancar (Shaver, 1995).

Existen diferentes tipos de embrague, que básicamente se pueden clasificar en tres grupos:

- a) **De fricción:** Se basan en la unión de dos discos que al adherirse forman un solo conjunto solidario.
 1. Monodisco. Son los más utilizados en turismo y gran parte los vehículos industriales.
 2. Bidisco. Los embragues de doble disco en seco se suelen utilizar en vehículos deportivos o industriales de elevado tonelaje.
 3. Multidisco. Los embragues que trabajan en baño o en niebla de aceite se suelen utilizar como embragues de láminas en cajas automáticas, máquinas para obras, vehículos especiales y, sobre todo, en motocicletas.
- b) **Centrífugos.**
- c) **Electromagnéticos.** Su funcionamiento se basa en los efectos de la acción de los campos magnéticos. Son los menos utilizados.
- d) **Hidráulicos.** Son los que utilizan como elementos de unión el aceite y se utilizan habitualmente en vehículos que equipan cambios de velocidades automáticos.

El embrague de fricción monodisco de accionamiento manual consta de los siguientes elementos:

- **Volante de inercia**
- Disco de embrague
- Maza de embrague o **plato de presión**
- Collarín
- Sistema de accionamiento

Estos componentes estructurales del embrague se suelen fabricar convencionalmente de fundición de hierro, aluminio(volante) o acero, y de aleaciones especiales de acero, titanio o carbono (carcasa) en aplicaciones deportivas.

Por fines de dar un marco de referencia al lector, se explicará brevemente la función de los elementos en un embrague de fricción de monodisco, los cuales son muy parecidos a los manipulados en la empresa de aplicación del proyecto.

Volante de inercia:

El volante de inercia es el elemento transmisor del par motor al conjunto de embrague. El volante de inercia va atornillado al cigüeñal del motor y actúa como un acumulador de energía cinética, regularizando las oscilaciones torsionales del giro del motor producto del mecanismo biela-manivela; es decir, suaviza el flujo de energía entre una fuente de potencia y su carga.

Ilustración 2. Volante de inercia

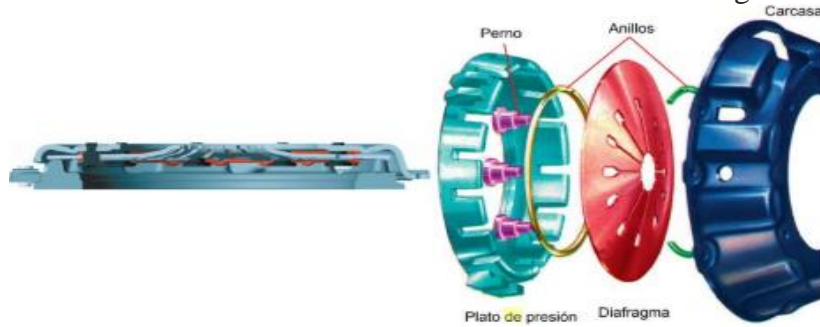


Fuente: Sistemas de transmisión y frenado (Casado, Navarro & Morales, 2011, pp. 8)

Maza de embrague:

La maza de embrague forma un sistema de fricción con el volante y el disco de embrague. Está atornillada al volante de inercia. Consta de una carcasa, un sistema de empuje (normalmente un diafragma) y un plato de presión

Ilustración 3. Constitución de la masa de embrague



Fuente: Sistemas de transmisión y frenado (Casado, Navarro & Morales, 2011, pp. 8)

Disco de embrague (buje):

El disco de embrague está situado entre el volante de inercia y el plato de presión. Tiene como misión transmitir al eje primario el cambio de movimiento que recibe del volante. Para ello, el disco de embrague dispone de unos forros de fricción que son los que generan esa transmisión de fuerza mediante el rozamiento. Su estructura básica consiste en un disco de acero, montado en un buje estriado que a la vez se ensambla al eje primario del cambio; el estriado permite que el disco se desplace unos milímetros de manera axial durante las fases de embragado y desembragado

Ilustración 4. Constitución de disco de embrague



Fuente: Sistemas de transmisión y frenado (Casado, Navarro & Morales, 2011, pp. 14)

A diferencia de las demás partes analizadas anteriormente, el estator es un componente de un embrague hidráulico. A continuación, se explica su función dentro de este tipo de embrague.

Embrague hidráulico:

El embrague hidráulico se utiliza en vehículos con caja de cambios automática y funciona como un embrague automático, por lo tanto, los vehículos que disponen de este tipo de embragues no tienen pedal. Este tipo de embrague utiliza la fuerza centrífuga del aceite para transmitir energía desde el motor a la caja de cambios.

En la práctica se usan dos tipos de embragues accionados hidráulicamente:

1. Embrague hidráulico
2. El convertidor de par.

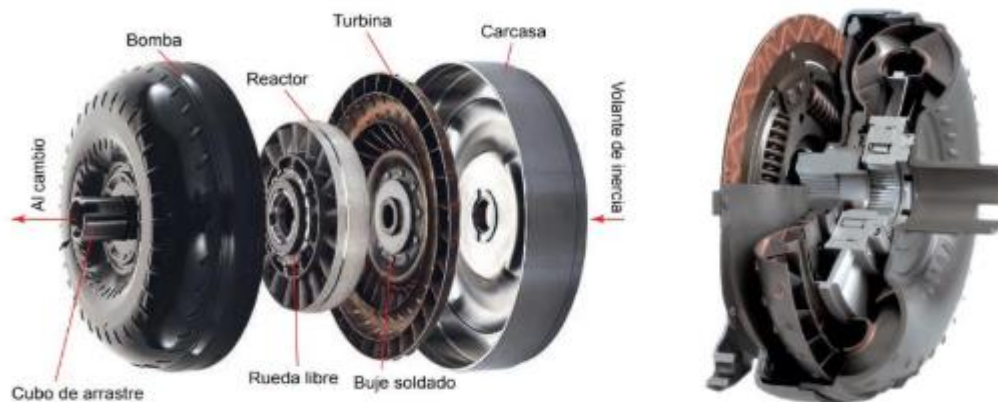
Convertidor de par (estator o reactor)

El principio de funcionamiento del convertidor hidráulico de par es similar al de un embrague hidráulico, pero existen varias diferencias importantes, como:

- a) Incorpora un tercer elemento situado entre la bomba y la turbina, denominado como estator o reactor. La función de este elemento es modificar las características de interacción entre bomba y turbina en la zona del trabajo con deslizamiento más grande.

... (Casado, Navarro & Morales, 2011, pp. 8–40)

Ilustración 5. Constitución de convertido hidráulico de par



Fuente: Sistemas de transmisión y frenado (Casado, Navarro & Morales, 2011, pp. 40)

Herramientas de Seis Sigma utilizadas en el proyecto

Diagrama de Espagueti

El diagrama de espagueti funge como detector de patrones de comportamientos locos que se presenten en la producción. Así mismo es un método que permite ver los movimientos del objeto en el sistema con ayuda de una línea y su propósito es examinar el flujo existente antes de diseñar uno nuevo. Dentro de este diagrama es posible que se usen varios colores en las líneas si se tienen diversos productos, trabajadores, etc.

Después de un análisis se pueden detectar la longitud de un movimiento, el número de movimientos, movimientos cruzados con sus respectivas características acorde a la clasificación que se haya elegido. Por lo tanto, aplicar el resultado de un diagrama de espagueti, nos ayuda a identificar movimientos ineficientes y áreas ineficientes, la eliminación de número de personal y hacer cambios en la organización del trabajo o lay-out del área de trabajo. (Senderská-Mareš-Václav, 2017)

Diagrama SIPOC

Este diagrama es una herramienta que ayuda a definir más nuestro proceso, y nos ayuda a familiarizarnos más rápido con los procesos a un nivel organizacional y comprender visualmente el alcance del proyecto, de manera que muestra proveedores, entradas, pasos principales de los procesos, salidas y clientes. La identificación de los requerimientos del proveedor es importante para poder establecer el principal proveedor, cliente, producto o servicio utilizado y el proceso que lo crea; así mismo identifica los requerimientos del producto o servicio del proveedor, hay que conocer que quieren en términos de bueno, rápido y económico.

Es este tipo de diagrama muestra variables de entrada del proceso (x) se miden y las variaciones se controlan de modo que las variaciones resultantes en la respuesta de salida (y) se reducen correspondientemente. Los efectos de las variaciones de entrada en salida se exploran a través de herramientas de calidad como diagramas de causa y efecto, matrices de relación, matrices de causa y efecto, diagramas de dispersión, diseño de experimentos, etc. (Arthur, 2011; Munro, Ramu & Zrymiak, 2015)

Voz del cliente:

La voz del *cliente* o por sus siglas en inglés VOC es el proceso para capturar información relacionada con el cliente. Este proceso es proactivo e innovador para capturar los requisitos, necesidades y deseos del cliente establecidos, no declarados y anticipados. El VOC ayuda al negocio a enfocar el esfuerzo de mejora de manera que logre mejoras revolucionarias en velocidad, calidad y costo que sirvan al cliente. Además del VOC están presente la voz del negocio (VOB) y la voz del empleado (VOE), las cuales pueden desarrollar una historia de mejora maestra que vincula y alinea múltiples equipos y esfuerzos de mejora para lograr saltos cuánticos en la mejora del rendimiento.

El objetivo principal es la lealtad del cliente y la construcción de relaciones con los clientes, según corresponda. Esto quiere decir que el VOC tiene la capacidad de incluir la recopilación e integración de datos de encuestas, hallazgos de grupos focales, datos basados en la web, datos de garantía, registros de quejas e informes de campo y cualquier otro dato e información que afecte las decisiones de compra y relación del cliente.

Uno de los principales impulsores de la organización es el conocimiento del cliente y del mercado ya que la capacidad de una organización determina los requisitos, necesidades, expectativas y preferencias de los clientes y los mercados. De manera semejante son necesarias las relaciones con los clientes y la capacidad de determinar los factores clave ya que nos orientan a la adquisición, satisfacción, lealtad y retención del cliente, y a la expansión y sostenibilidad del negocio. (Arthur, 2011; Munro, Ramu & Zrymiak, 2015)

Despliegue de la función calidad (QFD)

El despliegue de la Función de Calidad es una metodología de planeación que introduce el control de calidad en la etapa del diseño / desarrollo de un producto o servicio; es un mecanismo formal para asegurar que la “Voz del cliente” sea escuchada y tomada en cuenta en todas las etapas del desarrollo del producto o servicio.

El QFD es una metodología simple y lógica que envuelve a un conjunto de matrices. Estas matrices ayudan a determinar exactamente lo que el consumidor desea, así como analizar el nivel en que la competencia está satisfaciendo a esos clientes y donde existen nichos en el mercado, que aún no han sido explotados.

La aproximación del QFD usada básicamente, es en concepto similar a la práctica seguida por la mayor parte de las compañías manufactureras americanas. Empezamos con los requerimientos del cliente, los cuales usualmente son indicados vagamente en expresiones como: luce bien, fácil de usar, trabaja bien, se siente bien, seguro, cómodo, durable y lujoso o elegante. Esto es muy importante para el cliente, pero desafía la cuantificación, lo que resulta difícil para la compañía que actúa sobre el problema, por lo que es necesario convertir esos requerimientos cualitativos en requerimientos cuantitativos aplicables a cada etapa del desarrollo del producto. Además, es necesario determinar si las características cualitativas sobre las que se trabajará en las siguientes etapas son las que realmente desean nuestros clientes, y si fueron realmente los clientes a los que está dirigido el producto quienes expresaron dichos requerimientos y más aún, si realmente tenemos definido el objetivo real para la aplicación de dichas características (Muños, 2007).

Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt es una herramienta que ayuda en la planeación del proyecto y su monitoreo. Existen otros instrumentos para apoyarse en la planeación del proyecto, esto va a ser determinado según ya el tamaño y el alcance que exista. Usualmente los proyectos que son más grandes tienen más documentación, ya que toman más tiempo y gastan más recursos. La documentación del proyecto se controla y mantiene (es decir, se actualiza) durante el ciclo de vida del proyecto de mejora. Hay muchos programas de software que pueden ayudar en este esfuerzo.

Carta de proyecto (Project Charter)

Como deriva de su nombre, una carta de proyecto es un documento que establece los propósitos del proyecto a realizarse. Sirve como un contrato informal que ayuda al equipo a mantenerse al día con los objetivos de la organización. Por lo que cada carta debe de contener al menos los siguientes puntos:

- ✓ Planteamiento del problema: En esta declaración se debe de proyectar lo que ha de mejorarse.
- ✓ Propósito: Establece las metas y objetivos del equipo.
- ✓ Beneficios: Nos dirá cómo le irá mejor a la empresa cuando este alcance los proyectos establecidos.
- ✓ Alcance: Proporciona limitaciones del proyecto en términos de presupuesto, tiempo y otros recursos.
- ✓ Resultados. Define los criterios y las métricas para el éxito del proyecto, incluyendo las medidas de referencia y las expectativas de mejora.

(Munro, Ramu & Zrymiak, 2015)

Gráfica de pastel

Es una representación circular que se encuentra dividida y que cada una de esas partes divididas es proporcional al número de datos que hay en cada categoría, permite de una manera sencilla y rápida su comparación. Dicho esto, es importante destacar que no deben utilizarse para mostrar muchas categorías, son más útiles cuando las categorías son pocas. Este gráfico suele representarse en porcentajes, la suma de las proporciones no debe exceder al 100% el círculo en sí representa la totalidad que se quiere observar. Se recomienda no usar estas gráficas en tres dimensiones ya que pueden distorsionar y falsear la información. (UNAM, S.f)

Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una de las herramientas clave que nos ayuda a resolver problemas con defectos, nos ayuda a enfocarnos en la raíz del problema. Cuando los problemas logramos reducirlos es posible que puedan ser corregidos de una manera más fácil y efectiva. Para poder realizar esta disminución se utiliza el diagrama de Pareto ya que nos identifica el problema más importante para mejorar primero. Si queremos llegar a ser lo suficientemente específico para poder analizarlos mejor, se pueden usar más de dos diagramas de Pareto.

Dependiendo del tipo de información que nosotros pongamos al diagrama, será el tipo de problema que nos va a analizar, como pueden ser los siguientes:

1. Tipos de defecto
2. Pasos o demoras de un proceso
3. Tipo de costo sea retrabajo o desperdicio.

(Arthur, 2011)

Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa o también conocido como de causa y efecto o diagrama de espina de pescado, es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que lo generan, en otras palabras, ayuda a retornar a las causas raíces del problema para poder hacer un diagnóstico. Existen dos tipos principales de este tipo de diagrama, la primera es una versión que sea personalizada de lo genérico como pueden ser personas, procesos, máquinas, materiales, medida y medio ambiente.

La otra versión es de un proceso paso a paso que da inicio con el primer paso y funciona hacia atrás, porque los errores al principio del proceso a menudo causan los mayores efectos.

También se puede utilizar para completar la lista final de causas de una sesión de lluvia de ideas. Los participantes en la sesión deben incluir personas con un conocimiento práctico del proceso, así como aquellos con antecedentes teóricos. (Munro, Ramu & Zrymiak, 2015; Arthur, 2011).

Diagrama de los 5 porqués

Es una técnica que explora un problema por medio de la Causa-efecto por medio de preguntas repitiendo 5 veces la sencilla pregunta “¿Por qué?” durante la fase de análisis de problemas para así encontrar las posibles causas del problema. Para la aplicación de este se necesita que se pregunte el “¿Por qué?” por lo menos cinco veces o bien que sea trabajado de cinco niveles de detalle para que funcione, además es recomendado que sea realizado en equipos pequeños. (M. Muñoz. S. f; J. Morales, 2013).

Análisis Gemba

Se define como el lugar real donde sucede el trabajo. Para que se tenga una mayor efectividad el esfuerzo kaizen se hace con el Gemba con aquellos individuos y operadores que lo conocen mejor. Como herramienta para llevar a cabo Gemba Kaizen, los miembros del equipo usan una lista de verificación, esta lista incluye puntos como eliminar movimientos innecesarios, reducir el movimiento ocular, combinar operaciones, mejorar el lugar de trabajo, mejorar herramientas, plantillas, máquinas. El Gemba Kaizen no es más que un punto de partida para llevar a Kaizen a procesos ascendentes como el diseño, la planificación y el marketing. (Munro, Ramu & Zrymiak, 2015)

Simulación Industrial

En la industria es una herramienta que puede ser usada para múltiples puntos como el poder disminuir riesgos y optimizar la toma de decisiones empresariales, evaluación de inversiones en tecnología, personal e instalaciones, así como para planificar, analizar y mejorar los procesos de la empresa. Además, puede ser transversalizada en áreas de logística, transporte, servicio e instalaciones y procesos industriales. Cuando se quiere profundizar en variables, representar un funcionamiento para un proceso que exista o no y sea futuro, los modelos de simulación nos permiten ver que variable nos puede afectar más, así mismo nos hace posible el análisis de las interacciones y hacer una evaluación del impacto global, todo esto con el propósito de optimizar algún proceso. Lo mejor de esto es que no se interfiere de forma operativa y en las actividades de la empresa, además de los beneficios que otorga en la toma de decisiones. (Puche et al., 2005)

Matriz de Responsabilidades

Esta matriz también conocida como Matriz RACI siglas que viene de las siglas en inglés que identifica y define las responsabilidades que se irán realizando durante el proceso. La descripción de las siglas RACI están definidas por:

- *Responsible*: Responsable, cuyo rol es realizar la actividad y ser el encargado de que esta se ejecute.
- *Accountable*: Encargado, su rol es aprobar la actividad y asegurar que se realice. También se le puede identificar como el dueño del proceso.
- *Consulted*: Consultado, tiene la información que da inicio o fin a la actividad
- *Informed*: Informado, será informado sobre el progreso y los resultados que lleva la actividad.

(Main bit, 2016)

Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)

Esta metodología identifica las fallas potenciales de un producto o un proceso, después de un análisis de frecuencia, formas de detección y el efecto que provocan; las fallas que se encuentren serán jerarquizadas para que así aquellas que hacen nuestro proceso o producto más vulnerable a la confiabilidad se atiendan.

El AMEF va desplegando el proceso o producto paso a paso o pieza por pieza para que así plantee las preguntas de ¿Qué podría salir mal? Si es así, ¿cómo lo detectaremos? ¿Qué hacemos si sucede? ¿Cómo podemos diseñar el producto para evitarlo? Estas preguntas auxilian al análisis del de un diseño o conjunto para poder detectar fallas potenciales. Así de una forma proactiva se puede reducir los defectos, el tiempo y el costo asociado con futuros errores. (Pulido & De la Vara Salazar, 2009)

METODOLOGÍA

Lean Seis Sigma (DMAIC)

A medida que la competencia se torna más difícil, existe una mayor necesidad de desarrollo de productos, manufactura y organizaciones de servicios para volverse más productivos y eficientes. En la búsqueda de la satisfacción de estos puntos Bill Smith creó las fórmulas y estadísticas originales de lo que sería el origen de la cultura de Seis Sigma. (Breyfogle, 2003)

Lean Seis Sigma es un conjunto de métodos y herramientas que crean una ventaja competitiva al ser más rápido, mejor y barato que la competencia. La parte *lean* ayuda a las compañías a reducir los tiempos para satisfacer las necesidades de los clientes. Seis sigma ayuda a encontrar errores y defectos que estén involucrados en cada aspecto de la entrega de lo que el cliente busca. (Breyfogle, 2003; Pulido & De la Vara Salazar, 2009)

Seis Sigma y su metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) se consideran la última generación de enfoques de mejora, agregando conceptos, métodos, herramientas y eliminando las limitaciones identificadas en metodologías anteriores. Se basa en ideas del campo de la ingeniería de calidad, incorporando ideas de la gestión de calidad total (TQM) y el control de calidad de Taguchi. Esta metodología ha sido estudiada durante algunos años con un enfoque esencial en las diferentes herramientas utilizadas y en sus resultados, el enfoque DMAIC es un procedimiento de mejora estructurado. Se han presentado algunas pruebas sobre los beneficios de su implementación, sobre las condiciones de su éxito y sobre sus dificultades en el sector industrial principalmente, pero no exclusivamente. (Cunha & Dominguez, 2015)

Las fases de la metodología DMAIC son las siguientes:

1. Definir

Esta es la primera etapa de la metodología en la que se identifica el problema, de aquí se plantean las preguntas del proyecto para identificar el objetivo del proyecto, sus indicadores para medir el éxito, alcance, los beneficios y quiénes serán los involucrados.

2. Medir

En esta segunda etapa se recopilan datos sobre el proceso y se logra entender este a mayor detalle, entonces, se puede validar el sistema de medición de las métricas involucradas y se establece la línea de base⁸.

3. Analizar

En esta fase, se estudia el proceso y se obtienen datos para identificar las variables o causas posibles del problema (x potenciales) que tiene el proceso. Al identificar nuestras x potenciales se pueden estudiar más a fondo y agregarles niveles que van a corresponder a valores alternativos que puedan tomar y que pueden ser usados para ver cuál de todas nuestras x son prioridad.

4. Mejorar

Para alcanzar este punto se tiene que actuar sobre los datos para cambiar el proceso de mejora, aquí el objetivo es proponer e implementar soluciones que se ocupen de la(s) causa(s) raíz para poder reducir o corregir el problema (esto dependiendo de nuestra primera etapa de la metodología). Es necesario que se evalúen y validen las soluciones para obtener los resultados alcanzados y conocer si se logró nuestro objetivo planteado en el proyecto.

5. Controlar

En esta última etapa si nuestra solución propuesta se realiza con éxito, es momento de crear el diseño que va a monitorear las mejoras implementadas y de cierre al proyecto.

(Arthur, 2011; Pulido & De la Vara Salazar, 2009; Munro, Ramu & Zrymiak, 2015)

⁸ Línea de base: Medición del nivel de desempeño del proceso al iniciar el proyecto, por lo general en términos de las métricas.

Line-back planning

Durante la planificación detallada de acuerdo con el método *line-back planning*, se toman en cuenta las etapas individuales del proceso relacionadas con el suministro de material. Comenzando en el centro de trabajo, cada etapa del proceso logístico se planifica al revés a lo largo del flujo de material.

El principio de planificación más importante en la logística automotriz es la llamada "Line-back Planning", lo que significa que debe encontrar lo óptimo para toda la cadena de suministro a los proveedores mediante un proceso integrado. El proceso de flujo de materiales se organiza de acuerdo con el principio de lineback. Comenzando desde el lugar de trabajo y el punto de uso, todas las etapas de cancelación, transporte y rotación hasta el proveedor se planifican e investigan con miras a lograr un flujo efectivo y armonioso de materiales. Paralelamente a esto, se analiza la circulación del transporte y el embalaje.

La prioridad para realizar una planeación debe de seguir el siguiente orden. (Klug, 2006)

1. Provisión y disposición de material
2. Llamado de materiales
3. Transporte interno
4. Zona de recolección
5. Estaciones de almacenamiento flexibles
6. Entrada de mercancías

(Información corporativa, 2019)

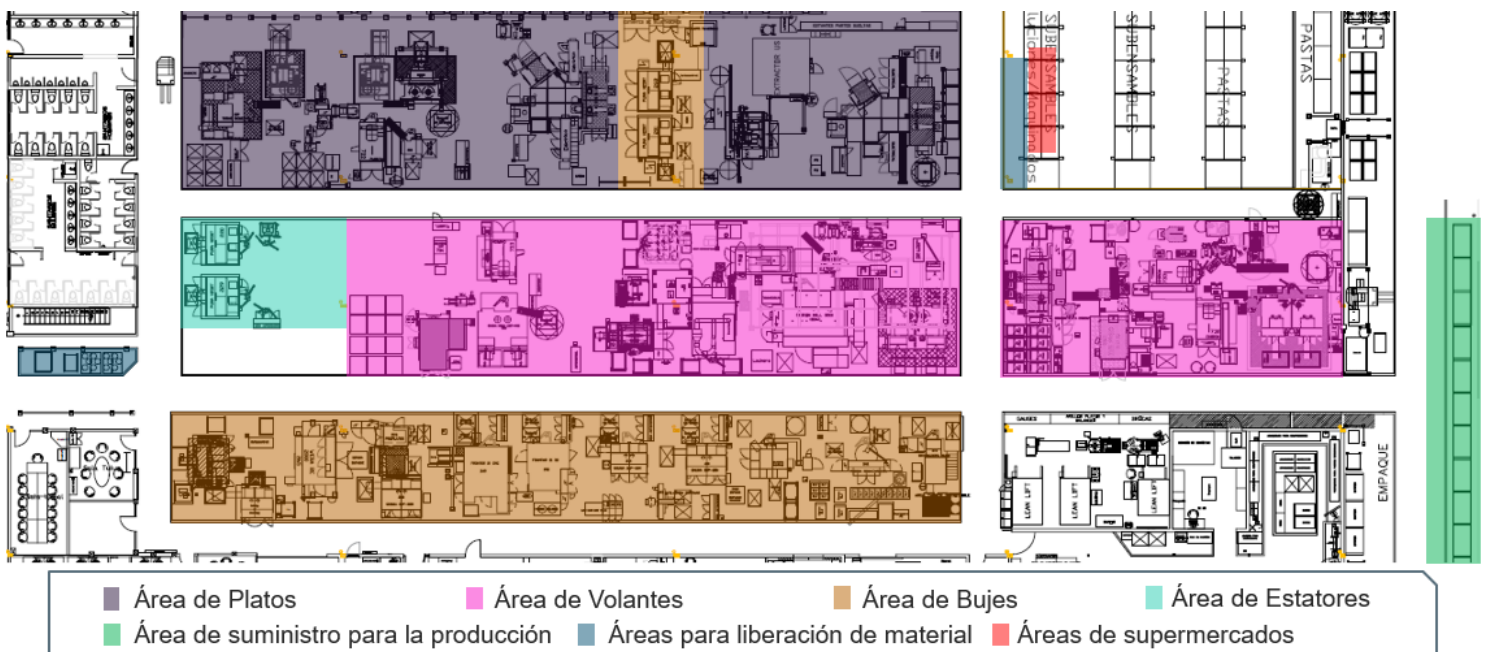
CAPÍTULO III

Definir:

Área de implementación del proyecto

En la etapa de definición del proyecto, lo primero que se realizó fue un recorrido guiado por el responsable del flujo y manejo de materiales de la planta para hacer el levantamiento de la situación actual. Además, se conocieron los problemas que tiene el montacargas con el abastecimiento de materiales, asimismo se mostró la maquinaria y los procesos del área y se realizó un recorrido en el área de suministro de material para la producción (PSA). Una vez terminada esta introducción se pudieron delimitar las áreas donde se implementó el proyecto. Las cuales quedaron de la siguiente manera:

Figura 1. Layout del área de maquinados convencionales y PSA



Fuente: Información interna corporativa, 2019.

Situación actual

Después de delimitar las áreas que comprende el proyecto, el siguiente paso fue entender el funcionamiento del abastecimiento por montacargas. Para poder plasmar de manera objetiva el recorrido del abastecedor, se realizó el 15 de marzo del 2019 un seguimiento de la ruta realizada por el montacargas, se utilizó la herramienta de manufactura esbelta llamada *Diagrama de Espagueti*, con el cual se siguieron y se enumeraron los movimientos que este realizó para el abastecimiento del área de maquinados, es importante mencionar que el estudio tuvo una duración de 2 horas.

Figura 2. Diagrama de Spaghetti para monitoreo de actividades



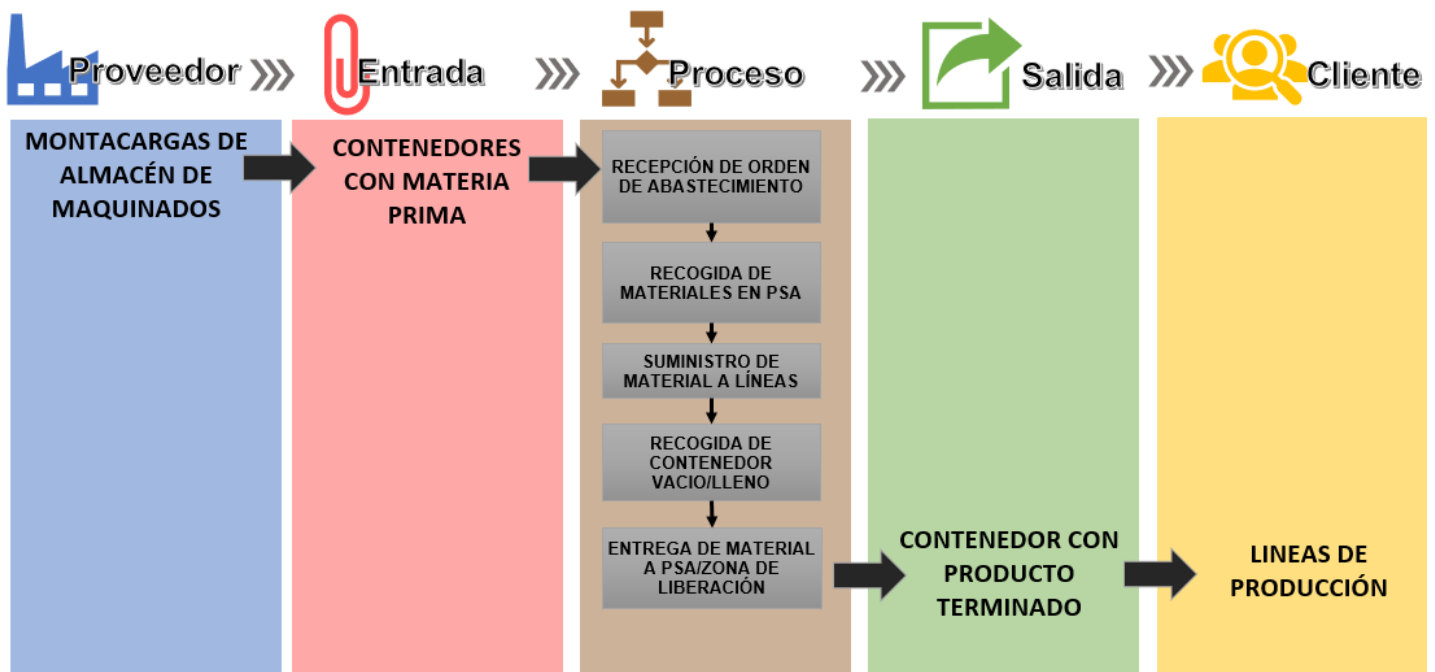
Fuente: Elaboración propia, 2019

En el diagrama de espagueti se observa que los viajes realizados por el montacargas no tienen un orden, esto es fácilmente detectable cuando se sigue la numeración ascendente de las actividades realizadas, durante el estudio también se detectó que el montacarguista realiza muchas maniobras para dejar y recoger materiales, maneja en zonas en las que no debería transitar y además realiza recorridos sin llevar carga de material. También se detectaron movimientos recurrentes desde y hacia el área de *PSA* ya que la capacidad de carga máxima del montacargas es de 2 contenedores y, por ende, tiene que realizar muchos viajes para dejar contenedores vacíos y para llevar nuevos materiales a las líneas de producción.

Proceso de abastecimiento

Después de monitorear la ruta realizada por el abastecedor durante un lapso, se decidió hacer un estudio del proceso de abastecimiento para definirlo, delimitarlo, y para detectar responsables y actividades involucradas en el suministro de materiales. Esto fue plasmado en un diagrama S.I.P.O.C.

Figura 3. Diagrama S.I.P.O.C de proceso de abastecimiento con montacargas



Fuente: Elaboración propia, 2019

En el gráfico anterior podemos observar que el proveedor del proceso es el montacarguista de almacén de maquinados, ya que es en este lugar a donde llegan los materiales de bodega externa o directamente de los proveedores, los cuales que se usarán para la producción de los siguientes días. Se determinó que el proceso va orientado a las líneas de producción, ya que a quienes se les tiene que suministrar materia prima y retirar el producto terminado, por lo cual el cliente se define a sí mismo.

Requerimientos del cliente

Siguiendo la metodología D.M.A.I.C. uno de los puntos más importantes de la fase de definición, es determinar las necesidades de nuestro cliente. Se utilizaron encuestas (Anexo 1) aplicadas a 8 team leaders⁹ del área de producción del primer y segundo turno productivo, para así conocer cuál era su percepción del sistema de abastecimiento con el montacargas. Después, estas respuestas se agruparon para obtener una *voz del cliente*, herramienta que fue de utilidad para clasificar toda la información en 4 requerimientos específicos que son necesarios para que el abastecimiento de materiales se considere de calidad. Los requisitos son los siguientes:

- Mejorar eficiencia en suministro de materiales para evitar paros de línea.
- Mejorar comunicación de necesidades de material con abastecedor.
- Definir una ruta de entrega de material.
- Mejorar la capacidad de carga del abastecedor.

Características clave para satisfacer al cliente

Se utilizó la herramienta *Despliegue de la función calidad* (figura 4) para obtener una relación entre las características funcionales del suministro de materiales y las necesidades de nuestro cliente, esto con la finalidad de otorgarle prioridad de recursos a las funcionalidades que mayor valor generarán a nuestro cliente, como resultado de este análisis

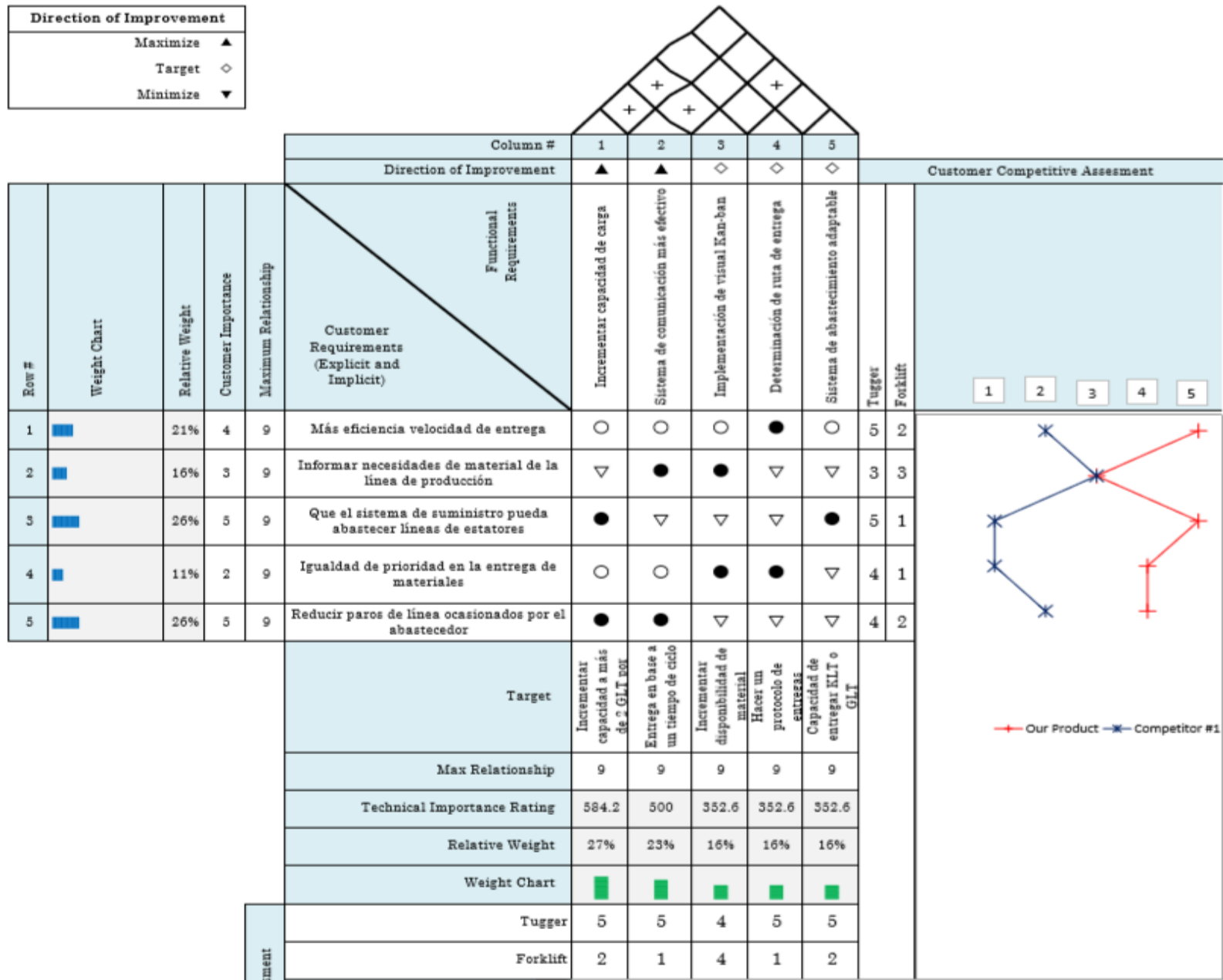
⁹ Team leader: Término acuñado al responsable de cumplir los objetivos de producción por cada área (Información corporativa, 2019)

se llegó a la siguiente lista de prioridades para la inversión de nuestros recursos.

1. Incrementar capacidad de llevar más de 2 contenedores GLT por viaje.
2. Entregar material en tiempos de ciclo determinados.
3. Incrementar la disponibilidad de material en las líneas de producción.
4. Tener un protocolo de entregas de material.
5. Ampliar la capacidad de carga de sólo GLT's a KLT¹⁰'s también.

¹⁰ KLT: Del alemán Kleinladungsträger se refiere a contenedores de carga de dimensiones menores a 80x120x60cm (Información corporativa, 2019)

Figura 4. QFD realizado a partir de las necesidades del cliente.

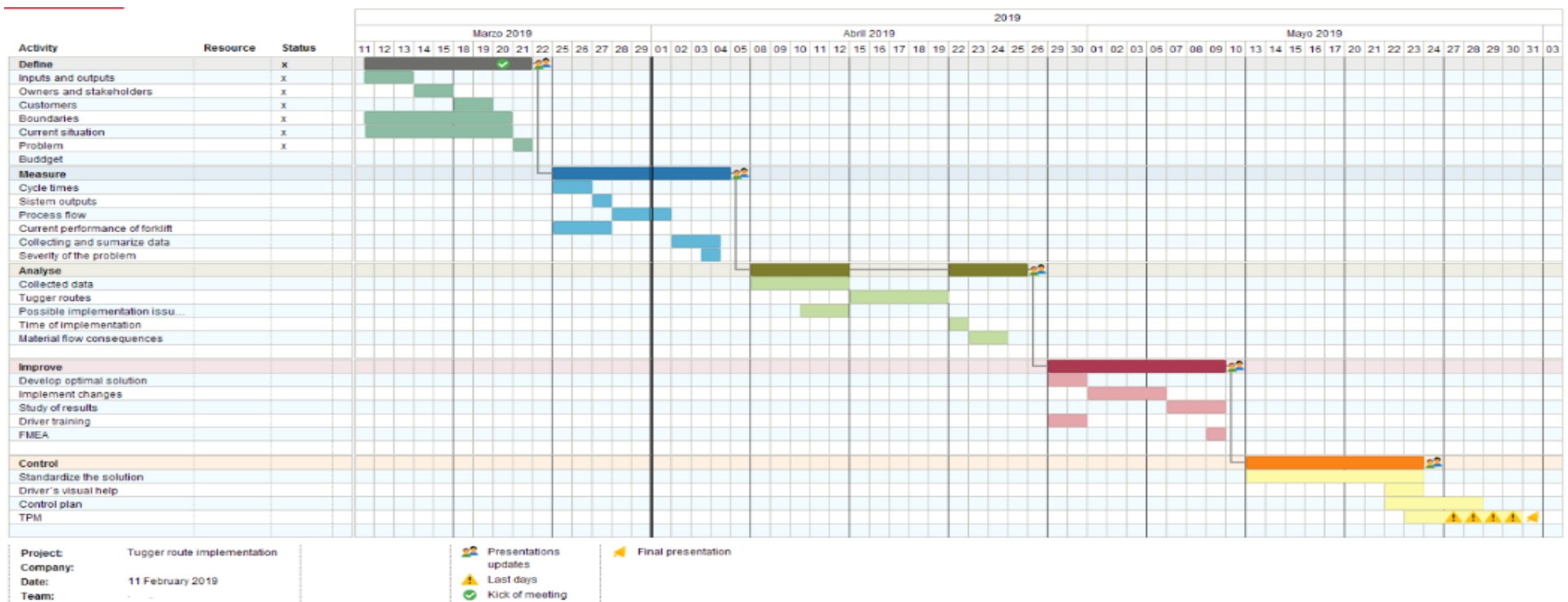


Fuente: Elaboración propia, 2019

Cronograma de actividades

Otro aspecto importante de esta fase fue delimitar el tiempo para realizar la implementación de la ruta de tigger, se hizo un desglose de actividades de la metodología y estas se distribuyeron durante los 3 meses de tiempo límite para la entrega del proyecto de implementación, esta distribución de tiempo se plasmó en el siguiente *diagrama de Gantt*:

Figura 5. Cronograma de actividades desglosado.



Fuente: Elaboración propia, 2019

Acta de constitución del proyecto

Finalmente, toda la información de la fase de definición fue concentrado en un documento oficial de la empresa con la finalidad de presentar de manera resumida el proyecto al gerente de logística, al responsable de almacén, al responsable de flujo y manejo de materiales y al responsable del área de maquinados. Se realizó una junta el 12 de marzo dentro de las instalaciones de la empresa y se presentaron los análisis realizados durante las primeras dos semanas, después de la junta el acta de constitución del proyecto autorizada* de este proyecto fue el siguiente:

Figura 6. Acta de constitución de proyecto

Project charter			Proyecto: Implementación de ruta de Tugger en maquinados convencionales			
			Black Belt	Responsable proyecto	Patrocinador	Mentor
			Confidencial	Confidencial	Confidencial	Confidencial
Situación actual			Dentro del alcance			
Un montacargas es responsable de suministrar a todas las líneas del área de maquinados convencionales de una planta de producción. Nuevas líneas de estatores llegarán en los siguientes meses, en consecuencia, el sistema de abastecimiento se volverá más ineficiente.			<ul style="list-style-type: none"> •Área de maquinados convencionales •Flujo de materiales desde el área de suministro de producción hasta las zonas de liberación de maquinados •Reacondicionamiento de bases de material •Modificaciones a lay-out del área de maquinados y del PSA 			
Problemas			Fuera del alcance			
<ul style="list-style-type: none"> •Insuficiencia para suministrar líneas de estatores. •Exceso de movimientos. •Entrega de material desorganizada. •Montacargas es un riesgo constante de seguridad para los operarios 			<ul style="list-style-type: none"> •Flujo de materiales anterior al área de suministro de producción y posterior a las 2 zonas de liberación •Flujo de materiales entre procesos •Balanceo de líneas •Base de datos de S.A.P 			
Entregables			Objetivo	Beneficios		Tareas
Fase	Inicio	Fin	Implementar un sistema de suministro de materiales por tugger en el área de maquinados convencionales de una empresa del ramo automotriz en Puebla antes del 31 de mayo del 2019.	<ul style="list-style-type: none"> •Suministro de materiales más eficiente •Aumentar la capacidad de carga del abastecedor •Mejorar comunicación de necesidades de material •Tener un sistema de suministro de materiales más esbelto 		<ul style="list-style-type: none"> •Aplicar DMAIC para implementar ruta de Tugger •Aplicar metodología Line-Back planning.
Definir	11/03/2019	22/03/2019				
Medir	25/03/2019	05/03/2019				
Analizar	08/04/2019	26/04/2019				
Mejorar	29/04/2019	10/05/2019				
Controlar	13/05/2019	30/05/2019				
Comité directivo			Grupos de interés		Equipo de trabajo	
Nombre	Organización		Cargo	Responsable	Nombre	Organización
Confidencial			Gerente logística	Confidencial	Jorge Vicente Medrano	B.U.A.P
			Responsable de Flujo y manejo de materiales	Confidencial	Responsable de flujo y manejo de materiales	
			Responsable almacén	Confidencial		
			Responsable equipos de Tugger	Confidencial		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Medir

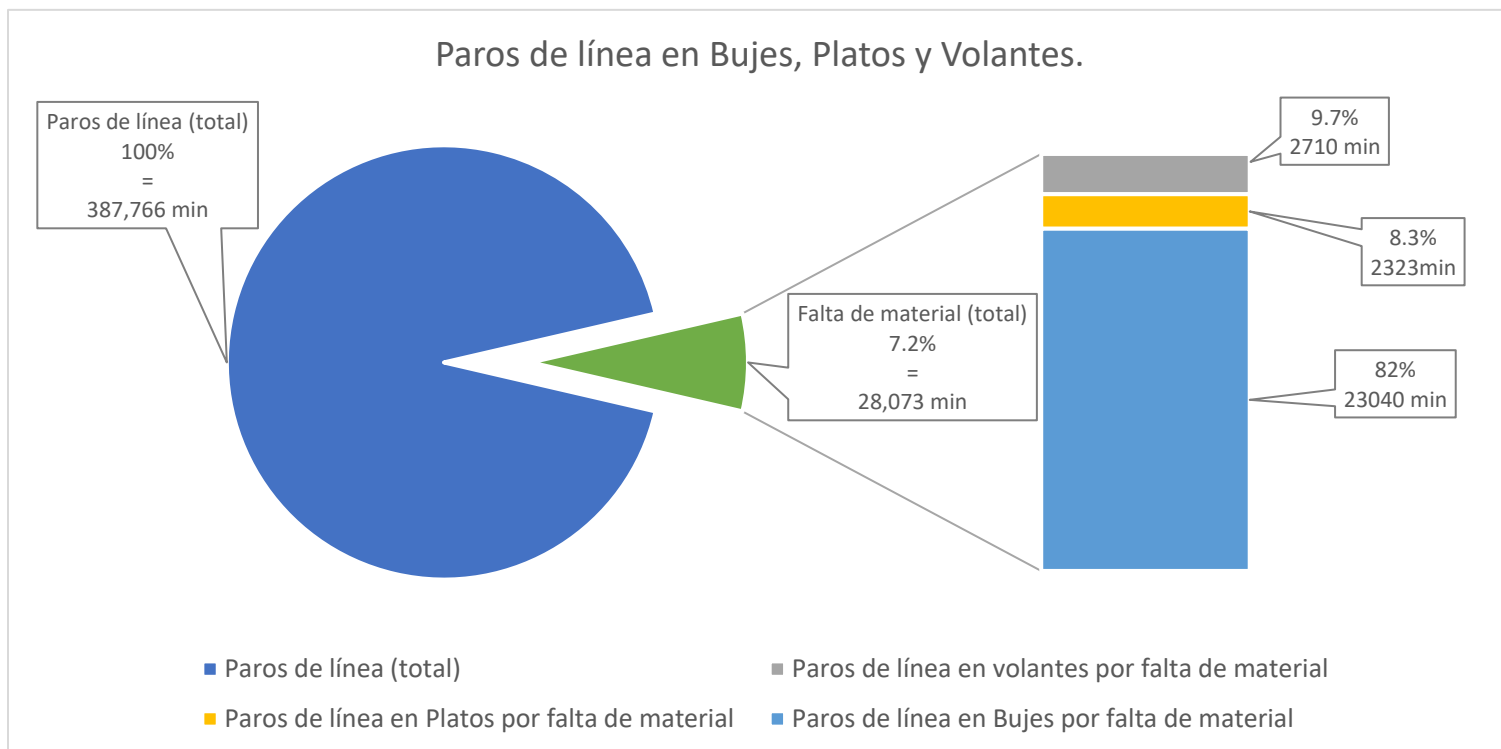
Durante el desarrollo de este proyecto se tomó la decisión de medir dos variables para describir el problema, sin embargo, es importante señalar y diferenciar la finalidad de cada una de estas mediciones, por una parte, se midieron los paros de producción por falta de material ocasionados por el montacargas debido a que es la manera más práctica de medir el tiempo de producción perdido debido a la incapacidad del montacargas (Anexo 2). Por otra parte, se midió el tiempo de ejecución de actividades logísticas y de inactividad del montacargas durante el suministro, debido a que uno de los objetivos específicos está orientado a mejorar la eficiencia del abastecedor durante la entrega de materiales, por lo que esta segunda métrica será con la que se realizará la comparación de los resultados obtenidos después de la implementación del tugging.

Paros de producción en área de maquinados convencionales ocasionados por falta de material

A pesar de que los paros de línea no son la métrica con la cual se medirá el desempeño de la implementación de la ruta de tugging, analizar esta información nos ayuda a visualizar la cantidad de tiempo productivo que es perdido debido al sistema de abastecimiento por montacargas. La información analizada de los paros de línea se recolectó de un software propio de la empresa, el cual recolecta información acerca de los paros de línea, O.E.E¹¹, tiempos de producción y chatarra generada cada día. La información extraída de este software fue específicamente sobre los paros de línea en el área de maquinados ocasionados por falta de materiales, el periodo de la información consultada fue del 31 de marzo del 2018 al 31 de marzo del 2019, una vez obtenida la información, esta fue filtrada mediante el uso del software Microsoft Excel y Minitab, después, se realizaron gráficas para poder tener una mejor interpretación de los resultados.

¹¹ O.E.E: es un acrónimo en inglés (Overall Equipment Effectiveness) que se refiere a la efectividad global del equipo (Vargas, 2012)

Gráfico 1. Paros de producción generales de área bujes, platos y volantes.



Fuente: Elaboración propia, información corporativa, 2019

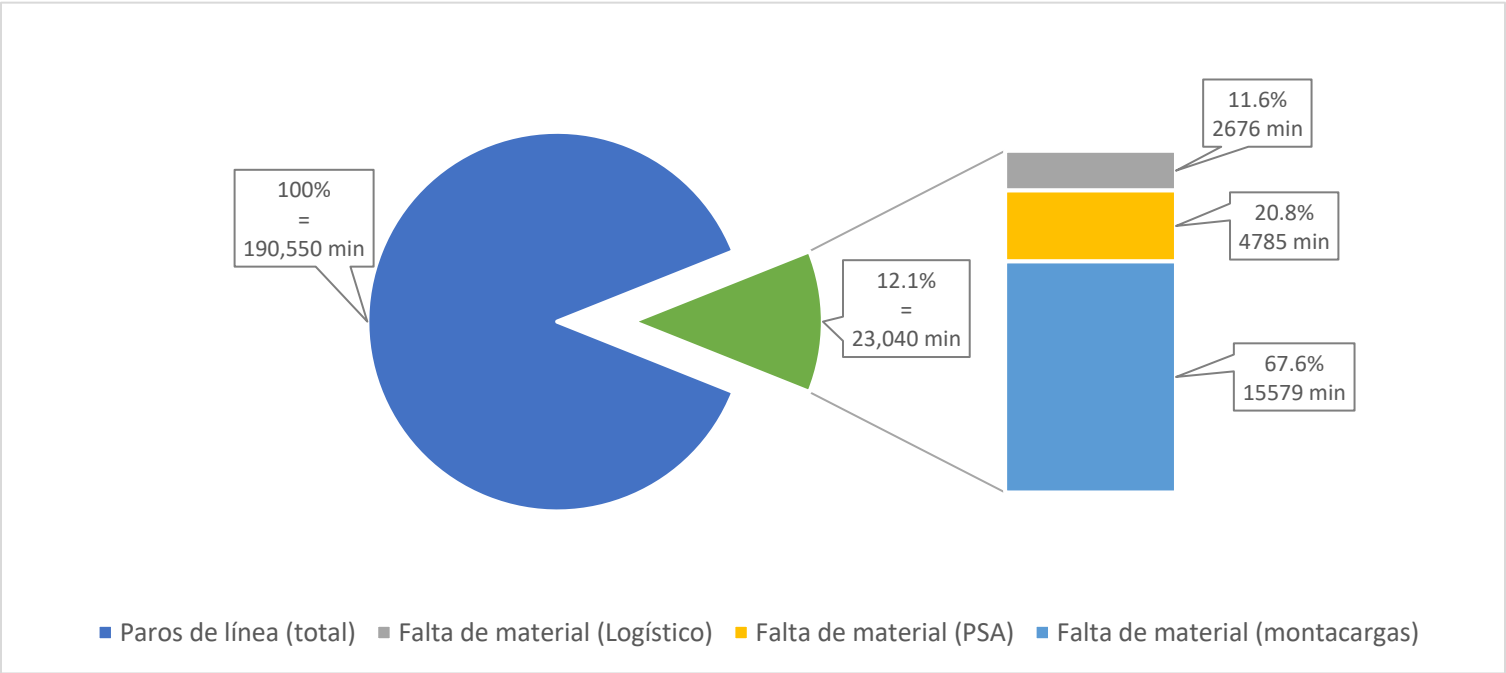
Del lado izquierdo de la gráfica se puede observar la cantidad total de minutos de paros de línea. Dentro del mismo gráfico pero seccionado, se encuentran en color verde los minutos correspondientes a los paros de línea relacionados a la falta de material, a primera vista pareciera que un 7% no es una cifra muy significativa, sin embargo, al transformar esos minutos en jornadas laborales de producción (7.5 h), se puede decir que cada una de las líneas (platos, bujes y volantes) no estuvo trabajando en promedio, 20.79 turnos productivos durante el periodo analizado.

La sección verde del gráfico representa sólo los paros de línea por falta de material, pero del lado derecho del gráfico se encuentra este porcentaje desglosado por cada área productiva, como se puede observar, la mayor parte de los problemas están concentrados en el área de bujes con un 82.1% del total de los paros de línea por falta de material, seguido por el área de volantes con 9.7% y platos con 8.3%.

Antes de continuar, es importante aclarar que no todos los paros de línea por falta de material son ocasionados por el montacargas, por lo que se decidió hacer un análisis más profundo de los datos para cada línea de producción y así cuantificar el tiempo que se pierde en paros productivos por falta de material ocasionados directamente por el montacargas, los resultados fueron los siguientes:

Paros productivos causados por el montacargas en área de bujes

Gráfico 2. Paros de producción en bujes

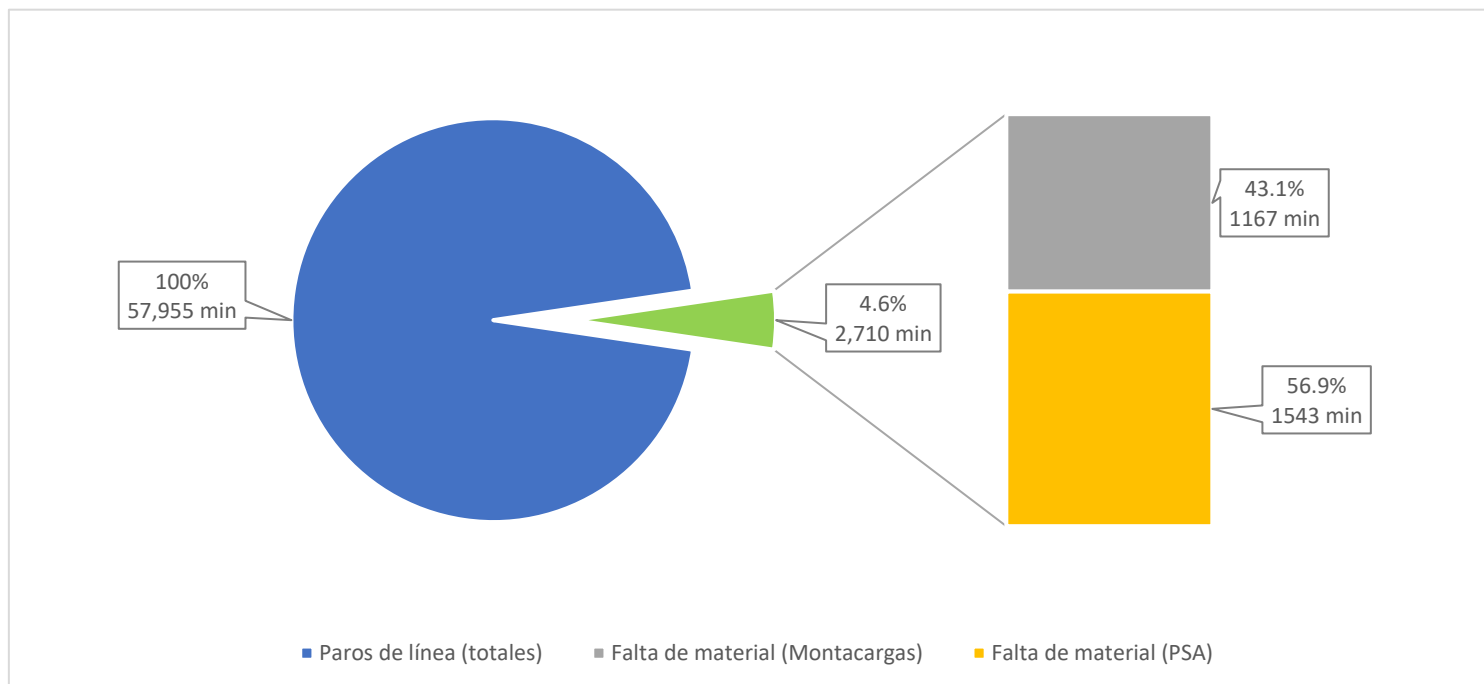


Fuente: Elaboración propia, información corporativa, 2019

Del lado izquierdo se encuentra representado el total de paros productivos del área de bujes, y en color verde al igual que en la gráfica anterior, se encuentran la proporción de paros de línea debidos a falta de material, en este caso 12.1% del total. Del lado derecho se encuentra el porcentaje de paros de línea por falta de material causados directamente por el montacargas (gris), el cual tiene un peso del 67.5% del total, con un equivalente a 15,579 minutos en el año estudiado.

Paros productivos causados por el montacargas en área de volantes

Gráfico 3. Paros de producción en volantes

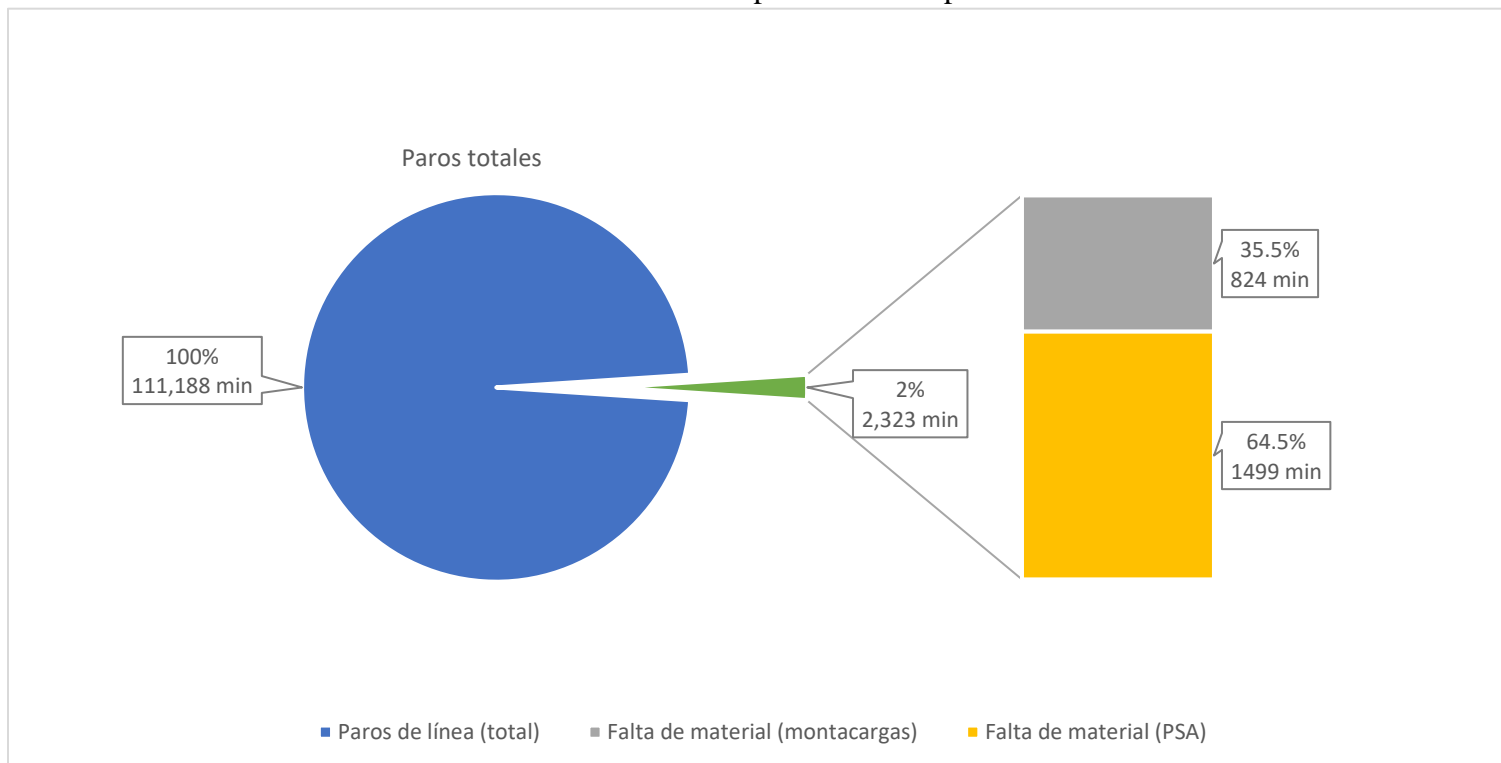


Fuente: Elaboración propia, información corporativa, 2019

Siguiendo con la misma lógica e interpretación de los gráficos anteriores, se concluye de la gráfica 3 que sólo un 4.6% de los paros de línea en el área de volantes tiene que ver con la falta de materiales, dentro del cual un 43.1% son causados directamente por el montacargas (gris), teniendo así un total de 1,167 minutos de paro durante el año estudiado.

Paros productivos causados por el montacargas en área de platos

Gráfico 4. Paros de producción en platos



Fuente: Elaboración propia, información corporativa, 2019

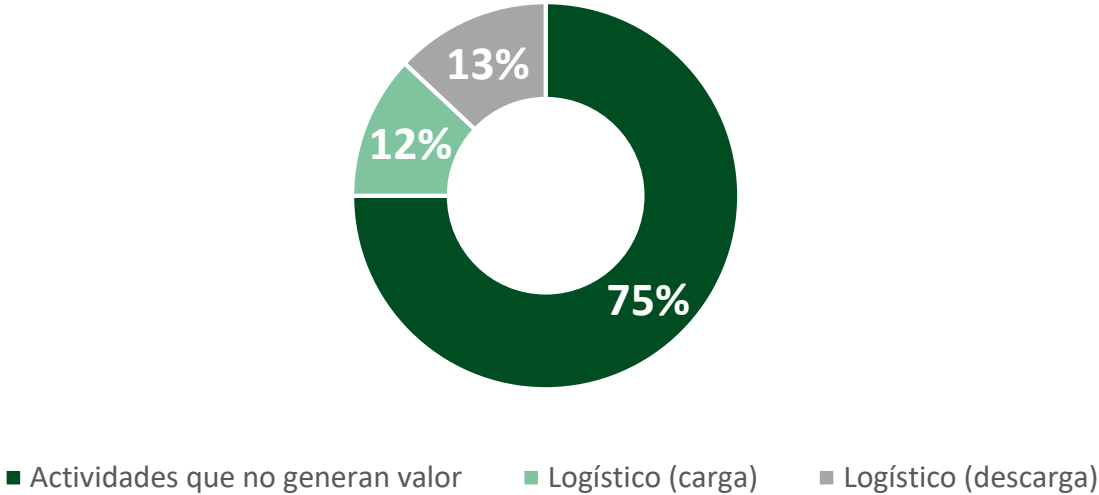
Del gráfico anterior se concluye que solamente un 2% de los paros totales en el área de platos están relacionados a la falta de material, y dentro del cual sólo un 35.5% se pueden adjudicar de forma directa al montacargas, teniendo así una cantidad total de tiempo de paro de 824 minutos durante un año.

Eficiencia durante suministro de materiales

El porcentaje de tiempo en la ejecución de actividades logísticas y de actividades que no generan valor durante el suministro de materiales se utilizó como métrica para comparar el suministro con montacargas contra el suministro realizado con tugger, esto debido a que se quiere mejorar la eficiencia del abastecimiento de materiales reduciendo el porcentaje actividades que no generan valor (inactividad, movimientos innecesarios, viajes sin contenedor) y en consecuencia, aumentando el porcentaje de actividades logísticas realizadas.

Para medir el tiempo de ejecución de actividades logísticas y de inactividad, se realizaron grabaciones en video de todas las actividades del abastecedor durante un tiempo de 4 horas cada una, estas grabaciones fueron analizadas para un estudio de tiempos; gracias a esto fue posible medir en que proporción se distribuyó el tiempo de actividades del abastecedor durante los 6 días observados. El resultado se encuentra en el gráfico siguiente:

Gráfico 5. Porcentajes de tiempo de actividades de montacargas



Fuente: Elaboración propia, 2019.

El estudio se realizó los días 28 y 29 de marzo y del 1 al 4 de abril del 2019.

Base de datos de las piezas de maquinados

Durante la fase de medición se empezó a trabajar con la metodología de line-back planning, la cual indica que el primer paso para calcular un tiempo de ciclo de tigger se debe de recabar información acerca de la materia prima que va a suministrar, para realizar esta tarea se utilizó una plantilla en Excel, la cual contendría información relevante de cada pieza con respecto a su manipulación logística (PFEP¹²). Dentro de esta plantilla hubo muchas columnas con información eran relevantes para este proyecto, por otro lado, la información que se tuvo que recopilar para esta implementación fueron las siguientes:

- Nombre de material
- Número SAP de material
- Descripción
- Demanda anual
- Código de puesto de trabajo donde se trabaja la pieza
- Nombre de puesto de trabajo donde se trabaja la pieza
- OEE de estación dónde se trabaja la pieza
- Tiempo de ciclo
- Número de material antes de ser maquinado.
de línea
- Número de material de componentes
- Descripción de componentes
- Código de proveedor, nombre, y país de origen
- Peso por pieza
- Número de piezas por contenedor
- Contenedor para ensamble
- Tipo de alimentación
- Tiempo de procesamiento de contenedor
- Número de turnos productivos

La información de estas categorías fue obtenida de la base de datos maestra de la empresa en diferentes transacciones, también fue necesario acceder a otros softwares y documentos para poder obtener los datos.

¹² Plan para cada pieza: Contiene la información más importante manipulación logística de cada material.

Piezas críticas para suministro

Al revisar las bases de datos de la empresa, se determinó que existe la posibilidad de fabricar más de 500 variedades de piezas en el área de maquinados convencionales, esto dificultaría mucho el trabajo de recopilación de información ya que cada pieza tiene diferentes características que deben ser especificadas en el PFEP, es por esto que se decidió utilizar el *principio de Pareto* para seleccionar las piezas de acuerdo a su volumen de producción del último año (febrero 2018-2019), con esto se aseguró una planeación dirigida a las piezas que generan el 80% de la producción total, es por eso que se consideraron como las más críticas. Al final, el número total de piezas a las que se les recopiló información fue de 280.

A continuación, se muestra una tabla con la recopilación de las piezas seleccionadas:

Figura 7. Tabla de piezas incluidas en el Plan for Every Part.

081113323-0000	047378557-0000	072884207-0000	047438347-0000	082926042-0000	047414309-0000	207182400-0000	073325074-0000
047434422-0000	049623443-0000	212345907-0000	048884529-0000	047380870-0000	074189735-0000	207182400-0000	047413646-0000
047433477-0000	049623508-0000	069884706-0000	047435933-0000	213328780-0000	057961590-0000	229795781-0000	061484830-0000
079957501-0000	049623508-0001	069884706-0000	047436620-0000	047381736-0000	047435194-0000	229795781-0000	062133721-0000
047433337-0000	066061520-0000	207182400-0000	072975288-0000	082993661-0000	047439386-0000	065675266-0000	062133721-0000
061212288-0000	070070946-0000	207182400-0000	047435569-0000	231322283-0000	047435208-0000	065361342-0000	058063773-0000
047434406-0000	066804183-0000	229795781-0000	047435780-0000	231322283-0000	047435780-0000	229795900-0000	058063773-0000
047433655-0000	080952461-0000	229795781-0000	047436565-0000	224930230-0000	047432780-0000	229795900-0000	058063773-0000
065491270-0000	047380110-0000	229795900-0000	081336420-0000	086594672-0000	074131885-0000	047328177-0000	067268188-0000
047434198-0000	058185348-0000	229795900-0000	047437154-0000	225870630-0000	079639461-0000	047328177-0000	062056298-0000
057918120-0000	047381736-0000	047328177-0000	047437871-0000	225870630-0000	062952420-0000	230028217-0000	073786489-0000
048884626-0000	082993661-0000	047328177-0000	047435550-0000	219090203-0000	047436832-0000	230028217-0000	236534726-0000
047434120-0000	047380888-0000	093497725-0000	047436239-0000	219090203-0000	047438010-0000	229795927-0000	236534726-0000
047433248-0000	082993742-0000	093497725-0000	074131885-0000	231322283-0000	048884529-0000	229795927-0000	233905847-0000
047434228-0000	047381710-0000	230004784-0000	080686940-0000	231322283-0000	047433230-0000	230004784-0000	066303478-0000
065831047-0000	047381094-0000	230004784-0000	057961590-0000	224423304-0000	060706139-0000	230004784-0000	072086416-0000
065832795-0000	073642614-0000	230028217-0000	063170329-0000	219090203-0000	047435208-0000	047378557-0000	065728548-0000
047433426-0000	047380187-0000	230028217-0000	081120958-0000	219090203-0000	047434244-0000	231214367-0000	231748906-0000
047434082-0000	072855240-0000	229795927-0000	047435909-0000	236534726-0000	053065972-0000	231214367-0000	082993742-0000
069825017-0000	047380870-0000	229795927-0000	070070865-0000	236534726-0000	047437294-0000	229795919-0000	065563069-0000
047433370-0000	079823459-0000	231214367-0000	047438606-0000	209140810-0000	047436867-0000	229795919-0000	067663087-0000
068312156-0000	047381175-0000	231214367-0000	047434732-0000	225870630-0000	073694444-0000	047327014-0000	063753260-0000
047433337-0000	047381086-0000	072855479-0000	081924160-0000	225870630-0000	233905847-0000	047327014-0000	063753260-0000
047433477-0000	047377755-0000	072855479-0000	047435208-0000	231322283-0000	209381922-0000	075920905-0000	047329297-0000
047433248-0000	061391522-0000	066433517-0000	047435194-0000	231322283-0000	209381922-0000	075920905-0000	047329297-0000
081113323-0000	047376520-0000	066433517-0000	047436140-0000	225870630-0000	209381922-0000	229795773-0000	070070946-0000
047434198-0000	063753154-0000	047326921-0000	047435135-0000	225870630-0000	061126039-0000	229795773-0000	058683496-0000
047433655-0000	219302286-0000	047326921-0000	047436379-0000	225870630-0000	061126039-0000	230005560-0000	058683496-0000
047433663-0000	047380217-0000	047328711-0000	047435216-0000	225870630-0000	047414308-0000	230005560-0000	080952461-0000
065491270-0000	082993661-0000	047328711-0000	047437006-0000	073786489-0000	047414308-0000	065563166-0000	072884207-0000
058743910-0000	047377755-0000	232833109-0000	057933448-0000	073571857-0000	047414308-0000	047379499-0000	061391522-0000
047433671-0000	066424658-0000	232833109-0000	047436689-0000	062011138-0000	068117965-0000	072086416-0000	067663087-0000
206095422-0000	047380888-0000	232833109-0000	047435933-0000	069884706-0000	068117965-0000	065563069-0000	205919146-0000
071981721-0000	082993742-0000	232833109-0000	047438878-0000	069884706-0000	047434210-0000	066433517-0000	069884960-0000
047436689-0000	047381035-0000	232833109-0000	047432861-0000	069884960-0000	047305045-0000	066433517-0000	047436565-0000

Fuente: Elaboración propia, 2019.

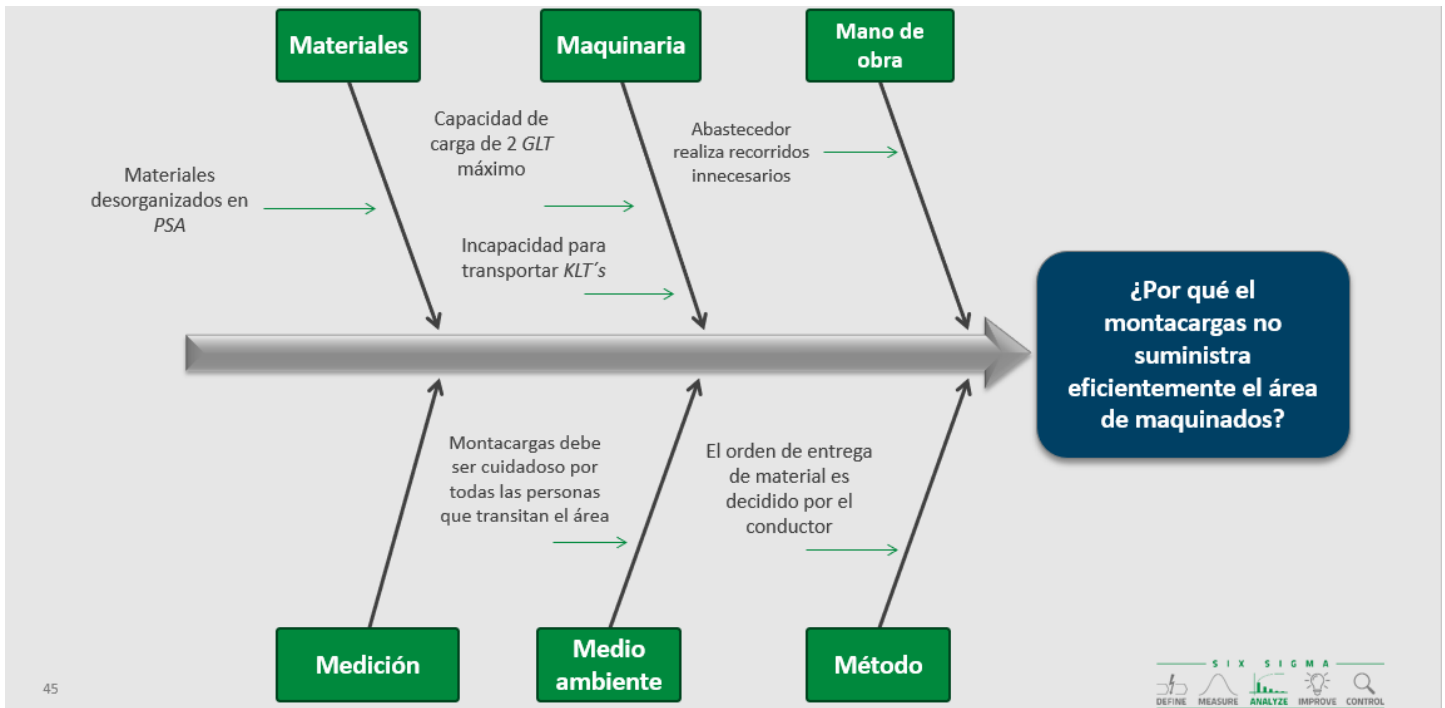
CAPÍTULO IV

Analizar

Posibles causas de la baja eficiencia en el suministro

Para determinar por qué que el montacargas no abastece las líneas de manera eficiente se realizó un *diagrama de causa y efecto*, en dónde las posibles causantes del problema se clasificaron de acuerdo con las 6 M de la calidad, el resultado fue el siguiente:

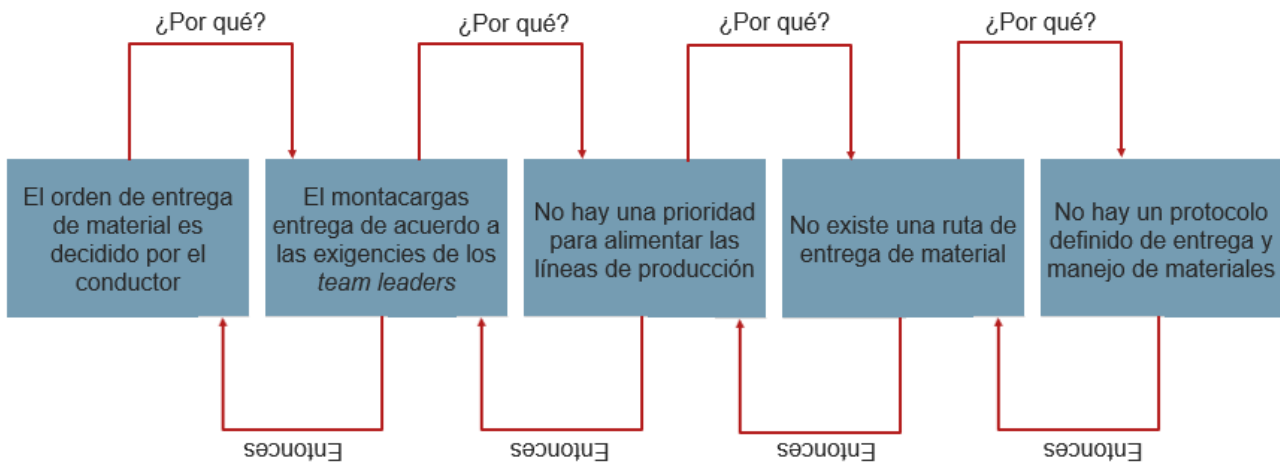
Figura 8. Diagrama de causa y efecto



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Después se realizó un análisis de los 5 porqués sobre la causa que más afectaba todo el proceso, en este caso fue la relacionada con el método, "El orden de entrega de material es decidido por el conductor". El resultado se puede observar en la siguiente figura:

Figura 9. Análisis de los 5 porqués.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

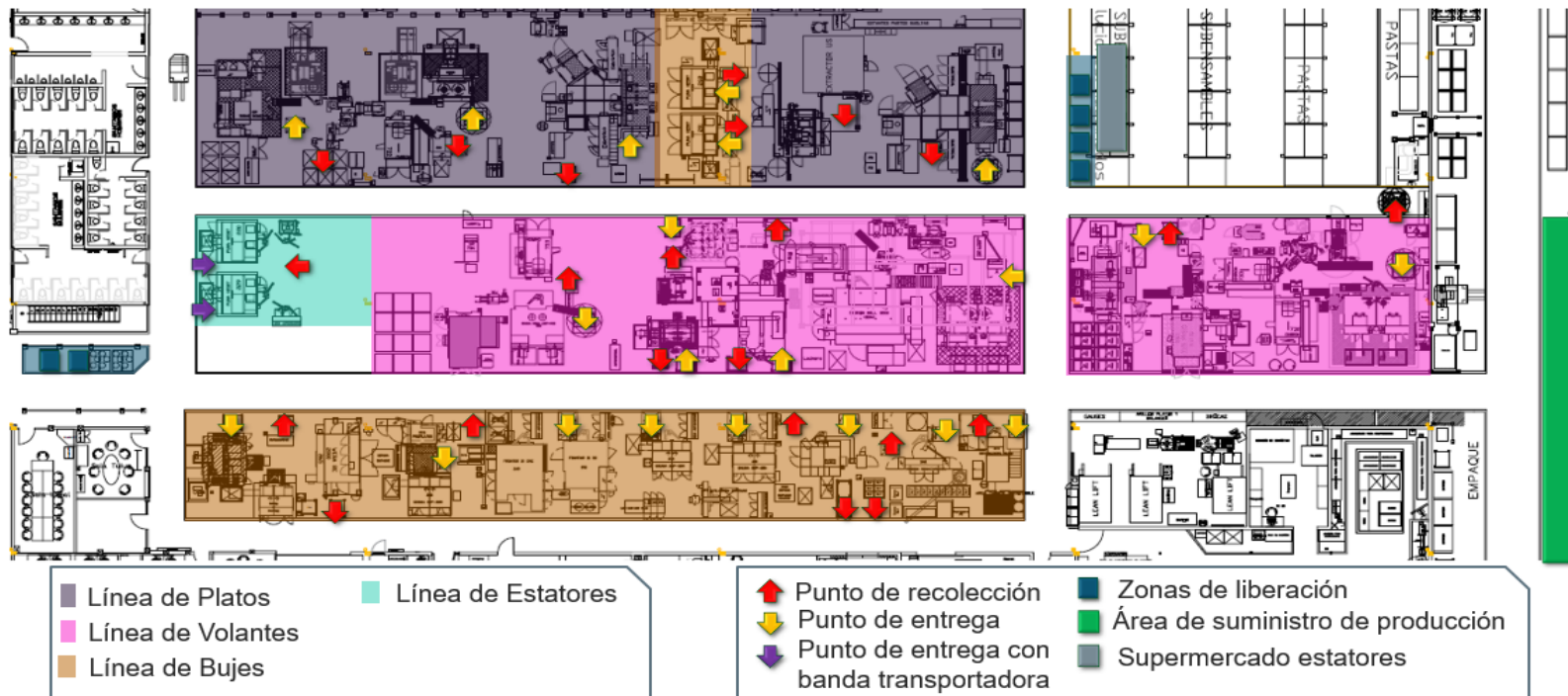
La causa raíz del problema es que no hay un protocolo definido de entrega y manejo de materiales, por lo que existe una baja eficiencia durante el suministro y, en consecuencia, existen paros de línea relacionados ocasionados por la falta de material relacionados al suministro por montacargas. La conclusión de este análisis de los 5 porqués nos indica que gran parte del problema no se encuentra en el equipo de montacargas, sino más bien en el esquema de suministro, es decir, que la implementación de un tugging no garantizará que el material se entregue de manera ordenada y a tiempo, sino más bien dependerá de que un protocolo de entrega sea definido durante la implementación del tugging.

En la siguiente parte de este proyecto se muestra cómo se definió este protocolo de entrega de materiales.

Puntos de abastecimiento

Antes de poder determinar una ruta de abastecimiento de tigger, se deben identificar todos los puntos de recolección y entrega de material, para hacer esto se estudiaron las grabaciones hechas en la fase anterior, se realizó otro diagrama de Espagueti y se hicieron recorridos guiados por los ingenieros de manufactura en cada uno de los procesos, esto para identificar y mapear todas las entradas y salidas de material en las líneas productivas del área de maquinados convencionales. Al final estos puntos se plasmaron sobre el layout y se presentaron en la siguiente figura.

Figura 10. Puntos de abastecimiento y recolección de área de maquinados convencionales.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Estos son los resultados obtenidos de este análisis:

- 21 puntos de **entrega** de materia prima (Amarillo)
- 23 puntos de **recolección** de producto terminado (Rojos)
- 2 puntos de **entrega** de materia prima con banda transportadora (Morados)
- 1 punto de área de **suministro** para la producción (Verde)
- 1 punto de supermercado¹³ para **suministro** de estatores (Gris)
- 2 zonas de liberación de material terminado (Azul)

Es importante recordar que los puntos de entrega con banda transportadora eran alimentados por el tigger del área de ensamble antes de implementar este proyecto, este es un gran problema ya que para finales del 2019 llegarán 4 líneas adicionales de producción de estatores, por lo que las necesidades de alimentación mediante bandas transportadoras con KLT's se verán aumentadas.

¹³ Supermercado: Local en la planta de la fábrica junto a la línea de producción donde las piezas son clasificadas y quedan a disposición de los operadores (Socconini, 2019, p. 304).

Clasificación de bases para material

Después de contabilizar las entradas y salidas de material, se recolectó información acerca de las características de las bases utilizadas en cada uno de estos puntos de abastecimiento, con esta información se obtuvo un inventario de las bases existentes con las que opera el sistema de suministro por montacargas.

Un sistema de suministro por tugging necesita vagones para funcionar, es decir, necesita bases con llantas en buen estado, barras de remolque para que las bases se puedan enganchar entre ellas, y un jalón en el cual se colocará una barra de remolque. Contabilizar la cantidad de bases existentes, así como identificar las condiciones en las que se encontraban fue crucial para que se pudiera definir la cantidad de bases que se podrían reutilizar y transformar en vagones para así reducir la inversión monetaria de la implementación. Las bases existentes del área de maquinados se clasificaron de la siguiente forma:










1. Logísticas
2. Altas
3. Bajas
4. Giratorias
5. Fijas
6. Inclinada

1. Bases logísticas

Estas bases se agruparon debido a que compartían la característica de estar pintadas de color amarillo, así como también porque las dimensiones del PTR¹⁴ con el que estaban fabricadas era de 2", en total se registraron 9 de estas bases. A pesar de compartir las características antes mencionadas, también tenían algunas diferencias entre ellas tales como la existencia de un manubrio o barras de remolque y el tamaño de sus ruedas, por este motivo se hizo un inventario con las características específicas de cada una de las bases amarillas "logísticas".

¹⁴ PTR: Acrónimo de Perfil Tubular Rectangular.

Figura 11. Inventario de bases logísticas

Base No.	Manubrio	Ruedas	Cople	Jalón	Foto
1	No	6"	No	Si	
2	No	6"	No	Si	
3	Si	6"	No	Si	
4	Si	8"	No	Si	
5	Si	6"	No	Si	
6	No	6"	Si	Si	
7	Si	6"	No	Si	
8	No	8"	No	Si	
9	Si	6"	NO	Si	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2. Bases altas:

En total había en existencia 17 bases altas, las cuales se caracterizaban por tener dos marcos de PTR unidos por 4 secciones de material, lo cual otorgaba una altura superior a un marco sobre el que se colocaban los contenedores de material, otras características en común fueron que las bases estaban pintadas de blanco y ninguna contaba con manubrio, jalón o barras de remolque. Solamente 3 bases contaban con ruedas de 6" en buen estado.

Imagen 1. Ejemplo de base “alta”



Fuente: Fotografía propia, 2019.

3. Bases bajas

Las bases bajas sólo contaban con 1 marco de PTR, lo cual hacía que su altura no se incrementara, de este tipo de bases se encontraron solamente 4, las cuales estaban pintadas de color blanco, ninguna contaba con manubrio, jalón o barra de remolque.

Un punto importante por mencionar es que todas las bases analizadas hasta esta parte son tamaño “tina estándar” (80 cm x 100 cm).

Imagen 2. Ejemplo de base “baja”



Fuente: Fotografía propia, 2019.

Bases con características especiales

A diferencia de las bases clasificadas anteriormente, estas bases no pudieron adaptarse al nuevo sistema de suministro de tigger debido a su peso, sus dimensiones y la ausencia de ruedas, por lo que tuvieron que ser reemplazadas por otro tipo de bases que realizaran una función similar y que además pudieran ser arrastradas por el tigger.

4. Bases giratorias

Se encontraron un total de 6 bases giratorias en el área de maquinados de las siguientes características:

- 3 tamaño reja
- 2 tamaño europalet
- 1 tamaño tina estándar

Las 3 bases giratorias tamaño reja y europalet fueron sustituidas en la fase de implementación por vagones de sus respectivas dimensiones, es importante mencionar que debido a que los nuevos vagones están equipados con ruedas, estos tienen la capacidad de moverse

circularmente al igual que las bases giratorias, quedando así el punto de abastecimiento con afectaciones mínimas, pero reduciendo considerablemente los costos de inversión. Para la base giratoria de tamaño tina estándar esta misma solución no se aplicó debido a que esta base carga con materiales que pueden rebasar una tonelada de peso, por lo que para esta estación se decidió comprar un vagón con una plataforma giratoria que facilitara aún más la capacidad de rotación de los contenedores puestos sobre la base.

Imagen 3. Ejemplo de base giratoria.



Fuente: Fotografía propia, 2019.

5. Bases fijas

Al igual que las bases giratorias, estas tampoco contaban con ruedas, además de estar ancladas al suelo. Después del análisis de los contenedores realizado a cada estación se detectó que estas bases eran de una dimensión mayor a los requerimientos necesarios ya que a estos puntos de abastecimiento solo llegan materiales con contenedores de tamaño tina estándar; estas bases también fueron removidas durante la fase de implementación y se sustituyeron por vagones de tamaño tina estándar.

Imagen 4. Ejemplo de base fija al suelo.



Fuente: Fotografía propia, 2019.

6. Base inclinada

Este fue un caso particular de una estación de trabajo de la línea de bujes, la base era de tamaño europalet y contaba con un mecanismo hidráulico que permitía concentrar las piezas hacia un extremo del contenedor. La adaptación de esta base para funcionar con el tigger era inviable, además, en la planta ya se contaba con 1 vagón en desuso que contaba con la capacidad de arrastre y de inclinación, por lo que se decidió reemplazar esta base inclinada por el vagón con capacidad de inclinación.

Imagen 5. Base inclinada existente.

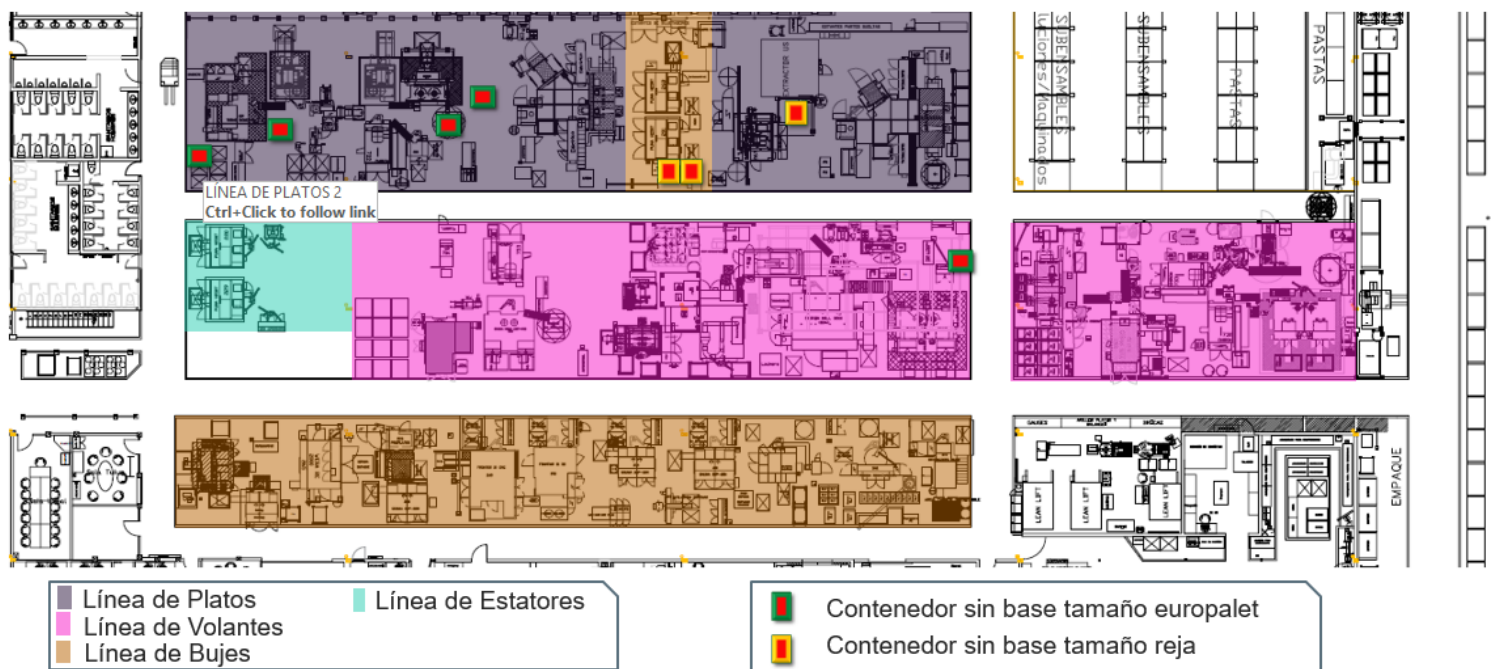


Fuente: Fotografía propia, 2019.

Materiales sin base

Después de inventariar las bases existentes en el área de maquinados convencionales, se detectaron contenedores que se colocaban de manera habitual de material en el suelo, es por eso que se realizó un inventario de contenedores que no se entregaban en base a las estaciones de trabajo; esto fue un punto crítico en el análisis ya que es crucial que todos los materiales se entreguen y recojan en una base móvil o vagón para que el sistema de tugger pueda funcionar. Después de revisar todas las líneas se detectaron 8 contenedores que se dejan sobre el suelo en las estaciones de trabajo, los cuales están identificados en la siguiente figura:

Figura 12. Contenedores sin base



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Después de realizar el estudio en campo, se determinó que los contenedores se colocan en el suelo debido a que a estos no se les había fabricado ninguna base para sus especificaciones. Al medir los contenedores se pudieron clasificar en 2:

- Tamaño *Europalet* (80 cm x 120 cm)
- Tamaño *Reja* (100 cm x 120cm)

Gracias a este análisis se concluyó que para implementar la ruta de tigger, se tienen que fabricar vagones adicionales que permitieran mover esos 2 tamaños de contenedores que se encontraban en el piso, 3 para tamaño *reja* y 5 para tamaño *europalet*.

Inventario de bases en área de maquinados

En la figura 13 se muestra el total de bases que fueron contadas en el área de maquinados convencionales antes de la implementación agrupadas por nombre y tamaño, más adelante, en la figura 15 se presenta una tabla con número final de bases necesarias para el funcionamiento del tigger ya con la sustitución de las bases giratorias tamaño reja y europalet por vagones y la adición de las bases de los contenedores que actualmente son colocados sobre el suelo.

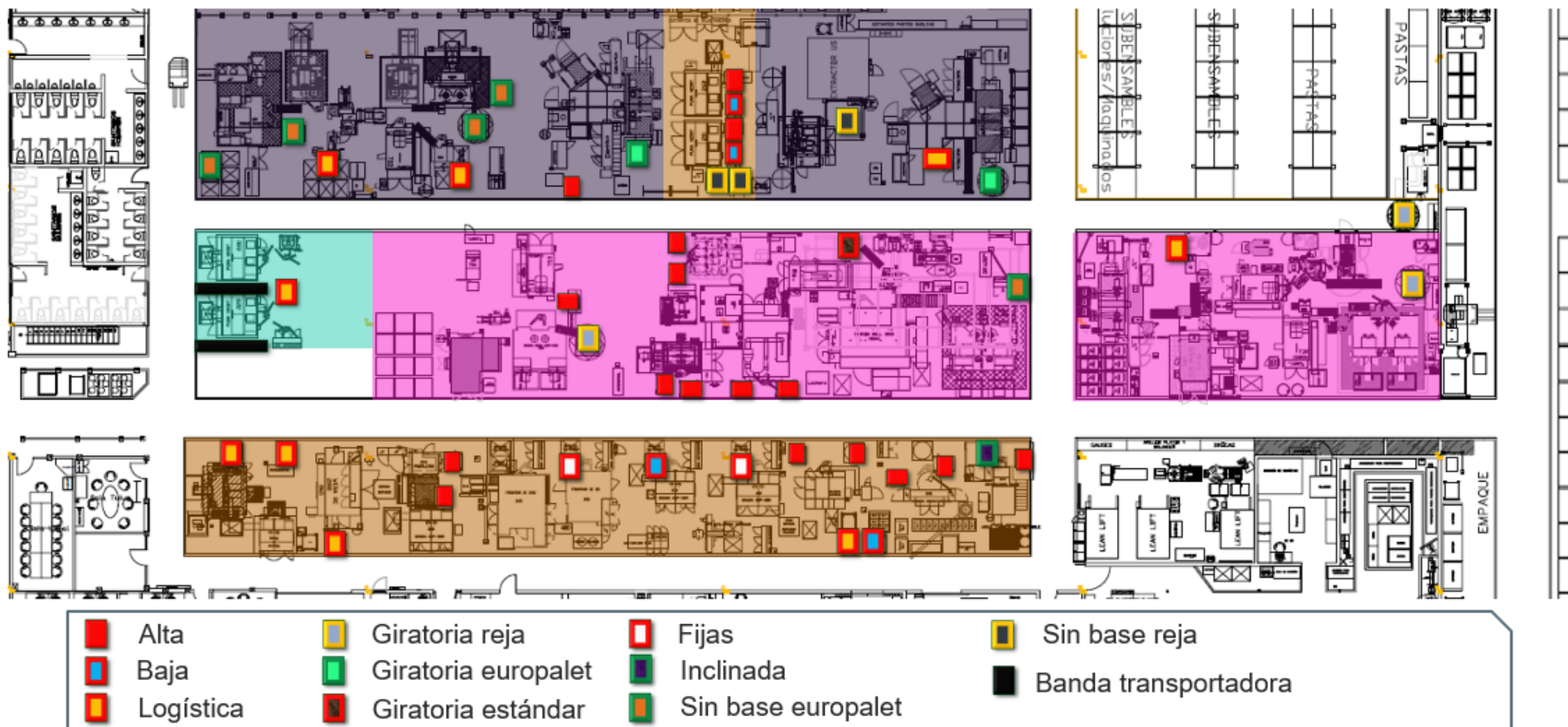
Figura 13. Inventario de bases en área operativa de maquinados antes de implementación.

Bases			
Nombre	Tamaño	Cantidad	Dimensiones (cm)
Logística	Tina estándar	9	80 x 100
Alta		17	
Baja		4	
Giratoria	Reja	3	100 x 120
	Europalet	2	80 x 120
	Tina estándar	1	80 x 100
Fija al piso	Tina estándar	2	80 x 100
Inclinada	Europalet	1	80 x 120
Sin base	Europalet	5	80 x 120
	Reja	3	100 x 120
Total		47	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En conclusión, se necesitan 47 vagones en el área operativa de maquinados para que todos los contenedores de materiales se encuentren colocados sobre una base que el tigger pueda arrastrar.

Figura 14. Características de bases para cada punto de abastecimiento antes de la implementación de tugger



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Vagones en el tugging y PSA

En el apartado anterior se obtuvo el número total de bases para el área operativa de maquinados, sin embargo, esta no es la cantidad total necesaria para que el tugging pueda ser implementado ya que aún no se han contabilizado las bases que estarán en el PSA ni las que estarán siendo jaladas por el tugging. Para calcular la cantidad de bases que el tugging remolcará en promedio, se utilizó una macro en Excel del departamento de logística de la empresa, este documento calcula la cantidad de contenedores que un tugging tiene que jalar de acuerdo con una carga de abastecimiento signada, la cual se define mediante:

- Requerimientos de materia prima.
- Velocidad de tránsito de tugging.
- Cantidad de estaciones a alimentar.
- Velocidad de consumo por material.
- Esquema de recolección de material.
- Número de conductores de tugging.
- Número de recolectores de material.
- Distancia caminando que se desplaza un vagón hasta el tugging en la zona de recolección.
- Distancia que el conductor de tugging maneja a través de la zona de recolección.
- Distancia promedio que se tiene que empujar un vagón el conductor de tugging hasta su punto de abastecimiento.

Para determinar los requerimientos de materia prima se utilizó información de la producción de los días 10 al 21 de abril del 2019, el tamaño de la muestra se debe principalmente al limitado tiempo para realizar la fase de análisis. El resultado obtenido de esta plantilla fue de 3.2 contadores por ciclo, lo cual se puede interpretar como que, de haber abastecido el tugging en lugar del montacargas durante el tiempo estudiado, este habría jalado en promedio 3.2 contenedores por ciclo, con esto se definió a 3 el número de vagones con el que se contará en el tugging.

El número de materiales precargados en el área de recolección (PSA) se calculó en base a las políticas de operación del departamento de flujo y manejo de materiales, el cual indica que debe de existir suficiente materia prima precargada en los vagones para cubrir los requerimientos de producción de 2 horas, esto se hace así para que el conductor del tigger pueda hacer su propio abastecimiento de vagones y no tenga que solicitar la ayuda de un montacarguista constantemente para que le baje los materiales de un estante a una base. Teniendo esto en cuenta, si en promedio se consumen 3.2 contenedores por ciclo y queremos tener un margen de 2 horas de materiales listos para ser entregados a las líneas de producción, tomando el tiempo de ciclo determinado a 30 minutos tenemos que se necesitan $12.8 \approx 13$ vagones con material listos en el área de recolección.

Cantidad total de vagones para funcionamiento de Tigger

La siguiente tabla contiene la cantidad de vagones necesarios en el en el área de producción para la implementación del tigger, es importante mencionar que en esta figura ya está actualizada la sustitución de las bases giratorias y fijas que se mencionaron en la sección anterior.

Figura 15. Bases necesarias para suministro de materiales con tigger en área de producción

Bases de área de producción				
Tipo	Nombre	Tamaño	Cantidad	Dimensiones (cm)
1	Logística	Tina estándar	9	80 x 100
	Alta		19	
2	Baja	Tina estándar	4	80 x 100
3	Giratoria	Tina estándar	1	80 x 100
4	Inclinada	Europalet	1	80 x 120
5	Europalet	Europalet	7	80 x 120
6	Reja	Reja	6	100 x 120
Total			47	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el gráfico 15 se clasifican las bases en 6 tipos diferentes, es importante aclarar que las bases logísticas y altas se clasificaron en el mismo tipo debido a que tienen la misma altura. También se puede observar que en comparación con la figura 13, las bases “giratorias” tamaño “reja”, ahora se contabilizaron como base tipo 6, las bases “giratorias” tamaño “europalet” pasaron a contabilizarse en tipo 5, y las bases tipo “fija al piso” pasaron a formar parte del tipo 1 sumándose a la cantidad de bases “altas”, esto debido a que se removerán estas bases giratorias y se reemplazarán por vagones de estas dimensiones durante la fase de implementación. Así mismo, las bases que se encontraban contabilizadas como “sin base” tipo “europalet” pasaron a contabilizarse como tipo 5, y las “sin base” tipo “reja” ahora se cuentan como base tipo 6.

Como se mencionó en el apartado anterior, la cantidad de vagones a disponer en el PSA será de 13 para tener una cobertura de abastecimiento por dos horas y la cantidad de vagones que el tigger jalará en promedio son 3 lo cual nos indica que tendremos 16 vagones adicionales a los que se encontrarán en producción o área operativa, no obstante, existen al menos 6 tipos de vagones que podrían ser escogidos para ocupar esos 16 vagones adicionales. Para determinar el número de vagones necesarios por cada tipo en el PSA y el tigger, estos se determinaron de manera proporcional de acuerdo con la cantidad de vagones que habrá en piso, todo dentro de las limitaciones de vagones adicionales que se podrán tener. El número total y la distribución de vagones en el PSA y tigger quedó de la siguiente manera:

Figura 16. Cantidad y tipos de bases en PSA y tugger.

Bases de PSA y Tugger				
Tipo	Nombre	Tamaño	Cantidad	Dimensiones (cm)
1	Logística	Tina estándar	5	80 x 100
	Alta			
2	Baja	Tina estándar	3	80 x 100
3	Giratoria	Tina estándar	1	80 x 100
4	Inclinada	Europalet	1	80 x 120
5	Europalet	Europalet	3	80 x 120
6	Reja	Reja	3	100 x 120
Total			16	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Después de todos estos análisis realizados, se llegó a la conclusión de que son necesarios 63 vagones para implementar el sistema de tugger en el área de maquinados, los cuales son la suma de las bases para el funcionamiento de tugger en el área de producción (figura 15) y las bases necesarias para el PSA y tugger (figura 16). También será necesario un *shelf wagon*¹⁵ para poder alimentar con KLT's los transportadores de rodillos de líneas de estatores.

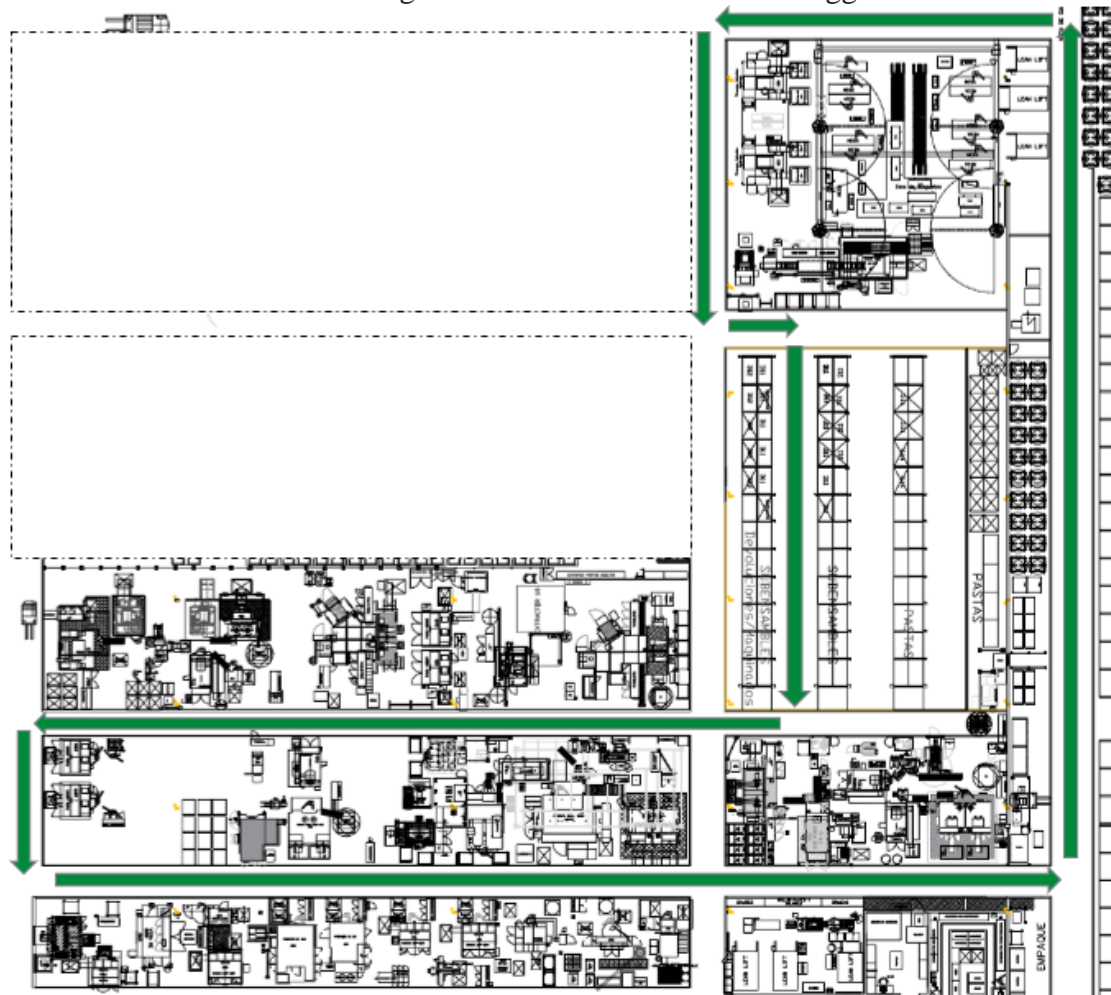
¹⁵ El Shelf Wagon es un transportador de carga multipropósito para logística interna y externa. (Lean Factory America, s.f.)

Ruta y tiempo de ciclo de tugger

El tiempo de ciclo del tugger se determinó a partir del Plan for Every Part con la información recopilada durante la fase de medición de las piezas más producidas, a partir de los datos obtenidos de esta plantilla se identificó el material que se consume más rápidamente (057918120-0000) y con este dato se definió que el tiempo de ciclo de tugger debía ser de 30 minutos, es importante mencionar que esta decisión fue consultada y aceptada por el responsable de los equipos de tugger de la empresa.

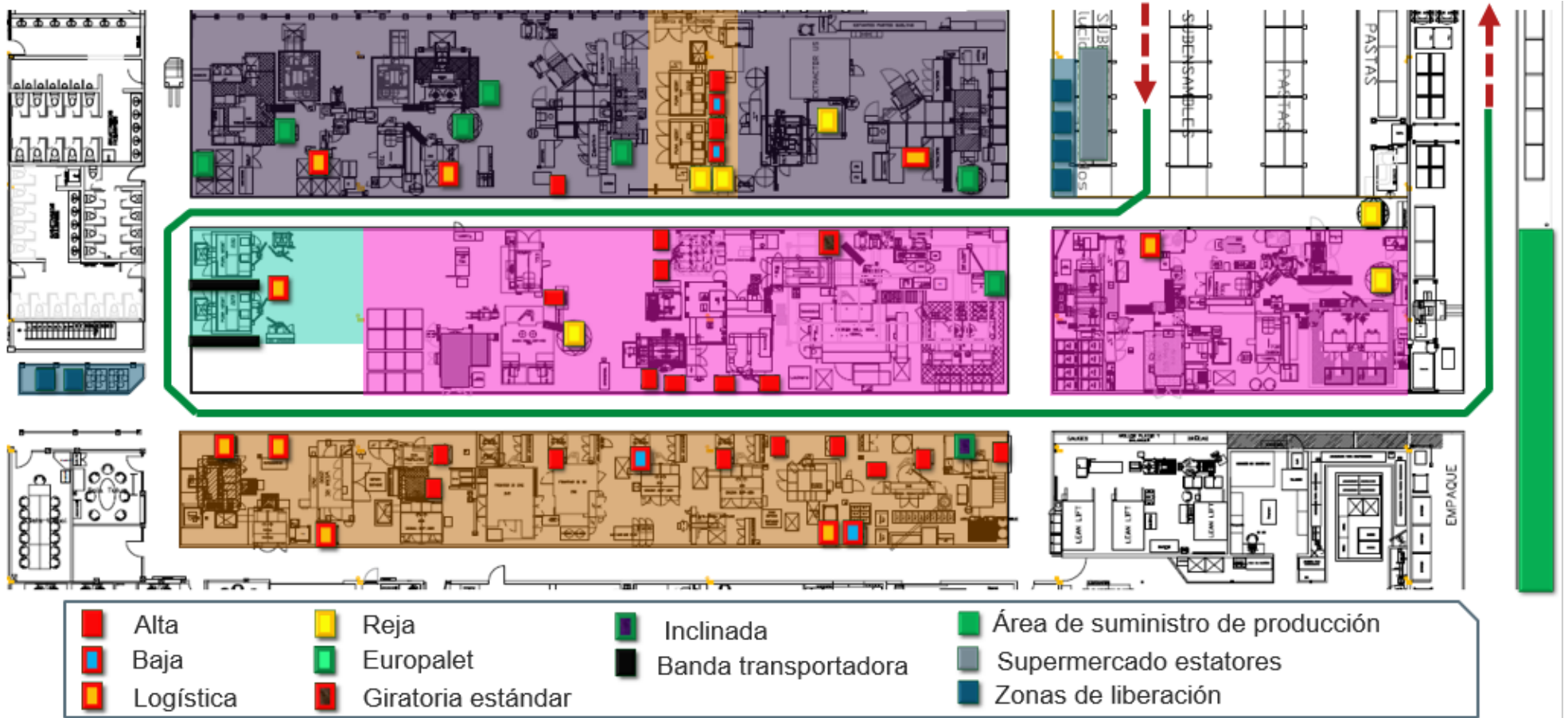
El primer paso para establecer la ruta de tugger fue definir los puntos en los cuales es necesaria realizar carga o descarga de material, una vez obtenida esta información, lo siguiente fue establecer posibles rutas de suministro que pudieran alimentar a todas las líneas productivas, y que además pasara por el PSA, el supermercado de recolección estatores y las 2 zonas de liberación de material, al hacer esto se tomaron en cuenta aspectos como el sentido de los pasillos (debido a que ya hay otros tugger en circulación que pasan por algunos pasillos) y el hacer que cada punto de abastecimiento quede lo más acercado a la ruta establecida, el análisis de esta trayecto se realizó en conjunto con el responsable de los equipos de montacargas, el responsable de los equipos de tugger y el responsable de las modificaciones a los layout y la decisión final fue establecer la siguiente ruta:

Figura 17. Ruta de suministro de tugger



Fuente: Elaboración propia, información corporativa, 2019.

Figura 18. Ruta de suministro de tigger en maquinados convencionales con tipos de base a suministrar finales.



Fuente: Elaboración propia, información corporativa, 2019.

Situación inicial de área de suministro de producción

De acuerdo con la metodología *line-back planning*, el lugar donde se hace la recolección de los materiales debe organizarse y ordenarse para hacer más eficiente el proceso de colocación y recolección de contenedores y vagones. El área de suministro de producción para maquinados convencionales cuenta con 11 estantes de 3 niveles dentro de los cuales se deben de acomodar los materiales para la producción de volantes, bujes y platos. Sin embargo, no está estandarizada la forma en que se acomodan los contenedores ya que, de acuerdo con entrevistas realizadas con los responsables del área, estos actualmente se acomodan en donde se le indique al montacarguista o simplemente donde encuentre un espacio vacío. Por lo que fue necesario realizar un análisis acerca de la situación inicial del PSA, para así poder hacer una propuesta de ordenamiento de este.

Se realizó un inventario para identificar todos los materiales en base a la producción a la que iban dirigidos, cada uno de los materiales se identificó de la siguiente manera:

- Color rosa: Volantes.
- Color café: Platos.
- Color azul: Bujes.
- Color morado: estatores.
- Color verde: otros materiales.

Imagen 6. Análisis visual de contenedores en estantes 1-4.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

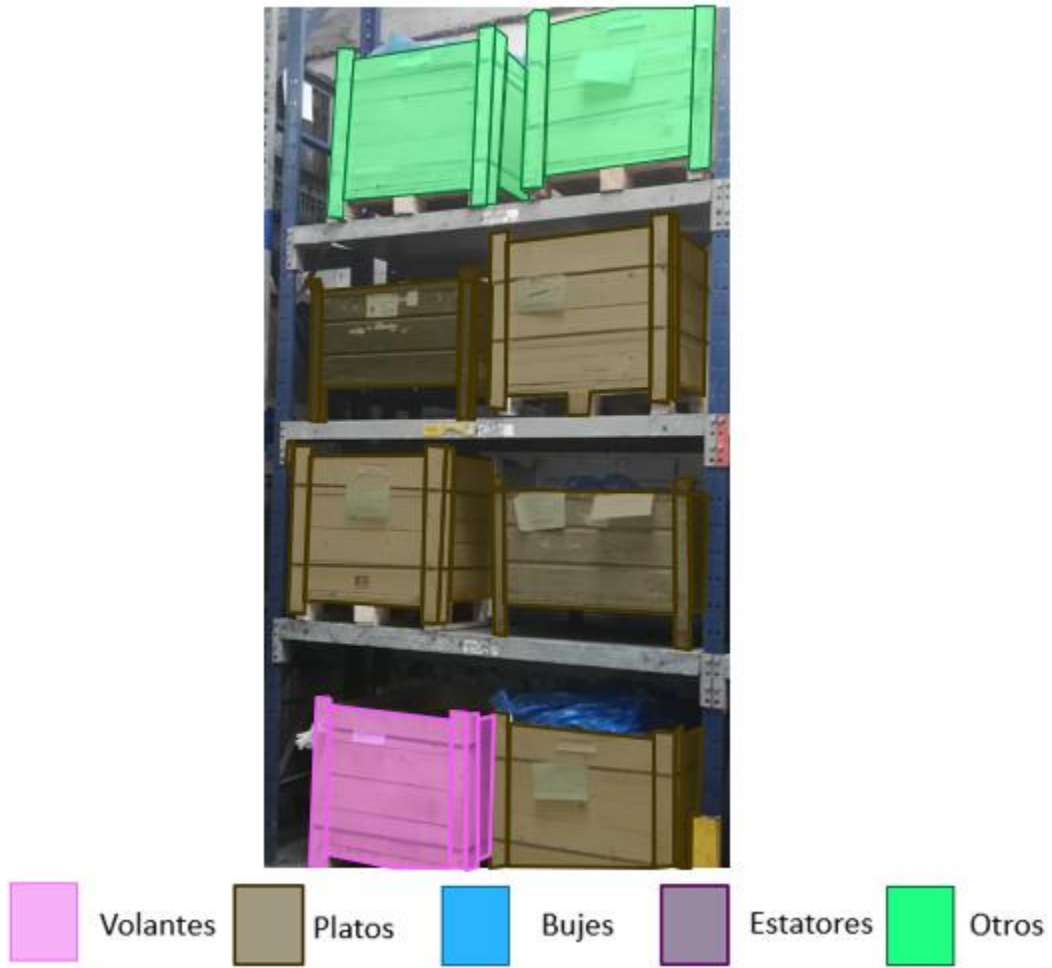


Imagen 7. Análisis visual de contenedores en estante 5

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Imagen 8. Análisis visual de contenedores en estantes 6-8.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Imagen 9. Análisis visual de contenedores en estantes 9-11.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Después de realizar este análisis del área de suministro de producción se detectaron los siguientes problemas:

- No existe una asignación de estantes a cada área para la producción, lo cual dificulta encontrar los materiales cuando se solicitan.
- Existen materiales que no están identificados.
- Existen materiales que datan del año 2014 que se encuentran oxidados y empolvados.
- Existen materiales de otras áreas que no deberían encontrarse en el PSA de maquinados convencionales.

Es importante mencionar que se contabilizaron los contenedores de componentes para estatores, pero su lugar de almacenamiento es en un supermercado debido a que estos componentes deben de pasarse de GLT's KLT's en esa área, ya que con este último tamaño contenedor se alimentan las bandas transportadoras de las líneas de estatores, por lo que para la propuesta de mejora del PSA en el siguiente apartado solo tomará en cuenta los contenedores de volantes, platos y bujes.

Corrida de prueba del tugger (Análisis Gemba)

Para realizar la corrida de prueba del Tugger se utilizó toda la información recopilada y calculada de esta y las fases anteriores, las condiciones de la prueba fueron las siguientes:

- Se colocaron los contenedores más pesados de acuerdo con el Plan for Every Part.
- Se colocó el *shelf-wagon* y 3 vagones de contenedores de material.
- Se siguió la ruta de abastecimiento establecida y se cronometró el tiempo.

La finalidad de esta prueba fue analizar en la práctica cómo se comportaba el tugger con una carga de contenedores al transitar por la ruta diseñada durante el tiempo designado, a lo largo de esta prueba no se realizó abastecimiento de material a ninguna línea de producción.

Después de realizar esta corrida de prueba se detectaron los siguientes problemas:

1. La colocación de contenedores sobre los vagones fue lenta debido a que el área de suministro de materiales se encuentra desordenada.
2. Los vagones del área de maquinados convencionales no se encuentran en condiciones para funcionar con el tugger. Necesitan nuevas llantas, manubrios, barras de remolque y jalones.
3. Al circular por los pasillos el tugger tuvo muchos problemas para dar una vuelta en frente del área de platos.
4. Un escritorio de la empresa se encuentra sobre la línea de guarda por lo que debe reubicarse para que no obstruya el paso del tugger.

Todos estos incidentes afectan y comprometen el buen funcionamiento del tugger, razón por la cual fue necesario solucionarlos antes de que entrara en funcionamiento del nuevo sistema de abastecimiento. En la siguiente fase de mejora, se habla más acerca de cómo se resolvieron estos problemas y cuál fue el resultado final de ello.

Imagen 10. Fotograma de video de primera prueba de tugger

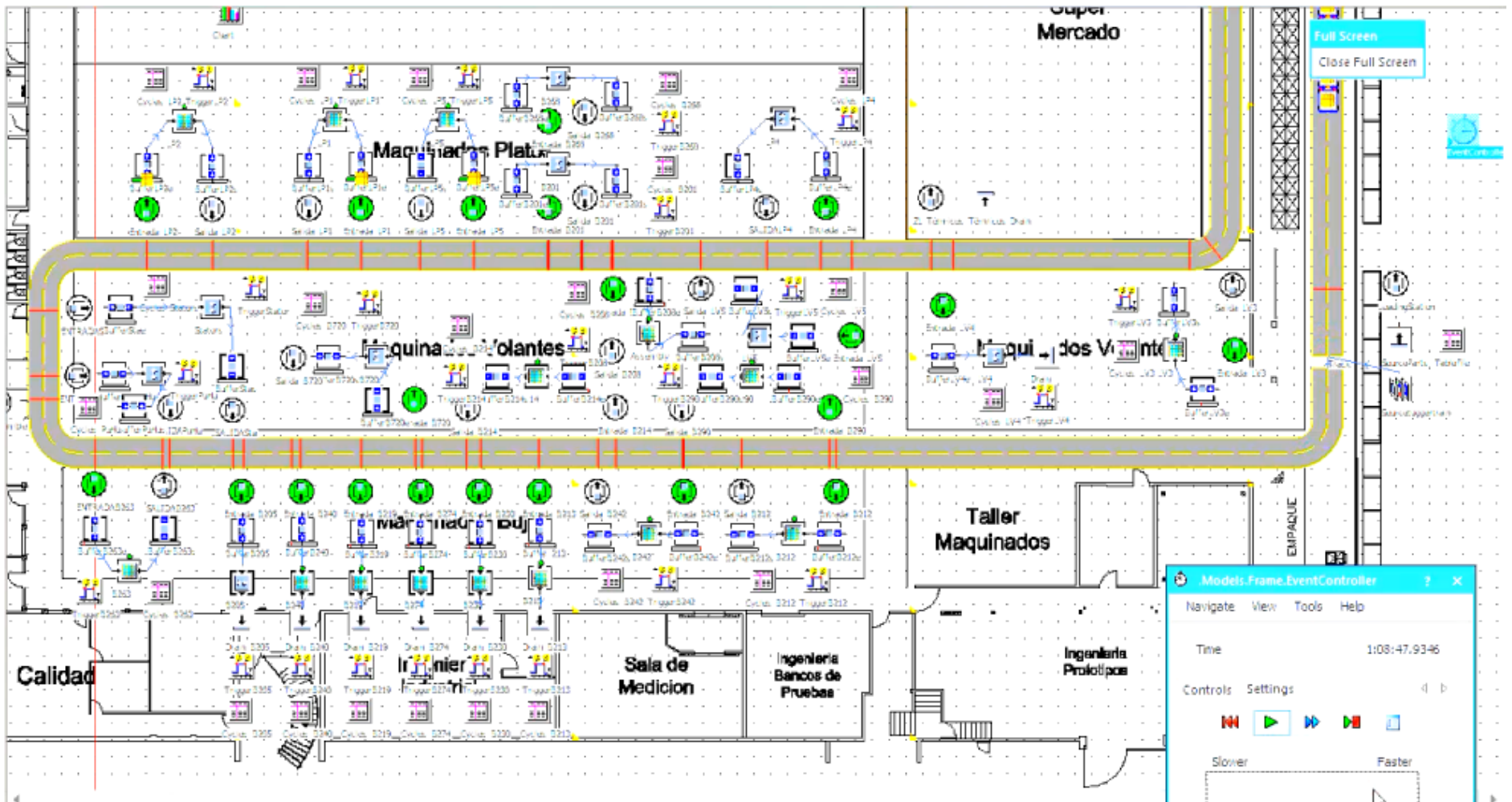


Fuente: Elaboración propia, 2019.

Simulación de sistema de suministro

Una vez definidos los parámetros para el suministro del área de maquinados con tugger, fue posible realizar una simulación de ese proceso, esta simulación fue alimentada directamente con la información recabada del *Plan for Every Part*, el manual de operaciones del tugger, el layout de la planta y el software de registro de la producción de la empresa. La simulación se realizó con el software Plant Simulation, el cual es el software oficial de la empresa en donde fue implementado el proyecto, en total fueron necesarios más de 500 objetos para realizar la simulación de producción de los días seleccionados, en la siguiente imagen se encuentra una captura de pantalla del resultado final:

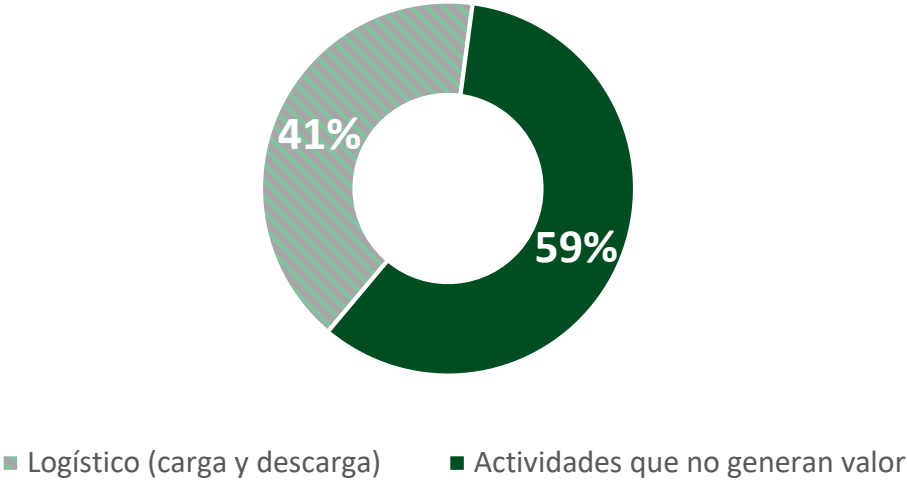
Imagen 11. Captura de simulación de suministro de tigger



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Es importante mencionar que la simulación se realizó con la información de la producción de los días 28 y 29 de marzo y del 1 al 4 de abril del 2019, es decir, los mismos días en los que se realizó el estudio de las actividades logísticas y de inactividad del montacargas, esto para generar una gráfica de utilización de actividades logísticas e inactividad y poder comparar de manera objetiva como se hubiera comportado el tigger bajo la misma carga de trabajo con la que fue estudiado el montacargas.

Gráfico 6. Porcentaje de tiempo de actividades de tigger simulado



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como se puede observar en la gráfica el porcentaje de tiempo dedicado a actividades que no generan valor disminuyó en un 16% comparado con la gráfica de utilización del montacargas obtenida durante de la fase de medición. Gracias a la simulación también se detectaron problemas durante el suministro de materiales que pudieron ser corregidos durante la fase de mejora.

Mejorar

A lo largo de esta fase se desarrollaron las mejoras al área de maquinados convencionales para que el sistema de suministro de tigger iniciara operaciones, también se abordan temas acerca de los costos que ocasionó esta implementación y de los procedimientos realizados para autorizar de las modificaciones al área propuestas.

Condiciones de las bases

Como se mencionó en la fase de análisis, muchas de las bases existentes en el área de maquinados se pudieron adaptar para funcionar con el sistema de tigger, para lograr esto, fue necesario que todas las bases se equiparan con las siguientes características:

1. Contar con una barra de remolque y un jalón soldados a la base.

Esta característica se implementó en todos los vagones, adaptados o nuevos, debido a que todos los vagones deben de tener la capacidad acoplamiento y arrastre con el tigger.

2. Ruedas de 6" con 2 horquillas fijas y 2 horquillas giratorias.

Las ruedas seleccionadas para la implementación fueron de 6" ya que la capacidad de carga de las llantas en conjunto es de 2.56 toneladas, lo permitirá cargar el contenedor más pesado del área de maquinados (1.5 toneladas) con facilidad, lo cual hará más sencillo y ergonómico el trabajo del abastecedor.

3. Colocación de 1 manubrio.

Se decidió colocar un manubrio a todos los vagones para así facilitar su manipulación, tanto para el conductor de tigger durante su abastecimiento, como para los operarios en su estación de trabajo.

4. Pintura amarilla.

Todos los vagones se pintaron de color amarillo para homologarse y también para tener un mejor control sobre los vagones que corresponden al área de maquinados convencionales.

Las reparaciones fueron realizadas a través de un proveedor externo, el cual se encargó de realizar todas las modificaciones con sus respectivos materiales. En la siguiente imagen se puede apreciar un antes y un después de las bases:

Imagen 12. Mejora de bases a vagones



Antes



Después

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Inversión realizada en los vagones

Durante la fase anterior se determinó que son necesarios 63 vagones para la implementación de este proyecto, sin embargo, no todas las bases pudieron ser reutilizadas para funcionar con el sistema de tugging, por lo que otras bases tuvieron que adquirirse nuevas. En la siguiente tabla se presenta la cantidad de bases a reparar y nuevas necesarias de acuerdo con el inventario realizado.

Figura 19. Cantidad de bases a reparar y nuevas

Vagones						
Tipo	Nombre	Tamaño	Cantidad necesaria	Reparación	Nuevos	Dimensiones (cm)
1	Logística	Tina estándar	33	28	5	80 x 100
	Alta					
2	Baja	Tina estándar	7	4	3	80 x 100
3	Giratoria	Tina estándar	2	0	2	80 x 100
4	Inclinada	Europalet	2	0	0	80 x 120
5	Europalet	Europalet	10	6	4	80 x 120
6	Reja	Reja	9	5	4	100 x 120
Total			63	43	18	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Uno de los objetivos de este proyecto fue hacer la menor inversión posible para la implementación, por lo cual durante el desarrollo de esta fase se buscaron alternativas para reducir aún más la inversión en la adquisición de los vagones. Durante un recorrido realizado a uno de los almacenes externos de la empresa, se detectó un conjunto de vagones que se encontraban en desuso y en malas condiciones, pero que, sin embargo, podían ser reparados, se contactó al proveedor de servicios de fabricación de vagones para que fuera a la planta para valorar la situación de los inmuebles encontrados y este corroboró que era posible llevar a cabo una restauración, por lo que fue viable utilizar la materia prima de estas bases para fabricar otros vagones a precio de “reparación”. Los vagones encontrados fueron de las siguientes dimensiones.

- 5 vagones tamaño reja
- 6 vagones tamaño europalet

Tomando en cuenta la adición de estas bases para reparación, se actualizó tabla de la figura 19 quedando las cantidades de la siguiente manera:

Figura 20. Cantidad final de bases a reparar y nuevas.

Vagones						
Tipo	Nombre	Tamaño	Cantidad necesaria	Reparación	Nuevos	Dimensiones (cm)
1	Logística	Tina estándar	33	28	5	80 x 100
	Alta					
2	Baja	Tina estándar	7	4	3	80 x 100
3	Giratoria	Tina estándar	2	0	2	80 x 100
4	Inclinada	Europalet	2	0	0	80 x 120
5	Europalet	Europalet	10	6	4	80 x 120
6	Reja	Reja	9	5	4	100 x 120
Total			63	43	18	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Hay puntos importantes a considerar antes de presentar los costos finales de cada uno de los vagones:

- Aunque las características de las bases tipo 1 y 2 variaban ligeramente entre ellas (altura, manubrio, barras de remolque, jalón), las dimensiones de las bases son iguales, por esta razón el precio de las reparaciones se prorrateó.
- Los vagones con capacidad de inclinación no se incluyeron en la inversión debido a que ya se cuenta con ellos en un almacén de la empresa y ya cuentan con ruedas y horquillas.
- El precio no incluye ruedas y las horquillas.
- Los costos de presentan en dólares.

Los costos de cada vagón se encuentran en la figura 20:

Figura 21. Inversión realizada para la compra de vagones

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Importe
Fabricación de base para tina estándar (tipo 1 y 2)	8	\$ 350.24	\$ 2,801.93
Modificación base para tina estándar	32	\$ 140.10	\$ 4,483.09
Fabricación base para europalet	4	\$ 362.32	\$ 1,449.28
Modificación de base para europalet	6	\$ 144.20	\$ 865.22
Fabricación de base para reja	4	\$ 555.56	\$ 2,222.22
Modificación de base para reja	5	\$ 181.16	\$ 905.80
Fabricación de base giratoria	2	\$ 1,038.65	\$ 2,077.29
TOTAL:			\$14,804.83

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En cuanto a las horquillas y las ruedas, se compraron un total de 204 ruedas, 102 horquillas móviles y 102 horquillas fijas. Es importante recordar que durante el inventariado de bases se detectaron 40 ruedas (6") y horquillas que pudieron ser recuperadas, por lo que se descontaron de la suma total de piezas necesarias.

Figura 22. Inversión realizada para compra de ruedas y horquillas.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Importe
Rueda 6"	204	\$ 40.68	\$ 8,298.72
Horquilla móvil	102	\$ 24.01	\$ 2,449.02
Horquilla fija	102	\$ 8.70	\$ 887.40
TOTAL:			\$11,635.14

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Finalmente, en la siguiente tabla se presenta la suma del total de compras en vagones y en ruedas y horquillas:

Figura 23. Inversión total para acondicionamiento de vagones.

Descripción	Importe
Bases (nuevas y reparación)	\$ 14,804.83
Ruedas y horquillas	\$ 11,635.14
TOTAL:	\$ 26,439.97

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Adaptación de área de suministro de producción

En la fase anterior se realizó un análisis para conocer la situación de los estantes en donde se almacenan los contenedores con materia prima del área de maquinados convencionales, la situación del PSA fue presentada al responsable de almacenes productivos y este se encargó de quitar todos los contenedores con materiales que estuvieran oxidados o que no pertenecieran al área, adicionalmente se propuso y efectuó una distribución de estantes para así facilitar la recolección de materiales, la cual quedó determinada de la siguiente manera:

Imagen 13. Distribución de estantes en PSA determinada.



 Volantes  Platos  Bujes

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los 11 estantes disponibles en el área de PSA se distribuyeron de la siguiente manera:

- 2 estantes para el almacenamiento de volantes.
- 6 estantes para el almacenamiento de platos.
- 3 estantes para el almacenamiento de bujes.

Para determinar la cantidad de estantes para cada área se realizó una junta con los ingenieros de manufactura de las 3 áreas, en la cual se definió esta distribución, la cual va proporcionalmente a las necesidades de almacenamiento para la producción de cada componente. La distribución de los estantes se definió también de acuerdo con el orden de entrega establecido en la ruta de abastecimiento, por esta razón la primera línea en alimentarse (volantes) será la última en engancharse al tigger y siguiendo la misma lógica, la última línea en alimentarse (bujes) será la primera en engancharse al tigger. En la siguiente figura se ilustra el orden establecido en el que se engancharán los vagones.

Imagen 14. Estandarización de orden de entrega de materiales.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Otra adecuación realizada el área de suministro de materiales fue aumentar 10cm la altura entre cada nivel de los estantes, este cambio se realizó para poder almacenar los vagones con contenedores cargados y vacíos en la parte inferior del mueble, de esta manera se puede aprovechar mejor el espacio en el área de suministro de material. Es importante decir que esta modificación no ocasionó ningún costo porque los estantes los movieron los montacarguistas de la empresa, por lo cual no se cargó la modificación al centro de costos de logística. El resultado de esta mejora fue el siguiente:

Imagen 15. Resultado de adecuación de PSA



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Flujo de tugger por los pasillos

Uno de los problemas detectados durante la corrida de prueba del tugger fue que al dar la vuelta por el pasillo de platos dirigiéndose hacia las líneas de estatores, este tuvo muchas dificultades para girar, después de analizar cómo resolver este inconveniente, se concluyó que se tendrían que hacer 2 modificaciones en esa sección para permitir que el tugger circulara correctamente

1. Reubicar un “autocontrol¹⁶” que estorbó durante la corrida de prueba del tugger.
2. Hacer un chaflán en la esquina del pasillo de platos en la vuelta hacia el pasillo de estatores.

El problema con el autocontrol radicaba en que este se encontraba encima de la línea amarilla de seguridad, lo cual era un estorbo para los vagones del tugger al dar la vuelta. Para la reubicación del mueble se tuvo que realizar una petición de reubicación al departamento de informática y al departamento de electricidad, ya que en este “autocontrol” se encontraban conexiones de internet y eléctricas. Al final, este autocontrol se reubico a 56 cm de la línea de seguridad. La modificación se realizó el lunes 27 de mayo del 2019.

Imagen 16. Resultado de reubicación de centro de autocontrol.



Antes



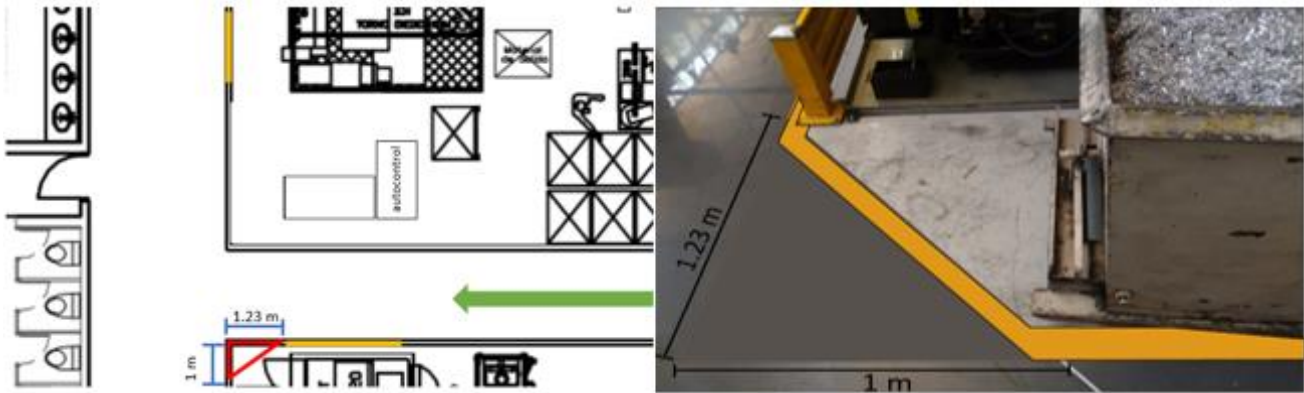
Después

Fuente: Elaboración propia, 2019.

¹⁶ Autocontrol: Nombre dado al inmueble donde se dan de alta los reportes de calidad y algunas otras operaciones administrativas de las áreas productivas. (Información corporativa, 2019)

La segunda propuesta de mejora en el pasillo de platos fue realizar un chaflán con guarda de seguridad en la esquina del área de estatores, esto para mantener esa área despejada y segura para los operarios. Debido a problemas de tiempo con el proveedor, la modificación no pudo realizarse antes de que concluyera el proyecto, sin embargo, esta quedó aprobada y pendiente de realización. Las especificaciones del chaflán son las siguientes:

Imagen 17. Características de chaflán.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como último punto es importante mencionar ambas modificaciones al área tuvieron un costo de 485.56 dólares.

Sustitución del sistema de suministro por montacargas

El sistema de suministro por tugger entró en operaciones el primer turno del lunes 27 de mayo del 2019, durante este día estuvo suministrando al área de platos, bujes, volantes y estatores a excepción de las siguientes dos líneas.

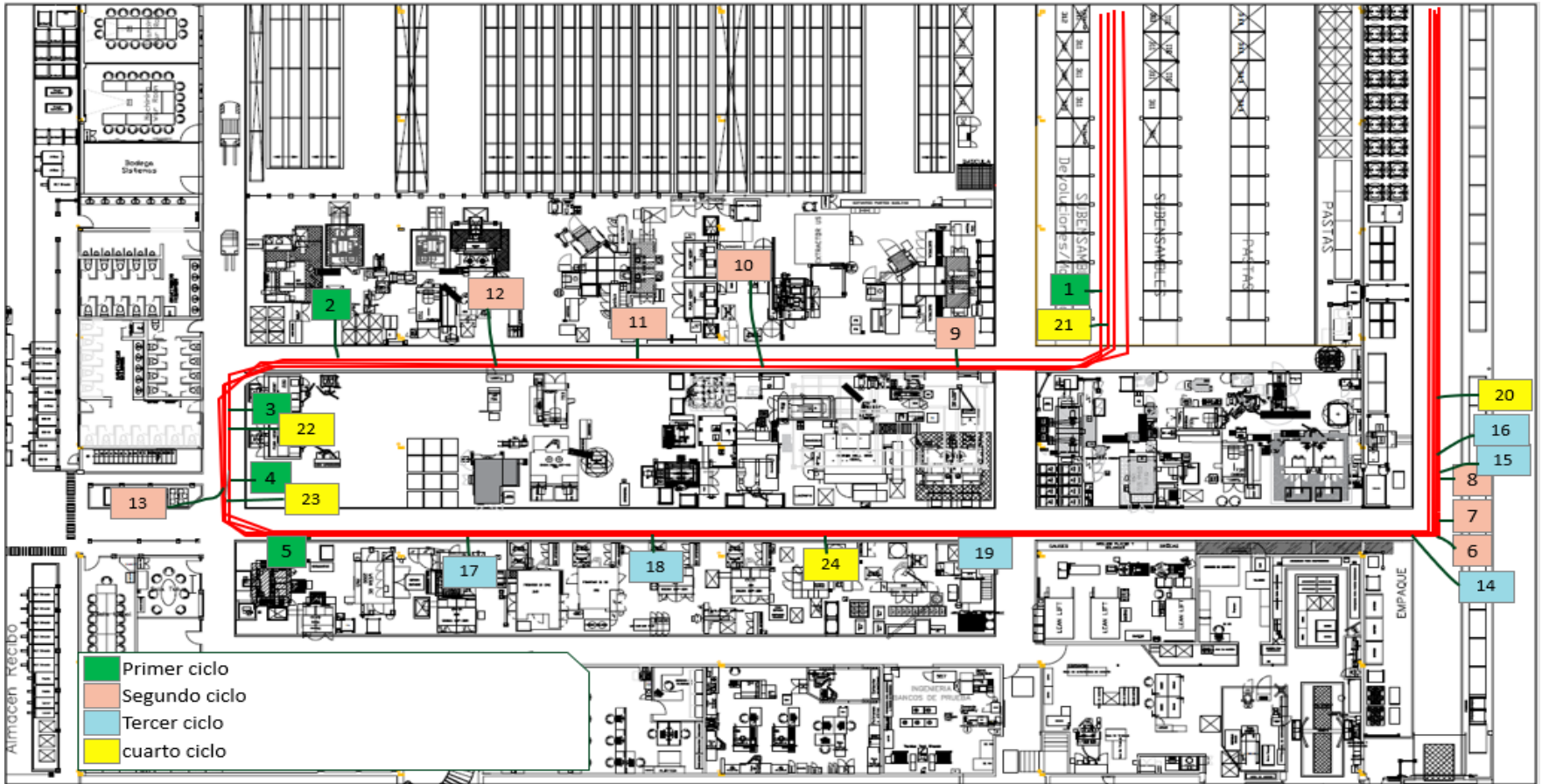
- Línea de volantes 5
- Línea de bujes máquina 242

La razón por la cual no se abastecieron estas líneas es debido a que sus bases aún no se encontraban instaladas en el área de maquinados convencionales, es importante recalcar que los resultados mostrados a continuación fueron obtenidos de información recabada durante 4 días de funcionamiento del tugger, esto se debe al limitado tiempo con el que se contó para mostrar los resultados finales a los gerentes de logística y al gerente general de la empresa.

Diagrama de Espagueti de tigger

Se monitoreó el sistema de suministro por tigger durante el mismo lapso que el montacargas (2 horas), esto para tener una visión de cómo se comportaron los movimientos del tigger durante esas dos horas de abastecimiento, el resultado es el siguiente:

Figura 24. Diagrama de Espagueti de suministro por tugger.



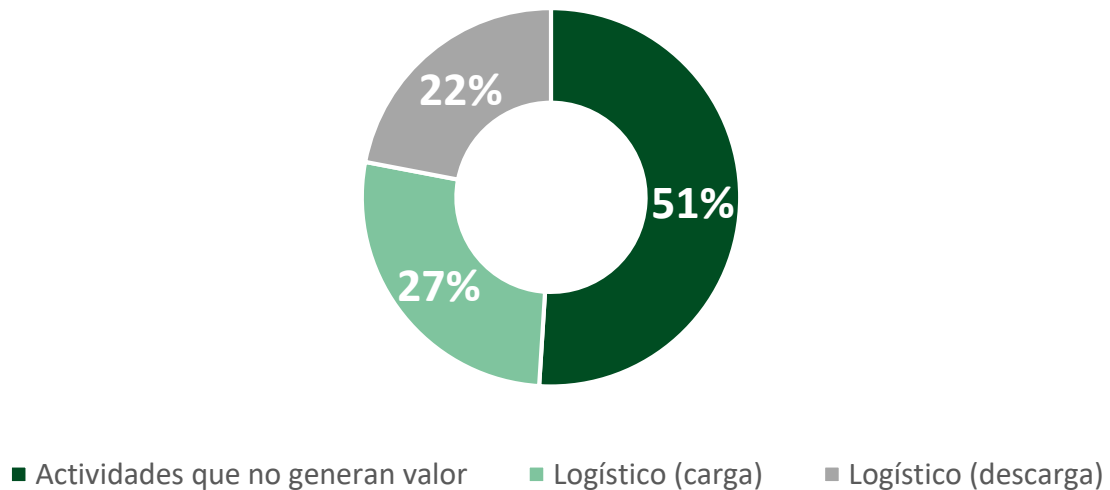
Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el diagrama de Espagueti se pueden ver claramente las mejoras que trae la implementación del tigger al área de maquinados, se puede observar que la ruta de entrega se hace de manera ordenada, ya que los materiales se entregan uno después de otro de acuerdo a la ruta (numeración ascendente), también es visible que ya no existe un exceso de movimientos desde y hacia el PSA puesto que se reabastecen los materiales al tigger solo una vez por cada ciclo gracias a su mayor capacidad de carga, también puede apreciarse que a diferencia del montacargas, el tigger no transita entre las máquinas. Más importante aún, es que ya se puede observar al tigger suministrando a las líneas de estatores.

Eficiencia de suministro de actividades con tigger

La siguiente gráfica de utilización se realizó durante un estudio realizado los días del 27 al 30 de mayo de 2019, días en los que el tigger estuvo abasteciendo al área de maquinados convencionales:

Gráfico 7. Porcentaje de tiempo en actividades de tigger.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Antes de analizar los resultados finales de esta implementación es importante tomar en cuenta los siguientes puntos en consideración:

- No se abastecieron 2 líneas del área de maquinados convencionales debido a condiciones fuera del alcance del proyecto.
- En todo proceso nuevo siempre existe una curva de aprendizaje, motivo por el cual los resultados obtenidos en esta gráfica podrían ser diferentes y mejores una vez que se hayan adaptado los operarios a este nuevo proceso con el suministro de tugger.

Pese a estas consideraciones los resultados de la implementación se consideran de gran valor para evaluar el desempeño del tugger contra el antiguo sistema por montacargas.

En la gráfica 7 se puede observar que el porcentaje de actividades que no genera valor se redujo en un 24%, lo cual hace que proporcionalmente las actividades que generan valor para la logística tales como la carga y descarga de los materiales hayan aumentado en un 24%, esto significa que con el suministro de materiales por tugger, durante el abastecimiento, se desperdicia menos tiempo en manejo y en tiempo muerto o en movimientos sin material en carga.

Controlar

Durante la fase de control se explican las acciones tomadas para asegurar el funcionamiento continuo del tigger después de la implementación, además, en esta sección se incluye el tiempo de recuperación de la inversión debido a que estos se presentaron al final del proyecto al gerente de la planta.

Rotulado y pintado de vagones

Para asegurarse de que los vagones del área de maquinados no se moverán con el paso del tiempo a otras áreas, estos fueron pintados de color amarillo. Además, para facilitar la consolidación de los contenedores de materiales en los vagones, a cada una de las bases se le rotuló su tamaño de base haciendo más fácil el proceso de selección de vagones, lo cual evitara desperdiciar tiempo identificando los vagones durante la consolidación de contenedores.

Imagen 18. Vagones etiquetados de área de maquinados.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Inversión total de proyecto de implementación de ruta de tugger

En el apartado de mejora se presentó la información sobre la inversión total realizada en vagones y modificaciones al área de maquinados, sin embargo, como última parte de la inversión debe tomarse en cuenta la compra del equipo tugger (Anexo 5), así como de la batería para su funcionamiento, en la siguiente tabla se muestra la inversión realizada para adquirir el tugger y su batería.

Figura 25. Costo de tugger y batería.

Modelo	Concepto	Costo total
12-B125-13	Bateria PRIME POWER 24 V	\$ 3,250.00
EZS350NA-24V	Tow traktor	\$ 11,778.00
		\$ 15,028.00

Fuente: Información de proveedor, 2019.

Finalmente, en la siguiente tabla de muestra la sumatoria de los 3 conceptos de inversión principales en el proyecto.

Figura 26. Inversión total de proyecto de implementación.

Concepto	Importe
Bases y ruedas.	\$ 26,439.97
Modificaciones al área de maquinados.	\$ 485.56
Tugger con batería.	\$ 15,028.00
TOTAL:	\$ 41,953.53

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Recuperación de la inversión

Para calcular el tiempo en el que la empresa recuperará la inversión de esta implementación, se tomó en cuenta el costo anual total del equipo de montacargas, el cual es de 13,200 dólares. Estos son pagados en una renta mensual debido a que el equipo de montacargas es de un proveedor externo, es importante considerar que, para calcular el retorno de inversión, solamente se calculó en base al costo renta el equipo de montacargas anualmente, y no se tomaron en cuenta los ahorros que el proyecto generará debido a la disminución de paros de

línea. Otro punto importante de aclarar es que los equipos de tigger por políticas de la empresa deben de ser comprados y no rentados, por esto se buscó el punto de equilibrio en donde el acumulado total de rentas anuales del montacargas igualara o superara la inversión total realizada para la implementación del proyecto de tigger.

Figura 27. Retorno de la inversión en años

Años	Mantenimiento	Inversión Tigger	Renta anual acumulada
Primer año	\$ 450.00	\$ 42,403.53	\$ 11,200.00
Segundo año	\$ 450.00	\$ 42,853.53	\$ 22,400.00
Tercer año	\$ 450.00	\$ 43,303.53	\$ 33,600.00
Cuarto año	\$ 450.00	\$ 43,753.53	\$ 44,800.00

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como se puede observar en la figura 27, para finales del cuarto año de funcionamiento del tigger, la empresa recuperará la inversión total realizada, esto ya tomando en cuenta los mantenimientos realizados al equipo de tigger durante estos 4 años. Adicionalmente se calcula que la vida útil de un tigger es de 8 años (información corporativa, 2019) teniendo así 4 años en los que el equipo sólo generará costos en mantenimiento y devaluación en libros.

Análisis de Modo y Efecto de Fallos (AMEF)

Para asegurarse del correcto funcionamiento del tigger, fue desarrollado un AMEF para así tener procedimientos determinados ante las posibles fallas que podría tener el sistema de suministro por tigger.

Figura 29. AMEF para proceso de tugger

AMEF									
Proceso: Suministro de materiales por Tugger			Hecho por: Jorge Vicente Medrano						
Fecha:			Revisado por: Responsable de suministro de materiales por tugger						
FMEA No. 2			Autorizado por: Responsable de autorización de AMEF						
Artículo / Función	Descripción:	Modo de Falla Potencial:	efecto potencial de fallo	G r a v e	Causa potencial (s) / Mecanismo (s) de la insuficiencia	Pr ob ab ili da	Control actual	de te ct ab ili	RPN
Vagones	Los vagones se desacoplan durante la entrega de materiales	Desacople de los vagones	No es posible conectar un vagón con otro vagón	6	Dispositivo de acoplamiento está en malas condiciones	2	No existe	7	84
			Desacople de un vagón durante el suministro	8	Altura de cople de los vagones no es la adecuada	3	No existe	5	120
Área de suministro de materiales para la producción	Los materiales que se entregan a las líneas no se encuentran en su estante correspondiente	Tiempo de ciclo de abastecimiento de tugger se altera debido a la ineficiencia durante la recolección de materiales	Los materiales no se entregan a tiempo	2	No había suficientes espacio en el PSA para asignar el material	7	No existe	3	42
					El conductor del montacargas asignó incorrectamente el material debido a un fallo en el sistema	5	No existe	7	70
Bases móviles	No hay vagones disponibles para llevar materiales a las líneas de producción	No se puede suministrar material a las líneas	Paros de línea debido a la falta de material	7	Los tipos de vagones se suministraron incorrectamente a líneas	6	No existe	1	42
Ruedas	Las ruedas tienen un fallo mecánico	Los vagones no pueden moverse	Paros de línea debido a la falta de material	5	Debido a la falta de mantenimiento hay un fallo mecánico	6	No existe	2	60
Tugger	Tugger es capaz de llevar hasta 5 contenedores debido a las limitaciones en las vueltas	Debido a las dimensiones de los pasillos no puede llevarse todos los contenedores para	El tugger puede colisionar con algún inmueble del área o trabajador	5	Hay un plan de producción inusual en ese día	2	No existe	1	10
Tugger	La batería de la tugger no es suficiente para completar un turno laboral	Tugger no tiene batería para moverse y abastecer área de maquinados.	Paros de línea debido a la falta de material	8	Responsable de carga de tugger no cargó adecuadamente el equipo / batería en malas condiciones	4	No existe	4	128
Tugger	El peso exceda la capacidad de carga de la tugger (5 Ton)	La capacidad de carga del tugger es excedida	Un material se quedará hasta que la siguiente vuelta de suministro, provocando un tiempo de inactividad de la línea	4	La combinación de las cajas más pesadas en una sola entrega	1	No existe	5	20

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 30. Plan de control de AMEF

Plan de Control						
Artículo / Función	Descripción:	Método de control	Evaluación / Método de medición	Tolerancia	Plan de reacción	Responsabilidad y Fecha de inicio de plan de control
Vagones	Los vagones se desacoplan durante la entrega de materiales	Comprobar el estado del acoplamiento cada 6 meses	Revisar tensión de resorte, así como si hay oxidación en la pieza	2 meses	Pedir un nuevo cople a proveedor	Responsable de equipos de tigger 01/Jun/2019
		Comprobar alineación del acoplamiento cada 6 meses.	Medición del suelo a cople debe de ser de 23 cm	3 cm	Sacar vagón de producción y mandar con proveedor	
Área de suministro de materiales para la producción	Los materiales que se entregan a las líneas no se encuentran en su estante correspondiente	Capacitar a los montacarguistas acerca de la distribución de los materiales	Hacer un inventario de PSA cada 6 meses para observar si se está siguiendo el método.	1 mes	Colocar una ayuda visual	Responsable de almacén 01/Jun/2019
		Destacar los lugares en los que se asignan los materiales	Verificar que las marcas en los estantes aún sean visibles	No hay	Levantar una orden para volver a destacar los lugares de asignación de material	
Bases móviles	No hay vagones disponibles para llevar materiales a las líneas de producción	Revisar las condiciones de los rótulos de identificación cada año	Rótulo es legible SI / NO	No hay	Pedir más rotulos a proveedor	Responsable de equipos de tigger 01/Jun/2019
Ruedas	Las ruedas tienen un fallo mecánico	Mantenimiento a las ruedas cada 12 meses	Cada 12 meses revisar la capacidad de rodamiento de los vagones	1 mes	Hacer orden de compra por nuevas ruedas	Responsable de equipos de tigger 01/Jun/2019
Tigger	Tigger es capaz de llevar hasta 5 contenedores debido a las limitaciones en las vueltas	Capacitación al abastecedor para que realice todas las actividades por ciclo	Capacitar al abastecedor para que conozca sus actividades	No hay	Pedir ayuda a montacarguista para abastecer líneas temporalmente	Responsable de equipos de tigger 01/Jun/2019
Tigger	La batería de la tigger no es suficiente para completar un turno laboral	Programar el tiempo de recarga de la batería. Comprar una segunda batería.	Realizar una prueba de batería cada 2 años para verificar su capacidad de carga.	6 meses	Hacer orden de compra por batería nueva	Responsable de equipos de tigger 01/Jun/2019
Tigger	El peso exceda la capacidad de carga de la tigger (5 Ton)	Verificar que las normas de empaque se cumplan.	Verificar que las normas de empaque se cumplan.	No hay	Pedir ayuda a montacarguista para abastecer líneas temporalmente	Responsable de equipos de tigger 01/Jun/2019

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Matriz de responsabilidades (RACI)

Para asegurar que el tigger siguiera funcionando después de que me acabara el lapso para realizar el proyecto, fue necesario delegar las nuevas las responsabilidades relacionadas al tigger, es de suma importancia mencionar que a cada uno de los responsables delegados fue informado acerca de sus nuevas tareas. Las responsabilidades mostradas en el siguiente gráfico fueron obtenidas después de una reunión con el área de logística y otra reunión con el área de maquinados convencionales.

Figura 30. Matriz de responsabilidades delegadas

No.	Actividad	Responsable	Autorización	Consulta
1	Suministro de materiales a líneas de producción	Conductor de Tigger	Responsable de flujo y manejo de materiales	Jefe de área logística
2	Suministro de materiales a area de suministro para la producción	Conductor de montacargas	Responsable de almacén productivo	-
3	Mantenimiento de Tigger	Responsable de tiggers	Responsable de mantenimiento	Jefe de área logística
4	Entrega de productos terminados	Conductor de Tigger	Responsable de área de producción	Responsable de flujo y manejo de materiales
5	Proyectos de mejora de tigger	Responsable de flujo y manejo de materiales	Responsable de área de mejora continua	Jefe de área logística

Fuente: Elaboración propia, 2019.

CONCLUSIONES

El presente proyecto logró el objetivo de implementar un sistema de suministro de materiales por tugging en el área de maquinados convencionales de una planta productiva del ramo automotriz y reducir el porcentaje de tiempo de actividades que no genera valor durante el suministro de materiales (se redujo en un 24%), esto se debe principalmente a la planeación y a la sincronización entre el sistema de abastecimiento de materiales y los requerimientos de materias primas de las líneas de producción. Por esta razón, la implementación de un sistema de tugging bajo una planeación adecuada siempre traerá una reducción en el desperdicio de movimientos y tiempos (en mayor o menor medida, dependiendo del caso específico), ya que el sistema de tugging es en sí mismo más *pull*, es decir, funciona con base a las necesidades reales del cliente (en este caso de la producción) y no en base a un pronóstico de producción, o a un sistema de entrega tipo taxi.

Por otra parte, queda demostrado que la implementación del sistema de tugging además de mejorar la eficiencia durante el abastecimiento de materiales, tiene otros beneficios para el sistema de distribución interno de materiales. En primer lugar, aumenta considerablemente la capacidad de carga del abastecedor, ya que un montacargas por cuestiones de seguridad debe de cargar un máximo de 3 contenedores estibados, mientras que un tugging, tiene una capacidad de arrastre de hasta 5 contenedores. En segundo lugar, el sistema de tugging es más flexible, esto debido a que puede arrastrar vagones de diferentes tamaños y con diferentes características, siendo así capaz de mover contenedores grandes, medianos o contenedores pequeños en vagones adaptados específicamente para ese propósito. Tercero, un tugging es un equipo más fácil de operar, lo cual disminuye considerablemente los riesgos de causar un accidente. Teniendo en cuenta estos tres puntos principales, capacidad, flexibilidad y seguridad, queda evidenciado en este proyecto que es muy conveniente realizar la transición de un montacargas a un sistema por tugging.

Cambiar el sistema de suministro de materiales de una planta de producción industrial es una tarea que requiere de coordinación y adaptación, especialmente porque se requiere de la sinergia de los departamentos que se ven involucrados durante el proceso de abastecimiento. Se considera de suma importancia el hacer modificaciones que involucren la adaptación del

área de materiales para la producción, para tener una recolección de materiales eficiente. Así mismo es necesaria una adecuación de los pasillos para que el tigger pueda circular sin comprometer la seguridad de los operarios y el desempeño del tigger. Otro punto importante que se debe de tomar en cuenta para la implementación de un sistema de abastecimiento de tigger, es la evaluación de las bases de materiales previas (sí es que existen) para así poder reutilizar el material y así disminuir los costos de inversión, ya que el costo de los vagones puede superar fácilmente los costos de compra del equipo de tigger, haciendo así que el retorno de la inversión sea más tardado.

Otro factor imprescindible para que esta implementación haya sido exitosa se debe a los sistemas de información de la empresa, ya que la planeación del tigger dependió al 100% de la información de cada uno de los procesos y de no haber contado con esta información, este proyecto hubiera tenido que iniciarse desde la medición de los tiempos de ciclo de cada uno de los procesos, lo cual hubiera retrasado muy significativamente los tiempos de implementación. El último factor clave para el éxito de este proyecto fue haber trabajado bajo los lineamientos de la metodología DMAIC, ya que esta metodología permitió tener una guía que seguir en cada una de las etapas de esta implementación.

Cualquier empresa que se plantee hacer una transición de un sistema de abastecimiento por montacargas a uno realizado por un tigger, primero que nada, debe de definir que su problema este directamente relacionado al suministro de materiales, pero más importante aún, debe de analizar si cuenta con los recursos antes mencionados tales como, un sistema de información correctamente alimentado, capacidad de inversión en el nuevo sistema de suministro, y un equipo de trabajo con los conocimientos técnicos necesarios para realizar la implementación con éxito. Es decir, la empresa debe de contar con los recursos tecnológicos, monetarios y humanos para una correcta y oportuna implementación.

Por último, la implementación de este proyecto fue satisfactoria, sin embargo, aún queda mucho espacio para la mejora del proceso de abastecimiento, esto queda evidenciado ya existen plantas productivas de la misma empresa en otras partes del mundo que ya trabajan

con un de tigger complemente automatizado (AGV¹⁷), quita casi por completo la manipulación humana de los materiales, lo cual disminuye el riesgo de cometer un error durante todo el proceso. Este sería el siguiente paso para el sistema de suministro de materiales de la planta en la cual fue realizado este proyecto y una de las tendencias más fuertes en lo que a sistemas de distribución de materiales internos se refiere.

¹⁷ AGV: "Vehículo automatizado guiado" por sus siglas en inglés.

ANEXOS:

Anexo 1. Formato de encuestas realizado a los operarios.

Formato de control para documentos		
Encuestas para elaboración de voice of customer		Edición 2
¿Cuál es el mayor problema al recibir materia prima?		
¿Qué tan en tiempo le entregan el material?		
¿Qué tan seguido hay paros ocasionados por falta de materia prima?		
¿Qué tanto duran esos paros?		
¿Qué tan útil son para usted las bases giratorias?		
¿Le facilitaría el trabajo que la materia prima se le entregara en una base móvil?		
¿Qué tan frecuentemente entrega a tiempo su producto terminado?		
¿Qué tanto tiempo espera su producto terminado hasta que lo recogen?		
¿Qué tanto esperan las tinas vacías antes de ser recogidas?		
¿Qué tan frecuentemente le entregan a tiempo su materia prima?		
¿Qué tan frecuentemente se obstaculizan los montacargas con el Raymond?		
¿Cómo mides si entregaste a tiempo tu material? ¿Hay formas de medirlo?		
¿Si tiene un material defectuoso, cuál es el tiempo en el que le cambian tu materia prima?		
¿Usted se encarga de pedir el nuevo material? ¿Cómo lo hace?		
Elaboró: Jorge Vicente Medrano		
Revisó:		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Anexo 2. Definición operacional del proceso de medición de paros de línea.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Acta de constitución de proyecto autorizada original.

Project Charter													
Project-ID	1	Project title	TUGGER ROUTE IMPLEMENTATION ON MACHINING	Project Type	X - other projects								
Issued by	BUAP	Date	29/05/2019	Document Version	0.0								
Business Case/As-is Situation, Problems, Task			Project Scope										
<p>The conventional machining area of plant 1 has a forklift base supply system; only 1 forklift is in charge of supplying the 22 machining lines, the system has not a defined supply route, and with the planned arrival of new lines the supply system will become even more inefficient.</p> <p>Problems:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unnecessary movements during the supply of materials • Potential risks caused by the forklift maneuvers • Subjective priority on delivery points susceptible to miscommunication • Material requisitions takes too long to deliver <p>Task:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apply DMAIC methodology • Apply linebackplanning methodology 			<p>Within project scope:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conventional Machining Area Plant 1 (Pressure Plates, Flywheels, Stators and Hubs). • Material Flow from Conventional Machining PSA to the Release Areas. • Functional Redesigns limited to Materials Supply. <p>Out of project scope:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Line Balancing. • Materials Flow after the Release Areas. • Materials Flow Prior to Conventional Machining PSA. • SAP Production Programming. • Intern Logistic of each Production Area (Pressure Plates, Flywheels, Stators and Release Bearings). • Materials Flow of Machining PSG Area. 										
Benefit, Targets, Measurement Parameters			Team	Milestones	Project Budget								
<p>Benefit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leaner supply system approach • Better communication with supplier • More load capacity • Anticipation to arrival of stator lines <p>Targets:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tugger Route implementation. • Visual KanBan Implementation applied in those lines where needed and fulfill the required space. <p>Measurement Parameters:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementation of Tugger Route supply system on Machining Plant 1, before CW23. • Driver's Utilization 				<p>Date</p> <p>Start: 11 March 2019</p> <p>End: 31/05/2019</p>	<p>Invest. needed: <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No</p> <p>Amount of invest.: \$50,000.00</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Prim. [T€]</th> <th>Sekun. [T€]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50,000</td> <td>POA</td> </tr> <tr> <td></td> <td>TBD</td> </tr> <tr> <td></td> <td>50,000 T€</td> </tr> </tbody> </table> <p>Projudget Select here</p>	Prim. [T€]	Sekun. [T€]	50,000	POA		TBD		50,000 T€
Prim. [T€]	Sekun. [T€]												
50,000	POA												
	TBD												
	50,000 T€												
Approval (Signatures, Date)													
Project Sponsor		Project Manager											

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Anexo 4. Modelo de montacargas y especificaciones:

MODELO 4150 de HOMBRE PARADO

Montacargas Contrabalanceado Modelo 4150 de Hombre Parado

[SOLICITAR COTIZACION](#)

ESPECIFICACIONES

Diseñados para Satisfacer sus Necesidades de Manejo de Materiales

Capacidad:
3,000 lbs and 3,500 lbs.

Batería
Batería 36 volt

Velocidad de Desplazamiento con Carga:
7.2 mph

Velocidad de Desplazamiento sin Carga:
7.2 mph



Fuente: Montacargas y maquinarias torres S.A de C.V, 2019

Anexo 5. Modelo de tugger utilizado para implementación

EZS 350

Electric tow tractor (5.000 kg)

High energy efficiency levels due to maintenance-free 3-phase AC drive motor



Zoom the image with the mouse

Fuente: Jungheinrich, 2019.

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Layout del área de maquinados convencionales y PSA.....	38
Figura 2. Diagrama de Spaghetti para monitoreo de actividades.....	39
Figura 3. Diagrama S.I.P.O.C de proceso de abastecimiento con montacargas.....	40
Figura 4. QFD realizado a partir de las necesidades del cliente.....	43
Figura 5. Cronograma de actividades desglosado.	44
Figura 6. Acta de constitución de proyecto.....	45
Figura 7. Tabla de piezas incluidas en el Plan for Every Part.....	53
Figura 8. Diagrama de causa y efecto	55
Figura 9. Análisis de los 5 porqués.	56
Figura 10. Puntos de abastecimiento y recolección de área de maquinados convencionales.	57
Figura 11. Inventario de bases logísticas.....	60
Figura 12. Contenedores sin base.....	66
Figura 13. Inventario de bases en área operativa de maquinados antes de implementación.....	67
Figura 14. Características de bases para cada punto de abastecimiento antes de la implementación de tugger.....	68
Figura 15. Bases necesarias para suministro de materiales con tugger en área de producción.....	70
Figura 16. Cantidad y tipos de bases en PSA y tugger.....	72
Figura 17. Ruta de suministro de tugger	74
Figura 18. Ruta de suministro de tugger en maquinados convencionales con tipos de base a suministrar finales.	75
Figura 19. Cantidad de bases a reparar y nuevas	87
Figura 20. Cantidad final de bases a reparar y nuevas.	88
Figura 21. Inversión realizada para la compra de vagones	89
Figura 22. Inversión realizada para compra de ruedas y horquillas.	89
Figura 23. Inversión total para acondicionamiento de vagones.	89
Figura 24. Diagrama de Espaguete de suministro por tugger.....	96
Figura 25. Costo de tugger y batería.	100
Figura 26. Inversión total de proyecto de implementación.....	100
Figura 27. Retorno de la inversión en años.....	101
Figura 29. AMEF para proceso de tugger.....	102

Figura 30. Plan de control de AMEF	103
Figura 30. Matriz de responsabilidades delegadas.....	104

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 1. Paros de producción generales de área bujes, platos y volantes.	47
Gráfico 2. Paros de producción en bujes.....	48
Gráfico 3. Paros de producción en volantes.....	49
Gráfico 4. Paros de producción en platos.....	50
Gráfico 5. Porcentajes de tiempo de actividades de montacargas.....	51
Gráfico 6. Porcentaje de tiempo de actividades de tugger simulado.....	84
Gráfico 7. Porcentaje de tiempo en actividades de tugger.	97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES E IMÁGENES.

Ilustración 1. Empresas de autopartes en México	19
Ilustración 2. Volante de inercia.....	23
Ilustración 3. Constitución de la masa de embrague	24
Ilustración 4. Constitución de disco de embrague	24
Ilustración 5. Constitución de convertido hidráulico de par	25
Imagen 1. Ejemplo de base “alta”	61
Imagen 2. Ejemplo de base “baja”	62
Imagen 3. Ejemplo de base giratoria.....	63
Imagen 4. Ejemplo de base fija al suelo.	64
Imagen 5. Base inclinada existente.	65
Imagen 6. Análisis visual de contenedores en estantes 1-4.....	76
Imagen 7. Análisis visual de contenedores en estante 5	77
Imagen 8. Análisis visual de contenedores en estantes 6-8.	79
Imagen 9. Análisis visual de contenedores en estantes 9-11.	80
Imagen 10. Fotograma de video de primera prueba de tigger.....	82
Imagen 11. Captura de simulación de suministro de tigger	83
Imagen 12. Mejora de bases a vagones	86
Imagen 13. Distribución de estantes en PSA determinada.....	90
Imagen 14. Estandarización de orden de entrega de materiales.	91
Imagen 15. Resultado de adecuación de PSA	92
Imagen 16. Resultado de reubicación de centro de autocontrol.	93
Imagen 17. Características de chaflán.	94
Imagen 18. Vagones etiquetados de área de maquinados.....	99

REFERENCIAS

- Alnahhal, M., & Noche, B. (2013). Efficient material flow in mixed model assembly lines (SpringerPlus. 2:415.). Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1186/2193-1801-2-415>
- Arbuthnott, A., & Von Friedrich Y. (2013). Entrepreneurial renewal in a peripheral region: the case of a winter automotive-testing cluster in Sweden. *Entrepreneurship & Regional Development*, 25(5/6), 371- 403. doi:10.1080/08985626.2012.748095.
- Baerwolff, C. (2011). Tugger trains – a process-oriented approach. In: VDI-Report no. 2136. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.
- Bostelman, R. (2009). Towards Improved Forklift Safety. Recuperado de <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/isd/ms/PerMIS-09-Forklift-Safety-WhitePaper.pdf>
- Bowersox, D. J., & Closs, D. J. (2008). Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento (Ed. rev.). Sao Paulo, Brasil: Atlas.
- Casado, E. Á., Navarro, J. S., & Morales, T. G. (2011). SISTEMAS DE TRANSMISION Y FRENADO (2ª ed.). Madrid, España: Paraninfo.
- Chávez López, I., & Garnica Flores, K. (2007). La industria automotriz en México. Antecedentes, situación actual y perspectivas (221). Recuperado de <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icea/n9/r6.html>
- Christopher, M. (1999a). Logística: aspectos estratégicos (Ed. rev.). Puebla, México: Limusa.
- Cunha, C., & Dominguez, C. (2015). A DMAIC project to improve warranty billing's operations: a case study in a Portuguese car dealer. Recuperado de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1877050915027386?token=817EEE8F7AE619D153F4C1CC994D695A5C121E6486319F62996FFFDE407D807609951DCB6D1113A2A79E97518F166CEF>
- de Lima, O. P., Breval Santiago, S., Rodríguez Taboada, C. M., & Follmann, N. (2017). Una nueva definición de la logística interna y forma de evaluar la misma. *INGENIARE - Revista Chilena de Ingeniería*, 25(2), 264–276. Retrieved from <https://www.proxydgb.buap.mx:2057/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=123888133&lang=es&site=ehost-live>
- Droste, M. and Deuse, J. (2011). A Planning Approach for Inplant Milk Run Processes to Optimize Material Provision in Assembly Systems, In *Proceedings of the 4th CARV*. 605- 610.
- Durán, C. R., & Fundación Friedrich Ebert. (2016). Desarrollo y estructura de la industria automotriz en México (Informe N° 6). Recuperado de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/13016.pdf>
- El Financiero (2015). “Planta en Puebla detonará mercado de EU: Audi” Sección Empresas. Consultado el 1 de abril del 2015 en: <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/planta-en-puebla-detonara-mercadode-eu-audi.html>
- EZS 350 | Jungheinrich. (s.f.). Recuperado 30 septiembre, 2019, de <https://www.cn.jungheinrich.com/en/products/forklift-trucks/tow-tractors/ezs-350/>
- F. Breyfogle III. (2003). Implementing Six Sigma. Estados Unidos: Wiley.
- Grupo Volkswagen. (2018, 28 junio). Descubre la historia de Volkswagen en México [Publicación en un blog]. Recuperado 13 septiembre, 2019, de <https://blog.vw.com.mx/cultura/la-historia-de-vw-en-mexico/>
- Günthner, W. A. and Keuntje, C. (2016), Research report – IntegRoute. Institute for Materials Handling, Material Flow, Logistics. Technical University of Munich, Garching.
- Günthner, W. A., & Boppert, J. (2014). Lean Logistics: Methodisches Vorgehen und praktische Anwendung in der Automobilindustrie (Ed. rev.). Berlin, Alemania: Springer Berlin Heidelberg.
- Hernández Contreras, R. G., Medina Hernández, R. M., & Tenorio Martínez, J. F. T. (2016). INTEGRACIÓN Y COMPETITIVIDAD DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ EN EL ESTADO DE PUEBLA. *Revista Global de Negocios*, 4(3), 62–63. Recuperado de <http://www.theibfr2.com/RePEc/ibf/rgnego/rgn-v4n3-2016/RGN-V4N3-2016-5.pdf>
- Hiregoudar, C. and Reddy, B.R. (2007). Facility planning & layout design: an industrial perspective. Technical Publications Pune, India.
- J. Arthur. (2011). Laser-Focused Process innovation. En *Lean Six Sigma DeMYSTiFieD®(278-279, 287-288)*. Estados Unidos: McGraw-Hill

- J. Morales . (2013). Serie Técnicas de Resolución de Problemas: “Los 5 Por Qué’s”. De 5 Consultores Sitio web: <http://www.5consultores.com/wp-content/uploads/2014/06/WP-T%C3%A9cnicas-Resoluci%C3%B3n-de-Problemas-5-Por-Qu%C3%A9.pdf>
- J. Puche, J. Andrés, J. Gómez, et al. (2005). Guía Práctica para la Simulación de procesos Industriales. España: Centro Tecnológico del Mueble y la Madera de la Región de Murcia.
- Kelterborn, D. M. (2017) Enhancement of a system of predetermined times for assessing the physical strain in production logistics. Doctoral Thesis. Institute for Materials Handling, Material Flow, Logistics. Technical University of Munich, Garching.
- Keuntje, Christopher & Hormes, Fabian & Fottner, Johannes. (2018). Considering technical details in the planning of tugger train systems. 97-105. 10.1145/3195612.3195624.
- Klug, F. (2006). SYNCHRONISED AUTOMOTIVE LOGISTICS: AN OPTIMAL MIX OF PULL AND PUSH PRINCIPLES IN AUTOMOTIVE SUPPLY NETWORKS. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/228901164_Synchronised_automotive_logistics_an_optimal_mix_of_pull_and_push_principles_in_automotive_supply_networks/link/54f88b8e0cf28d6deca2b843
- Kuhlman, P., Edmayr, T., & Sihm, W. (2011). CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1755581711000198>
- Lean Factory America. (s.f.). 3-Shelf Wagon. Recuperado 19 septiembre, 2019, de <http://shop.leanfactoryamerica.com/Pallet-Carts-and-Shelf-Wagons/3-Shelf-Wagon.html>
- Lund, R.T., & Skeels, F.D. Guidelines for an original equipment manufacturer starting a remanufacturing operation. United States.
- M. Muñoz. (S.f). LOS CINCO POR QUÉS (Five Whys). de Universidad Arturo Prat del Estado de Chile Sitio web: <http://www.mpuga.com/docencia/Informacion%20Para%20Las%20Decisiones/Los%20Cinco%20por%20ques.pdf>
- Main bit. (2016). Plan de continuidad operativa de SAT Sitio web: <http://www2.sat.gob.mx/ProyectosSAT/APS3/3%20MAINBIT%20PROP%20TEC%20ECON%20PUNTOS%20PORCENTAJES/PROP%20T%C3%89CNICA%20Y%20ECON%20MICA/0454.pdf>
- Márquez, L. (2004). Las transmisiones. Agrotécnia, ISSN 1886-6514, 1. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Agrotec/Agrotec_2004_12_35_41.pdf
- Martini, A. and Stache, U. (2015), Research report – planning of tugger train systems, In: Proceedings of the 20th Magdeburg Logistics Days. Magdeburg, 85-93.
- Montacargas Contrabalanceado Modelo 4150 de Hombre Parado - Montacargas y Maquinara Torres. (2016, 19 marzo). Recuperado 30 septiembre, 2019, de <http://ventayrentamontacargas.com/montacargas-contrabalanceados-de-hombre-parado/montacargas-contrabalanceado-modelo-4150-de-hombre-parado/>
- Muñoz, R. M. (2007). IMPLEMENTACIÓN DEL DESPLIGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (Q.F.D). Recuperado de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/399/Implementacion%20del%20despliegue.pdf?sequence=1>
- Munro, R. A., Ramu, G., & Zrymiak, D. J. (2015). The Certified Six Sigma Green Belt Handbook, Second Edition (2ª ed.). Milwaukee, Estados Unidos: ASQ Quality Pres.
- Novack, R. A., Rinehart, L. M., & Langley, C. J. Jr. (1994). AN INTERNAL ASSESSMENT OF LOGISTICS VALUE (VOL 15 NO.1). Recuperado de <https://search.proquest.com/openview/39705c4fdca4aaf5818b9b024e2f85e1/1?pq-origsite=gscholar&cbl=36584>
- Pérez Rave, J., La Rotta, D., Sánchez, K., Madera, Y., Restrepo, G., Rodríguez, M., . . . Parra, C. (2011). Identificación y caracterización de mudas de transporte, procesos, movimientos y tiempos de espera en nueve pymes manufactureras incorporando la perspectiva del nivel operativo. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 19(3), 396–408. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052011000300009>
- ProMéxico. (2016). LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ MEXICANA: SITUACIÓN ACTUAL, RETOS Y OPORTUNIDADES (Informe N° 1). Recuperado de <https://promexico.mx/documentos/biblioteca/industria-automotriz-mexicana.pdf>

- Pulido, H. G., & De la Vara Salazar, R. (2009). Control estadístico de calidad y seis sigma (2ª ed.). Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V...
- Ray Shaver (1995). Manual Transmission Clutch System. Society of Automotive Engineers
- Secretaría de Economía. (Marzo 2012). Industria Automotriz. Recuperado de https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/Monografia_Industria_Automotriz_MARZO_2012.pdf
- Senderská, Katarína & Mareš, A. & Václav, Štefan. (2017). Spaghetti diagram application for workers' movement analysis. 79. 139-150.
- Sintonía, (2013) UPAEP, “Puebla Automotive Clúster”. Consultado el 1 de abril del 2015 en: <http://sintonia.mx/mm/PueblaAutomotiveCluster.pdf>
- Socconini, L. (2019). Lean Manufacturing. Paso a Paso (2ª ed.). Barcelona, España: ICG Marge, SL.
- T Staab, E Klenk, S Galka & W A Günthner (2016) Efficiency in in-plant milk-run systems—The influence of routing strategies on system utilization and process stability, Journal of Simulation, 10:2, 137-143, DOI: 10.1057/jos.2015.6
- The Association of German Engineers (2016). VDI Standard 5586 – In-plant milk-run systems. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.
- UNAM. (S.f). GRÁFICA DE PASTEL de Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Sitio web: <http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/Laboratoriovirtualdeestadistica/DOCUMENTOS/TEMA%201/5.%20GRAFICA%20DE%20%20PASTEL.pdf>
- Vargas, A. (2012). IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE OEE EN LA PLANTA DE TEVA PHARMACEUTICALS MÉXICO. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2161/Informe.pdf?sequence=1>

M. en I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Presente.

La que suscribe: Mtra. Karina Martínez Morales, Asesora del tema de tesis:

“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA TUGGER PARA SUMINISTRO DE MATERIALES EN EL ÁREA DE MAQUINADOS CONVENCIONALES DE UNA EMPRESA DEL RAMO AUTOMOTRIZ A TRAVÉS DE METODOLOGÍA DMAIC”.

Presentada por el C. Jorge Vicente Medrano, pasante del Colegio de Ingeniería Industrial, y en atención al oficio No. D- SA 2948/2019 con fecha de emisión 03 de octubre de 2019, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión de la misma.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a 20 de enero de 2020



Mtra. Karina Martínez Morales
Asesora

M'KMM/BARV
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo



BUAP

Oficio D-SA 2948/2019

**C. JORGE VICENTE MEDRANO
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL
Presente.**

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA TUGGER PARA SUMINISTRO DE MATERIALES EN EL ÁREA DE MAQUINADOS CONVENCIONALES DE UNA EMPRESA DEL RAMO AUTOMOTRIZ A TRAVÉS DE METODOLOGÍA DMAIC”.

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como asesor a la Mtra. Karina Martínez Morales, docente de la Facultad de Ingeniería.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Zaragoza 03 de octubre de 2019


M. en I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director



M^oFDLH/M^oAJT/BARV
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo

Facultad
de Ingeniería

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610