

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

Escuela de Ingeniería y Ciencias



**TECNOLOGICO
DE MONTERREY®**

**Eliminación de desperdicios durante el proceso de producción de
Válvulas Misceláneas de Control.**

**TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
ACADÉMICO DE**

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE LA INGENIERÍA

**POR:
Diego Sánchez Soto**

MONTERREY, N.L.

NOVIEMBRE DE 2020

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud a las grandes y numerosas personas con las que he trabajado a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Principalmente a mis padres por su apoyo incondicional durante toda mi vida profesional y personal, han sido mi mayor ejemplo de superación a lo largo de mi vida.

A Tania Guzmán, por su ilimitado apoyo en todos y cada uno de mis sueños y objetivos.

Al Doctor Francisco Tamayo Enríquez, mi asesor de proyecto y docente de maestría, su vasta experiencia en manufactura esbelta ha sido de alto impacto para mi ejecución de proyectos.

Al Doctor Eduardo López Soriano, mi sinodal y docente de maestría, su extenso conocimiento ha desarrollado y enriquecido los conocimientos de los alumnos de la MEM.

Abstracto

El siguiente documento contiene la metodología aplicada durante la fase de mejora continua para potenciar el desempeño de las operaciones a través de la eliminación de desperdicios operativos. Desde el proceso de recolección de datos, estudio de los procesos de manufactura, análisis de causa raíz e innovación en el diagrama de flujo hasta conseguir la propuesta más rentable para la organización. Durante el flujo de procesos de producción realizados para la fabricación de productos hidráulicos se encontró que existía una desconexión entre los procesos operativos, esto es ocasionado debido a las condiciones en las cuales se desenvuelve el producto a lo largo de la planta de producción. Esto se refleja en un bajo desempeño de producción para los productos aquí involucrados.

La solución de esta condición de operación es de carácter importante, ya que condiciones en este estado encarecen la rentabilidad de las empresas y, por lo tanto, resultan no atractivas para el desarrollo de nuevos negocios al contar con procesos operacionales costosos y poco eficientes. Esta condición es solucionada a través de metodologías vigentes para la solución de problemas en todos los ámbitos industriales, por lo tanto, pueden ser utilizadas para la corrección, innovación y mejora continua de cualquier situación presentada y nos impulsará a alcanzar e incluso superar nuestros objetivos organizacionales.

Tabla de contenido

Introducción.	9
Planteamiento general.	9
Ubicación	11
Estado actual.	12
Diagrama de flujo.	14
Justificación del proyecto	24
Objetivos del proyecto	25
Hipótesis de investigación	26
Impacto	26
Marco teórico	28
Metodología	45
Proceso de análisis	45
Diagrama de Ishikawa.	45
Proceso de obtención de datos.	49
Análisis de causas raíz.	53
Propuestas	57
<i>Propuesta A.</i>	57
<i>Propuesta B.</i>	60
<i>Propuesta C.</i>	62
Ventajas y desventajas.	65
Evaluación de propuestas.	68
Selección de propuesta.	70
Pruebas ingenieriles realizadas.	73
<i>Diseño de celda de trabajo.</i>	73
<i>Fábrica de cartón.</i>	73
<i>Análisis de distribución de cargas.</i>	74
Propuesta final.	81
<i>Mejora continua.</i>	82
<i>Estandarización.</i>	84
Resultados	86
Estado actual y estado futuro.	86

Análisis financiero	89
Consideraciones	91
Conclusiones	92
Referencias	97

Listado de tablas

Tabla 1	51
Tabla 2	69
Tabla 3	76
Tabla 4	77
Tabla 5	79
Tabla 6	90

Listado de gráficos

Gráfico 1	18
Gráfico 2	19
Gráfico 3	20
Gráfico 4	21
Gráfico 5	31
Gráfico 6	33
Gráfico 9	40
Gráfico 10	47
Gráfico 11	48
Gráfico 12	52
Gráfico 13	54
Gráfico 14	56
Gráfico 15	56
Gráfico 16	59
Gráfico 17	60
Gráfico 18	60
Gráfico 19	61
Gráfico 20	62
Gráfico 21	62
Gráfico 22	64
Gráfico 23	65
Gráfico 24	65
Gráfico 25	72
Gráfico 26	78
Gráfico 27	80
Gráfico 28	82
Gráfico 29	84
Gráfico 30	87
Gráfico 31	88

Introducción.

Planteamiento general.

A lo largo de este documento se detallará el proyecto bajo nombre “Eliminación de desperdicios durante el proceso de producción de Válvulas Misceláneas de control”. Se enfoca principalmente en la innovación del flujo de procesos llevados a cabo para la manufactura de productos de la planta de hidráulicos, Caterpillar. Se detallará cada uno de los procesos de manufactura por los cuales el producto debe ser procesado, se representará de manera visual el estado actual del flujo de procesos junto con la información de cada uno de ellos y de esta manera se detallarán las propuestas realizadas para la mejora continua del negocio, se mostrarán las herramientas de análisis que se utilizaron para llevar a cabo la toma de decisiones para la selección de la solución más eficiente y rentable para la empresa y por último se ilustrarán los datos analizados de forma gráfica los cuales presentarán el total de beneficios obtenidos al finalizar la vida del proyecto. Es importante señalar que este proyecto se realizó en la empresa de manufactura Caterpillar, mejor conocida como “planta hidráulicos”, ubicada en Nuevo León, México.

Hoy en día, la innovación y mejora continua son temas primordiales para Caterpillar. Una de sus misiones principales es ser una de las empresas más eficientes e innovadoras dentro de la competencia, esto con el objetivo de ser un negocio redituable y atractivo para sus inversionistas y futuros clientes. Es por ello que de manera frecuente destina fondos para capacitación y entrenamiento de su personal en sectores de innovación y desarrollo, de esta manera sus empleados podrán desarrollar y mejorar la ejecución de proyectos de crecimiento del negocio con el apoyo y soporte de personas especializadas que se destinan en cada unidad de trabajo las cuales realizan la función de asesores de proyectos con la meta de motivar e incentivar el

desarrollo de una cultura de mejora en sus empleados, lo cual a mediano y largo plazo aportará crecimiento en cualquiera de los factores críticos del negocio.

En la actualidad, bajo las circunstancias sanitarias por las que acontece el mundo y su impacto en la economía, es más que importante desarrollar proyectos de crecimiento del negocio, es decir, es primordial buscar implementar todo proyecto que tenga como objetivo mejorar la eficiencia de los procesos de fabricación de las industrias, con el objetivo de reducir costos de operación, siempre y cuando exista un análisis financiero fundamentado de manera que pueda ser atractiva su inversión e implementación. Sin embargo, es importante mencionar que la competitividad del sector industrial no se deja a un lado. Anualmente Caterpillar establece metas para reducción de costos de operación y aumenta sus metas de porcentaje de eficiencia en sus plantas, dichas metas son establecidas con el objetivo de mantenerse competente en el mercado y continuar mejorando sus operaciones para ofrecer una variedad de productos con alta calidad a precios justos.

Es importante mencionar, que la planta de producción es resultado de un proyecto de ahorro a nivel internacional para la organización, ya que es una planta en la cual su producto es transferido de Illinois, Estados Unidos a Nuevo León, México y de esta manera, hoy cuenta con cuatro años de haber iniciado operaciones, es decir, el comienzo de la instalación de sus líneas de producción y desarrollo de productos inició en el año 2016. Las implementaciones de los diferentes productos ahora fabricados en las instalaciones ubicadas en Nuevo León se clasificaron en fases, con ello se buscó hacer una transferencia de producto de manera ordenada, seccionándose en tres fases de implementación para la transferencia entre la planta de Estados Unidos y México. Cada una de las fases contenía un volumen considerable de cantidad de números de parte y cada uno de ellos se implementaba bajo el mismo método y técnica de

fabricación anteriormente utilizado, con el fin de evitar problemas de calidad con los clientes y por lo tanto demoras en las entregas. Mencionado lo anterior podemos resumir que todos los procesos y métodos de operación fueron una réplica implementada en la nueva planta de producción.

Ubicación

Caterpillar México cuenta con más de 58 años de presencia siendo la empresa líder en manufactura de equipos de minería y maquinaria de construcción, se encuentra distribuida en estados como San Luis Potosí, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, entre otros.

Actualmente emplea a más de 10,000 trabajadores en México y más de 3,500 en el estado de Nuevo León. En este estado se compone de cinco plantas de manufactura, dos centros de distribución y un centro de energía 100% limpia, además tiene capacidades de embarque por vías terrestres, aéreas, marítimas y ferroviarias. Además, realiza diferentes procesos de manufactura en las cinco plantas mencionadas, entre ellos: soldadura, maquinado, ensamble, pintura, tratamiento térmico, fabricaciones, prueba funcional, entre otras.

Caterpillar participa en el giro metalmeccánico automotriz, su objetivo principal es cumplir con las expectativas de sus clientes, asegurando principalmente la calidad de sus productos, las entregas en tiempo y forma, tomando como base la mejora continua por medio de la innovación de sus procesos, todo ello para llegar a ser una empresa competitiva y de esta manera ser una empresa atractiva para sus accionistas y futuros clientes.

La empresa produce una alta cantidad de números de parte, los cuales aproximadamente alcanzan los 5000 tipos de modelos diferentes, conformando válvulas de transmisión, válvulas de control, bombas hidráulicas y bombas de engranajes. Todos estos grupos de productos son procesados bajo la misma base de procesos de manufactura, es decir: maquinado del cuerpo del

producto el cual está compuesta en su mayoría de acero fundido, rectificación de vástago, lavado, inspección de partículas, ensamble, prueba de hermeticidad, prueba funcional, pintura y embarque. Cabe señalar que cada familia de producto cuenta con su complejidad en particular, cantidad de componentes, tamaño, volumen y forma de producto, etcétera.

Cabe señalar que este proyecto tiene alto significado para la planta de hidráulicos, debido a que será uno de los proyectos pioneros de mejora continua en la planta de manufactura y como resultado abrirá las puertas a la innovación y motivará a sus equipos para la planeación y ejecución de proyectos similares o mejores a este.

El inicio de este proyecto fue llevado a cabo durante el mes de mayo 2020, fecha en donde se comenzó con la formación del equipo, la planeación y análisis del problema. El cierre de este proyecto será ejecutado en el mes de octubre 2020, en donde el proyecto se encontrará en la fase de control y cierre.

Estado actual.

Para dar contexto al problema principal del proyecto, cabe señalar los principales procesos de manufactura de la planta y dar entrada al diagrama de flujo de los productos. Como previamente se ha mencionado, el flujo de procesos de manufactura en la planta de hidráulicos es el siguiente: inicia con el proceso de maquinado, donde se crea la parte principal de nuestros productos, aquí es donde realizamos la mayoría de los conductos internos del producto, se realizan acabados internos y externos, se maquinan las roscas donde más adelante estarán ensamblados componentes ya sea mecánicos, eléctricos o de sujeción. No todos los cuerpos maquinados son fabricados en la planta, algunos son fabricados por proveedores nacionales o internacionales y enviados a Nuevo León para su proceso de fabricación. Posterior a maquinado, continuamos con el proceso de lavado, donde se asegura que la limpieza del

producto cumpla con los requisitos industriales de diseño para evitar, en este caso, que los futuros sistemas hidráulicos presenten mal funcionamiento durante su uso. En donde la mayoría de los casos se pueden presentar contaminaciones del tipo rebabas abrasivas o polvos metálicos, los cuales, con el paso del tiempo en un sistema hidráulico pueden causar graves problemas de funcionamiento e incluso poniendo en riesgo la seguridad del personal que interactúa con el vehículo y, por lo tanto, la limpieza interna del producto es establecida como una característica crítica. Posterior al proceso de lavado, se encuentra el proceso denominado Stem Fit o bien rectificación de vástago, básicamente se realizan los ajustes entre el cuerpo principal del producto y los vástagos que son ensamblados internamente en el cuerpo del sistema hidráulico. Como referencia, estos vástagos realizan la función primaria de control dentro de los sistemas hidráulicos, abren y cierran posiciones a la vez que empieza a ser activados internamente. La activación de la función del vástago puede ser por manera eléctrica, mecánica o hidráulica, dependiendo del modelo a fabricar. Después de haber conseguido el ajuste adecuado entre cuerpo de la válvula y vástago, continuamos con el almacenaje del producto en el supermercado localizado en el cuarto de ensamble. Una vez entregados los cuerpos de válvulas al almacén, se continúa con el proceso de armado de kits, es decir, el departamento de cadena de suministro cuenta con personal que se dedica al armado de kits en el supermercado, durante esta operación el colaborador se encarga de preparar el listado de materiales requerido para cada número de parte en cuestión para ser entregado a la respectiva línea de ensamble donde se procesará su ensamblaje. Estos kits de material pueden variar de 10 hasta de 150 componentes con diferentes cantidades de cada uno, dependiendo del modelo a ser procesado. Una vez teniendo el kit de material listo para su proceso, el colaborador de ensamble continúa para realizar tal operación se encarga de colocar todos los componentes en su lugar correspondientes con sus ajustes, torques y

lubricaciones adecuadas para tener un correcto funcionamiento en su proceso posterior, que es el de prueba funcional. Durante la prueba funcional, se realiza una simulación del funcionamiento del producto, es decir, el producto es instalado en una máquina de prueba en donde se hace la simulación que realizará el producto en el vehículo en donde estará ensamblado. En otras palabras, simular como el producto se desempeña de manera que estuviera en funcionamiento en su siguiente nivel de ensamble o vehículo. Por último, se encuentra el proceso de pintura, dónde colocamos capas de recubrimiento del producto para proteger el producto y evitar imperfeitos en su material, desgastes prematuros y dar acabados superficiales solicitados por el cliente.

Adicional a estos procesos fundamentales, existen otros de funciones secundarias, por ejemplo: laboratorios de contaminación, los cuales se utilizan para certificar la limpieza de los productos y asegurar productos libres de agentes externos al producto, estaciones de rectificado y retrabajo, entre otras.

Diagrama de flujo.

Una vez detallados los procesos principales, continuaremos a describir el flujo que siguen la serie de productos que se encuentran en el alcance de este proyecto.

Como fue comentado con anterioridad, todo inicia en la fabricación del cuerpo de la válvula, en este caso, uno de los tres grupos de productos, son fabricados en casa, quiere decir que son producidos en la planta. El otro grupo de válvulas es procurado por el proveedor. Para ello llamaremos al grupo uno y dos, es decir, los grupos de productos los cuales sus cuerpos son fabricados en casa, como uno y dos, y el grupo que es procurado por proveedor, lo llamaremos tres. Una vez establecido esto, partimos con dos inicios, uno donde su proceso de fabricación inicia en el proceso de maquinado, grupo uno y dos, continua con el proceso de lavado para después terminar de ser almacenado en el supermercado. El otro grupo de productos tiene su

inicio directamente en el proceso de almacenaje en supermercado, caso de grupo tres. Posterior al proceso de almacenaje en supermercado de los tres grupos, continuamos con el proceso de generación de kit de componentes, a partir de la liberación de una orden de producción. Una vez armado el kit de componentes, se entrega a la línea de ensamble correspondiente y continuamos para realizar una nueva operación, Sub ensamble. La operación de subensamble consta de la unión de varios cuerpos de válvulas, con sus respectivos empaques o sellos entre cada unión de cuerpos y se ensamblan por medio de tornillería que abarca desde el cuerpo de válvula inicial hasta el final. El grupo de familias uno y dos, siempre consta de la misma cantidad de cuerpos, tres en total, con su respectiva cantidad de tornillería y empaques. Para el grupo tres, puede variar la cantidad de cuerpos, dependiendo del modelo a fabricar, desde cuatro cuerpos hasta seis cuerpos y de la misma manera que grupo uno y dos, con sus empaques y sellos correspondientes. Observemos que todas estas operaciones han sido llevadas a cabo por medio del ensamble de cuerpos de válvulas, empaques y tornillería, aún sin el vástago ensamblado en el cuerpo de la válvula, a continuación, se explica la razón. Por último, para poder completar la operación de ensamble, aplicamos torques específicos a la tornillería correspondiente, desde 100 Nm hasta torques de 400 Nm. En este último paso generamos una condición especial en el producto y es por lo cual este grupo de productos toma un flujo diferente a todas las demás series de productos fabricados en las líneas de producción. Al aplicar torque de estas magnitudes y bajo estas condiciones, los cuerpos de las válvulas tienden a presentar una deformación interna en el puerto en donde el vástago realiza su función principal. La condición generada en la aplicación del torque a la tornillería de subensamble es llamada pérdida de paralelismo, de manera que si buscamos ensamblar el vástago bajo esas condiciones la pieza no sería capaz de ser funcional ya que el vástago correspondiente a nuestro producto estaría presentando mal funcionamiento a

manera de respuestas tardías durante la prueba funcional del producto. En palabras técnicas, el vástago comenzará a presentar interrupciones indeseadas durante su transcurso de movimiento en el puerto principal y por lo tanto no cumplirá con las especificaciones funcionales del producto. De esta manera no podríamos enviar productos a nuestros clientes hasta contar con un producto funcional sin presentar estas condiciones de trabajo. Es por ello que posterior a la operación de subensamble, retornamos el producto a una estación de rectificado, de esta manera recuperamos la característica adecuada de paralelismo del puerto donde se ensambla el vástago del producto.

El proceso de rectificado consiste en la corrección del paralelismo de la cavidad del vástago por medio del uso de barras cubiertas por polvo de diamante las cuales son activadas a través de pistolas neumáticas. Estas herramientas facilitan la operación, ya que, el giro provocado por las herramientas neumáticas causa que la barra de rectificación tenga una entrada rápida en la cavidad del vástago. Este proceso se realiza repetidas veces en la misma cavidad hasta haber alcanzado el paralelismo adecuado, el cual es medido por un equipo de medición especial para tal característica. Este proceso genera un polvo metálico debido a la fricción entre el cuerpo de la válvula y las barras, es cual es considerada como una partícula abrasiva en las especificaciones de calidad de limpieza, por lo tanto, es vital la eliminación de este residuo en el producto y por ello, posterior al proceso de rectificado se realiza el proceso de lavado. Durante el proceso de lavado se eliminan los polvos abrasivos del producto mediante la aplicación de presión al producto por medio de pistolas de presión y diferentes químicos que benefician al proceso de limpieza. Una vez terminado el proceso de lavado, se continua con la inspección en el laboratorio de contaminación, esto consiste en la inspección del producto en busca de partículas abrasivas por medio de la aplicación de un agente homogéneo libre de contaminación el cual es

aplicado al producto a manera de rociado, una vez que el agente ha sido vaciado a un recipiente, este es inspeccionado por un contador de partículas dentro del laboratorio. Al haber cumplido con las especificaciones de limpieza se lleva a cabo el proceso de Stem fit o ajuste de vástago, como ha sido comentado previamente, aquí se realiza el ajuste correcto de holgura entre el vástago y el cuerpo de la válvula de manera que el producto pueda cumplir su función. Por último, vuelve a ser entregado al proceso de supermercado para ser almacenado y una vez más, vuelve a ser procesado en la operación de ensamble para terminar de colocar el resto de los componentes correspondientes al modelo de producción.

En el gráfico 1 podemos observar el diagrama de flujo que se lleva a cabo durante la producción del grupo de productos uno, dos y tres.

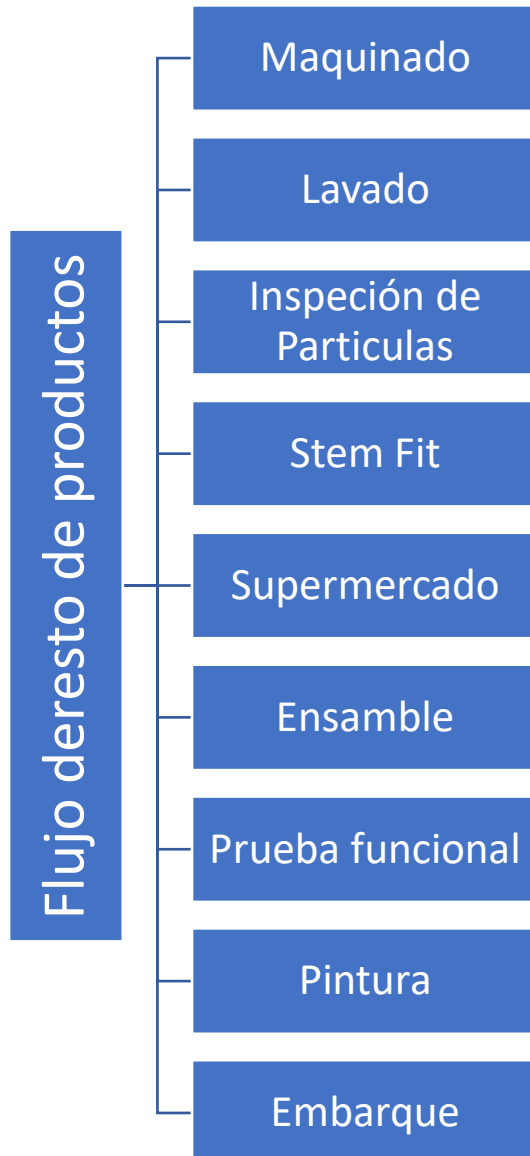
Gráfico 1

Diagrama de flujo productos uno, dos y tres.



Gráfico 2

Diagrama de flujo de resto de productos



Por medio del diagrama de flujo podemos observar la serie de operaciones realizadas para la fabricación del producto en cuestión para este proyecto, sin embargo, para fines de comparación, se puede observar mediante el gráfico 2 la diferencia de operaciones realizadas para el resto de los productos de las líneas de ensamble de válvulas misceláneas de control. De esta manera podemos comparar las disimilitudes que existen entre un método de fabricación y otro, esta condición causa un cambio significativo en el flujo de procesos a nivel de planta, las cual podemos observar por medio del plano detallado en el gráfico 3.

Gráfico 3

Flujo de trabajo para productos uno, dos y tres

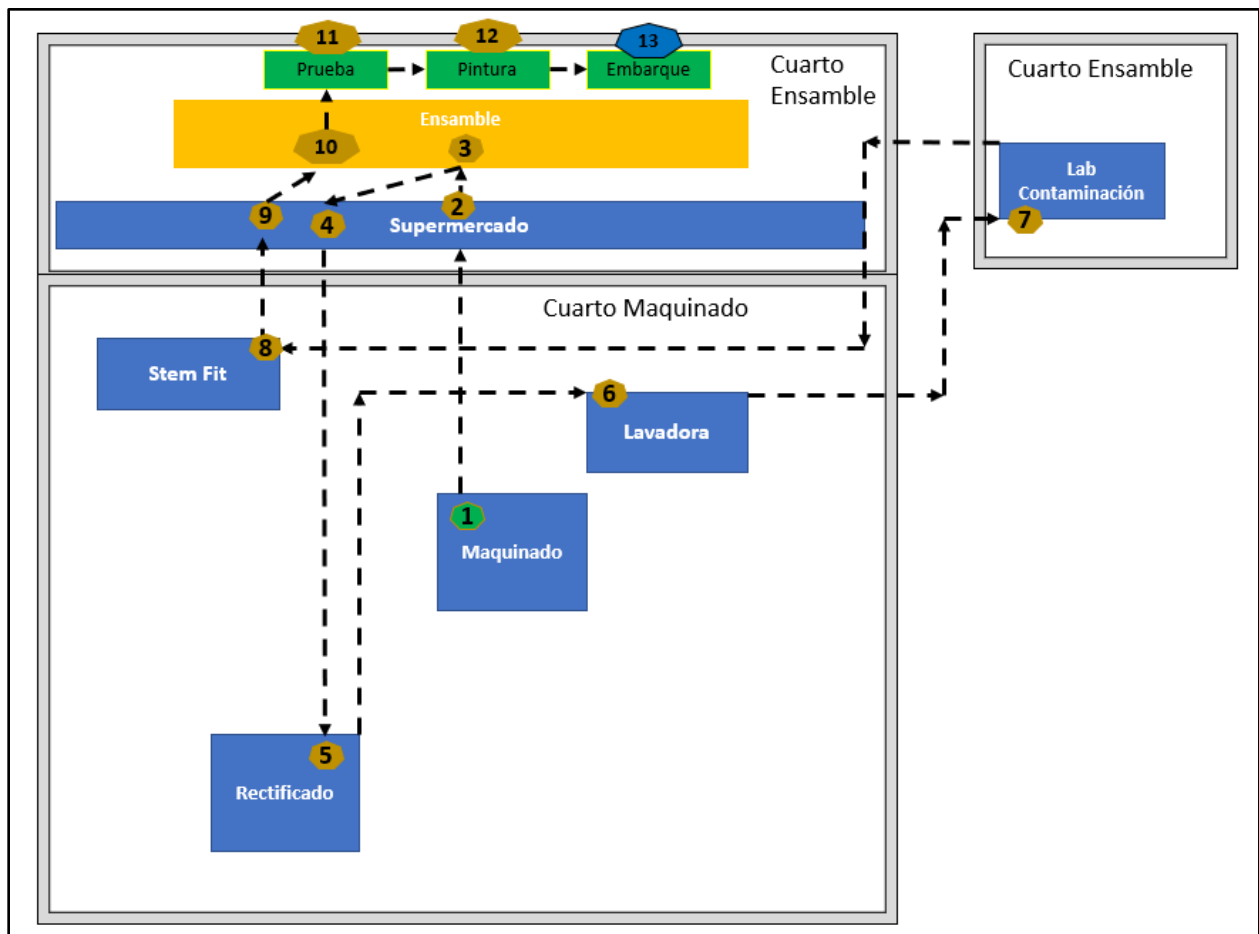
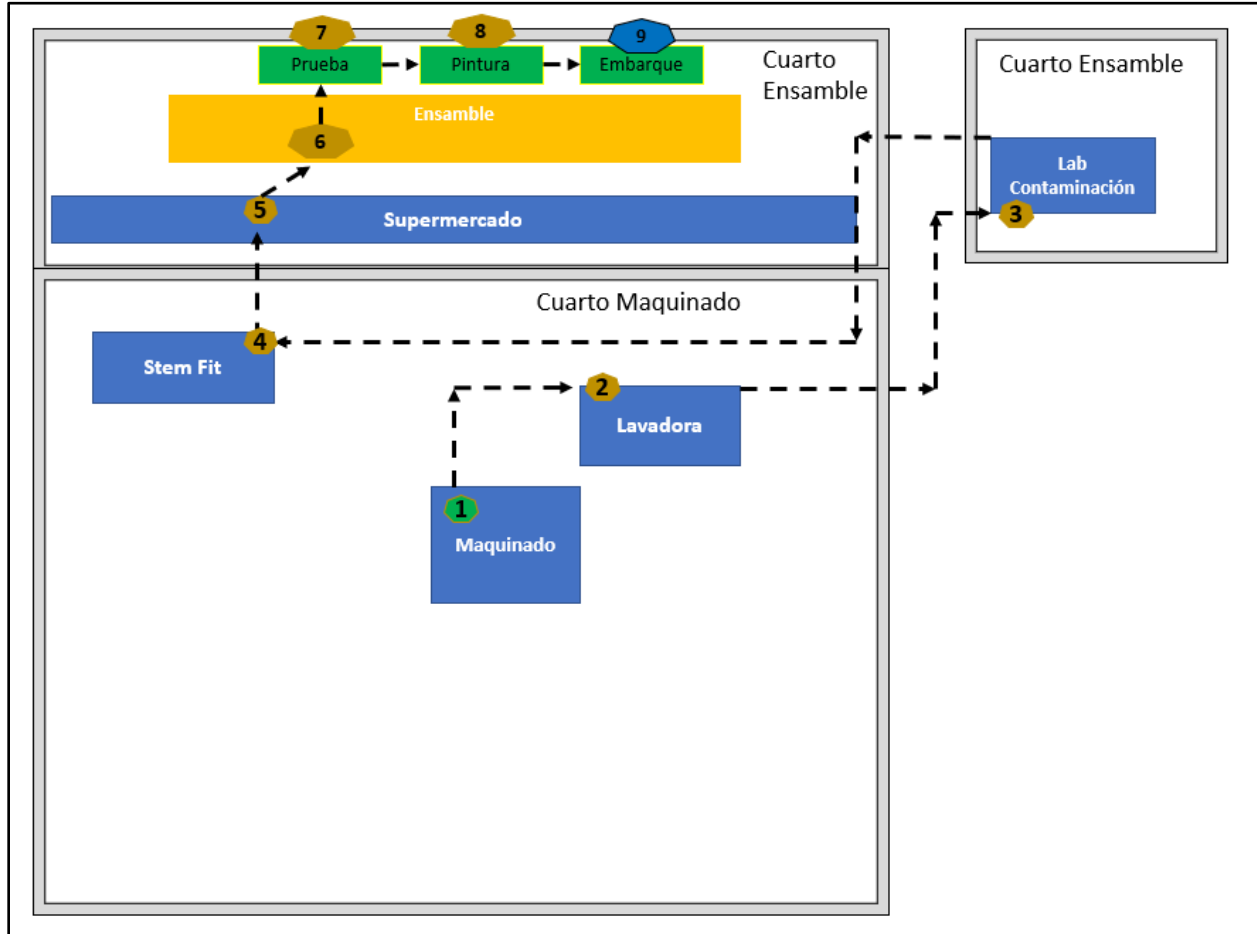


Gráfico 4

Flujo de trabajo para resto de productos



Como es descrito en los gráficos 3 y 4 el proceso de producción se lleva a cabo en 10 principales procesos operativos, donde cada uno de los procesos es realizado por diferentes colaboradores con diferentes equipos, a excepción de la operación de subensamble y ensamble observada en el gráfico 2, estas dos operaciones con número de operación tres y 10 respectivamente, son realizadas por el mismo colaborador con los mismos equipos de producción. De esta manera, en el flujo de productos uno, dos y tres el colaborador de ensamble realiza la operación de sub ensamble (Operación tres) y al terminar esta operación no envía su

producto a la siguiente estación de trabajo, como se realiza en el gráfico 4, en este caso prueba funcional, sino que, hace un retroceso para que sea procesado en la estación de rectificado (Operación cinco), posteriormente de ser enviado al supermercado (Operación cuatro), para que después de la operación de Stem fit (Operación ocho) la pieza vuelva a ser transformada por el operador de ensamble (Operación 10), es decir, el producto vuelve a situarse en la misma estación de trabajo, bajo el mando del mismo colaborador dos veces. Por lo tanto, podemos observar que a medida que avanza el flujo de trabajo para la producción de productos del tipo uno, dos y tres se crea una gran diferencia de procesos en comparación al flujo de trabajo para la producción del resto de productos.

Con base en las condiciones explicadas por medio de los gráficos y tablas analizadas, se plantea que el diagrama de procesos para productos uno, dos y tres es llevado a cabo de manera ineficiente por llevar a cabo operaciones no continuas y efectuando una alta utilización del tiempo del personal para realizar operaciones que no agregan valor al producto, facilitando la generación de desperdicios operacionales como una alta cantidad de transportes realizados para conectar una estación de trabajo a otra, retrocesos realizados durante su flujo de operaciones, baja eficiencia al utilizar los mismos recursos repetidas veces durante su procesamiento y por último, generación de tiempos muertos en procesos posteriores a la operación de ensamble, al momento de que la línea de ensamble es utilizada para realizar productos sub ensambles que operan bajo el diagrama de flujo presentado en el gráfico 2, causando un desabasto de material en la operación 11 de prueba funcional.

Alcance.

Las series de productos que serán beneficiadas por este proyecto estuvieron seccionadas dentro de la fase dos del proyecto de relocalización, es por esto por lo que cuentan con cerca de

dos años de haber sido desarrollados en la planta de Nuevo León. Cabe señalar que el proceso de desarrollo e implementación de estos números de parte seccionados consta de una serie de pasos para poder alcanzar la fase de puesta en producción. Donde primero se inicia con la fase de análisis de producto, aquí se analiza la factibilidad de manufactura del producto y con base en sus características y funcionalidades se establece una línea de producción en donde será procesada, de segunda instancia se realiza la producción de una primera pieza, con ello se asegura el correcto funcionamiento de los equipos de las líneas de producción, se crean estándares de trabajo y se capacita al personal involucrado, después de ello, se realiza la fase de PPAP, donde se asegura el control del proceso para la fase de producción. Una vez terminada la fase de PPAP se procede a entregar el producto a la parte operativa y en caso de ser factible se procede con la mejora continua del proceso y producto.

Durante la fase de mejora continua de los productos beneficiados en el alcance de este proyecto se detectaron múltiples oportunidades durante el proceso de producción. En el análisis realizado a una serie de números de parte se detectó que un desperdicio operativo principal genera una serie continua de desperdicios a manera de efecto domino. El problema principal es que no existe una conexión entre los procesos operativos de la serie de productos en cuestión y por lo tanto no existe un flujo continuo, de manera que el desperdicio principal creado es el exceso de transporte y movimientos realizados para llevar a cabo la producción de tales productos. Mediante herramientas de análisis que se detallarán más adelante, se encuentra que se realizan largos recorridos entre procesos y ello desencadena adicionales desperdicios en procesos posteriores, además de la desconexión del flujo continuo. Entre los desperdicios observados en el análisis, podemos mencionar: exceso de transporte realizado para procesar material de una estación de trabajo a otra, retrabajos y sobre procesos, defectos de calidad, tiempos de espera.

Para Caterpillar esto significa un bajo desempeño en uno de sus principales indicadores: índice de ordenes terminadas en tiempo (*FOL=Finish On Line*), desempeño en la calidad del producto entregado, embarques a cliente, costos por trabajos extraordinarios. Todo esto se resume en un alto costo de producción para Caterpillar, dejando de ser una planta de producción atractiva para futuros mercados debido a su baja rentabilidad, cediendo oportunidad a los mercados competentes en la industria de manufactura.

Durante utilizamos herramientas de manufactura esbelta, en donde el enfoque principal es la eliminación de desperdicios para aumentar la productividad de cada proceso de trabajo.

Herramientas de análisis como diagramas de espagueti, diagramas de tiempo y movimientos, análisis de distribución de cargas, balanceo de línea, análisis de utilización de recursos y equipos, análisis de demanda y análisis financiero de proyectos, entre otros, fueron desarrollados para la elaboración y estudio de la solución desarrollada en este documento.

Justificación del proyecto

Una de las principales estrategias de Caterpillar es mantener un enfoque continuo en el crecimiento rentable mediante el modelo de operación y ejecución, de la misma manera busca la excelencia operativa para garantizar que los productos correctos se encuentren en el lugar correcto en el momento correcto.

Este proyecto es importante para la empresa debido a que se alinea adecuadamente a la estrategia del negocio, donde el objetivo es mejorar el modelo de operación de sus líneas de producción, es decir, reducir costos y crear un flujo eficiente de procesos, por medio de la eliminación de desperdicios generados a lo largo de su flujo de procesos y operaciones y de esta manera reducir el costo de producción de estos productos, enfocando más tiempo operacional en la transformación de producto por medio del valor agregado que en actividades que no agregan

valor al mismo. Además de ser importante para la organización, también lo es para los futuros egresados de la Maestría en Gestión de la Ingeniería y todo aquel relacionado a procesos de manufactura en empresas industriales que estén interesados en la mejora continua de procesos de producción, de manera que podrá ser de referencia para ilustrar y servir de ejemplo en metodologías y herramientas para fundamentar proyectos de innovación y mejora continua en las empresas.

De la misma manera este proyecto es de gran importancia propia profesional, debido a que es el primer proyecto a gran escala, el cual ha permitido desarrollar habilidades de formación de equipos multidisciplinarios, liderazgo y de innovación, lo cual ha permitido obtener lo mejor de cada uno de los integrantes hasta poder consolidar todas las ideas, ser expuestas, fundamentadas y lograr sean aprobadas por la administración de la empresa hasta la implementación de cada una de ellas.

Objetivos del proyecto

El objetivo general de este proyecto es eliminar los desperdicios dentro del flujo de procesos para fabricar los grupos de productos uno, dos y tres con el fin que pueda mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos de manufactura del producto, reduciendo el 75% del transporte realizado durante el flujo de operación.

Dentro del proyecto se han trazado objetivos específicos para cada uno de los rubros que se han analizado, se mencionan a continuación: reducir el tiempo enfocado en transporte en un 30% del total, reducir la distancia enfocada en transporte en un 75% del total, balancear las líneas de producción de manera que podamos cumplir con el takt time con base en la demanda del periodo 2020-2021 y por último estandarizar nuevos procesos y roles de cada personal involucrado.

Hipótesis de investigación

Se puede rediseñar el flujo del proceso de operación para que sea capaz de procesar los productos 1, 2 y 3 con una reducción del 75% del transporte en comparación con el flujo de procesos de operación actual, evitando contraflujos hacia otras estaciones de trabajo y que se encuentre balanceado respecto a los tiempos de ciclo de cada operación para que sea capaz de entregar productos en el ritmo takt time requerido, sin ocasionar tiempos muertos en procesos posteriores.

Como resultado del rediseño del flujo de procesos habrá un beneficio adicional, el cual consta del aumento de la capacidad de proceso de las líneas de ensamble donde actualmente se procesa la operación de subensamble, ya que, la disponibilidad de los colaboradores de las líneas de ensamble aumentará y por ende, su capacidad de proceso. Esto permitirá a las líneas de ensamble aumentar su velocidad de piezas por hora.

Impacto

El impacto principal que generará el proyecto es en torno a indicadores de velocidad y costos de producción, sin embargo, también están involucrados indirectamente los factores de seguridad y calidad.

El beneficio principal en cuestión es la velocidad de la producción, al momento de eliminar los excesos de movimientos y tiempos efectuados en el transporte permitirá que los procesos puedan mejorar la eficiencia de cada estación de trabajo y por ende la velocidad de cada operación. En cuestión de costos, hacer más eficiente los procesos de manufactura que tienen relación con los grupos de válvulas uno, dos y tres, tendrá como beneficio que el nuevo flujo de procesos resulte en operaciones con mayor valor agregado con el mínimo de transporte a realizar, esto quiere decir, agregar más valor al producto aplicando menos tiempo del actual. Sin

embargo, también se agregan los factores de seguridad, ya que, al haber menos transportes y menos personas que tengan contacto con estos productos al eliminar operaciones, en consecuencia, reduce el riesgo de que exista un incidente. Además de la velocidad, costo y seguridad, la calidad de nuestro producto también será beneficiada, debido que, al igual que la seguridad, reducimos el contacto que las piezas tendrán con los colaboradores y por ende, la probabilidad de que degraden la calidad del producto. Por último, la estandarización del nuevo flujo de procesos posterior al proyecto beneficiará en la estandarización de roles operativos en cada actividad, entrenamiento y desarrollo de más personal para poder cumplir la demanda de cada uno de estos procesos.

Además de contar con beneficios operacionales como los comentados previamente, este proyecto también contará con beneficios financieros, entre los cuales se contemplan ahorros directos en tiempo extra y lo que concierne a ello, como transportes extraordinarios, refrigerios, entre otros. El monto anual estimado de ahorro al haber terminado la implementación de este proyecto es de \$14,400.00 dólares. Para fines prácticos se detallará el análisis financiero a lo largo de este documento.

Marco teórico

Hoy en día es importante conocer todos los aspectos industriales que se encuentran dentro del sector de manufactura, aunque muchos de ellos ya se encuentren desarrollados e implementados en las culturas de trabajo de las empresas, suele ser importante conocer sus raíces que fundamentan la razón de ser de cada una de ellas. Sin embargo, no todas de ellas son seguidas al pie de la letra, como en un principio fueron desarrolladas, con el paso del tiempo y el conocimiento adquirido, diferentes organizaciones fueron acoplándolas a su sistema de trabajo y desarrollando las propias para ser implementadas y aplicadas en su cultura organizacional. Aun siendo acopladas a su cultura organizacional, las diferentes metodologías y herramientas pueden ser utilizadas de una a otra empresa, ya que su base es fundamentada sobre el mismo principio. A continuación, detallaremos la parte teórica que abarcará este proyecto, desde los conceptos básicos de manufactura esbelta, teorías aplicadas, hasta conceptos financieros y culturales de la organización.

Manufactura esbelta

Por el principio de manufactura esbelta, se entiende la búsqueda de desarrollar sistemas o procesos más eficientes, en donde la relación costo calidad sea beneficiada, esto quiere decir, buscar exhaustivamente la mejora de los procesos productivos por medio de la reducción de desperdicios sin afectar la calidad entregada. Villaseñor y Galindo (2005) “Manufactura esbelta, también conocido como sistema de producción Toyota, quiere decir hacer más con menos, menos tiempo, menos espacio, menos esfuerzos humanos, menos maquinaria, menos materiales, siempre y cuando se le esté dando al cliente lo que desea”. Este término fue definido por los autores de los libros *The Machine that changed the world*, de James Womack, Daniel Jones y Daniel Rios (2007), y el libro *Lean Thinking* (2003), de James Womack y Daniel Jones, donde lo

definen como un conjunto de técnicas que Toyota había venido trabajando en sus plantas por décadas, con el fin de eliminar los desperdicios dentro de sus procesos de producción. De la misma manera, manufactura esbelta es definida como, Gutiérrez y de la Vará (2009) “metodología que busca reducir las actividades innecesarias con el propósito de disminuir los reprocesos y el tiempo de ciclo, ahorrar costos e incrementar la productividad”.

Se plantean tres niveles para la aplicación de la manufactura esbelta que son: demanda, flujo y nivelación. Demanda es entender las necesidades que tiene el cliente de productos o servicios, además de tener en cuenta las características de calidad, tiempos de entrega y precio. Flujo continuo, implementar el flujo continuo en toda la compañía para que los clientes internos y externos reciban los productos y materiales indicados en el tiempo que los necesitan y en la cantidad correcta. Nivelación, distribuir uniformemente el trabajo, por volumen y variedad, para reducir el inventario en proceso e inventario final, lo que permitirá a los clientes pedir ordenes en pequeñas cantidades. La recomendación principal de la aplicación de los tres niveles, es llevarla a cabo en el orden previamente mencionado, demanda, flujo continuo y nivelación.

Diagrama de Ishikawa

Gutiérrez y de la Vará (2009) “El diagrama de causa-efecto o Ishikawa es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis”. De esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuales son las verdades causas.

Existen diferentes estructuras del diagrama de Ishikawa, los cuales dependen de cómo se buscan y se organizan las causas en la gráfica, durante este documento utilizaremos el Diagrama de Ishikawa bajo el método de las 6 M.

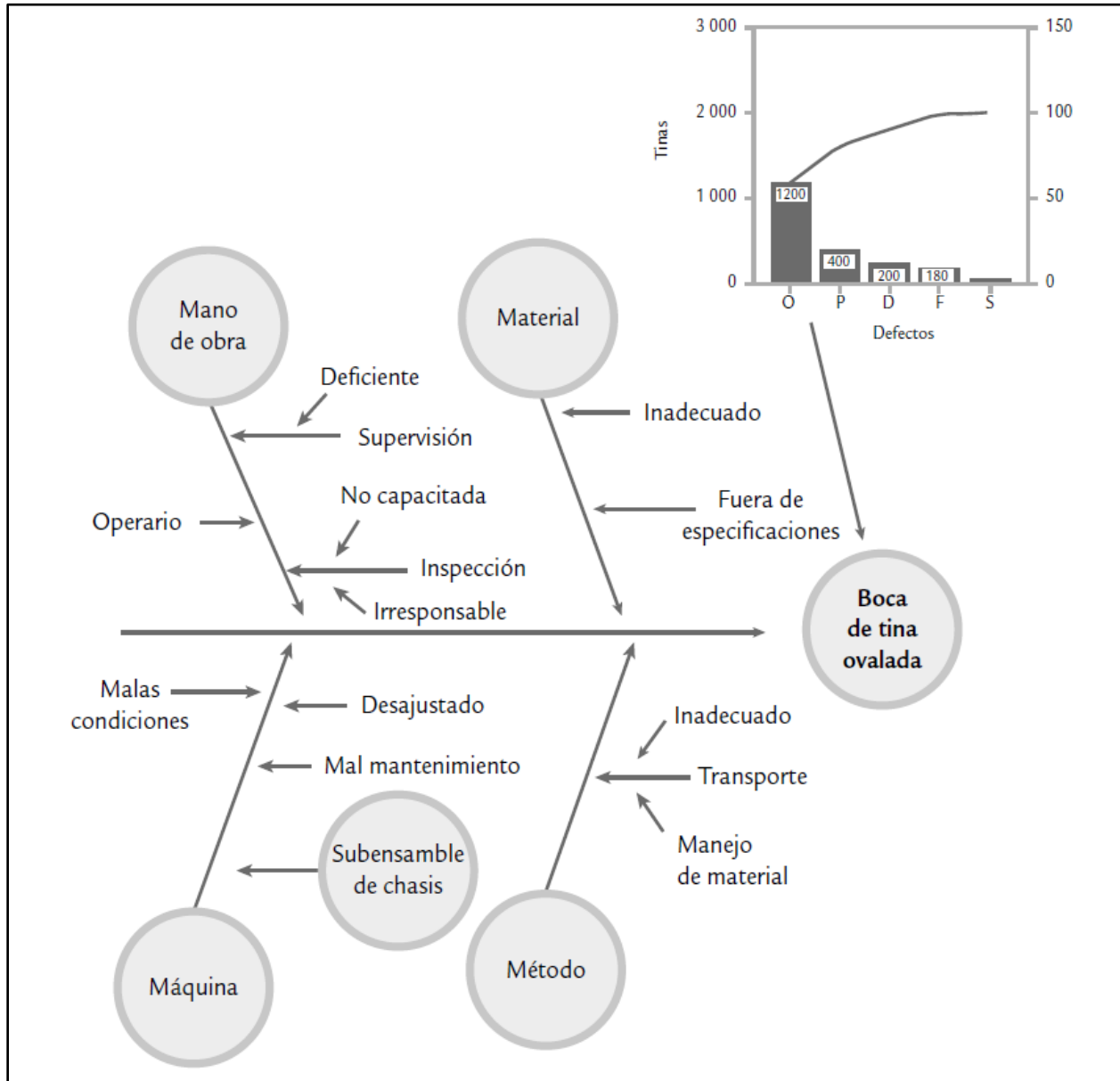
Gutiérrez y de la Vará (2009) “El diagrama de Ishikawa bajo el método de las 6 M consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales, Métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente”. En donde:

- Mano de obra se puede considerar: conocimiento, entrenamiento, habilidad, capacidad.
- Método: estandarización de trabajos, definición de operaciones.
- Máquinas o equipos: Capacidad, condición de operación, herramientas, ajustes y Mantenimiento.
- Material: Variabilidad de materia prima, cambios, proveedores, tipos de material.
- Mediciones: disponibilidad, definición, tamaño de la muestra, repetibilidad, reproducibilidad.

A continuación, podremos observar un diagrama de Ishikawa, el cual se encuentra relacionado con un diagrama de Pareto. Con estas herramientas se puede llevar a cabo la solución de problemas focalizada en causas raíz

Gráfico 5

Ejemplo de diagrama de Ishikawa



Nota. Adaptado de Diagrama de Ishikawa tipo 6M (p 153), por Gutiérrez y de la Vará, 2009, MC Graw Hill

Principio de Pareto

El principio de Pareto nos ayuda a detectar los elementos cruciales que causan la mayor proporción de las consecuencias en un problema o área de oportunidad. Para Gutiérrez y de la Vará, en su literatura *control estadístico de calidad y seis sigma* significa lo siguiente: Gutiérrez y de la Vará (2009) “Principio de Pareto, mejor conocido como ley 80-20 o pocos vitales, muchos triviales, en el cual se reconoce que pocos elementos, el 20%, generan la mayor parte del efecto, el 80%, y el resto de los elementos propician muy poco del efecto total”. El nombre del principio se determinó en honor al economista italiano Wilfredo Pareto (1843-1923) Este principio puede ser realizado visualmente a través del diagrama de Pareto, el cual señalaremos a continuación.

Diagrama de Pareto

En la literatura de manufactura esbelta podremos encontrar lo siguiente:

Es un gráfico especial de barras cuyo campo de análisis o aplicación son los datos categóricos, y tiene como objetivo ayudar a localizar el o los problemas vitales, así como sus principales causas. La idea es que cuando se requiere mejorar un proceso o atender sus problemas, se trabaje con base en los datos e información aportados por un análisis estadístico, se establezcan prioridades y se enfoquen los esfuerzos donde estos tengan mayor impacto.

(Gutiérrez y de la Vará, 2009, pp 140 - 144)

Algunas de las recomendaciones para realizar el análisis de Pareto son las siguientes:

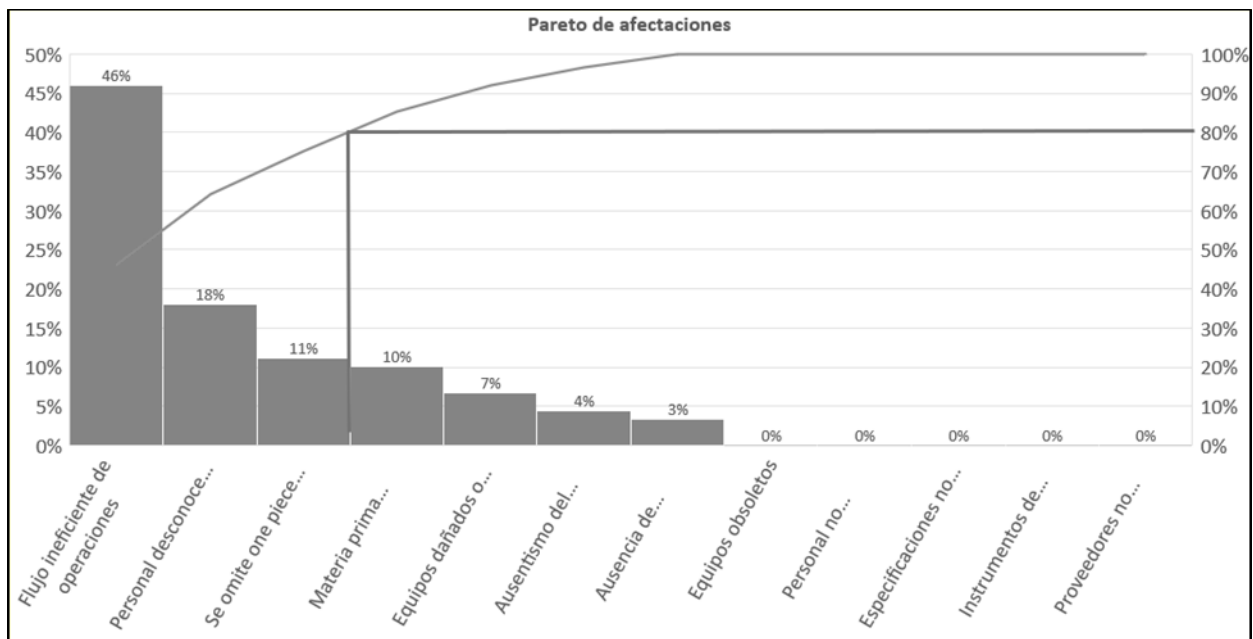
Clasificar los problemas en función de categorías o factores de interés, de esta manera cada clasificación generará un diagrama. El eje vertical izquierdo del gráfico representará las unidades de medida de cada categoría. Un criterio rápido para saber si la primera categoría es significativamente más importante que las demás es que predomine o supere de manera clara sobre el resto de las demás categorías. El eje vertical derecho representa la escala de porcentajes

de cero a cien, para que con base en esta sea posible de evaluar la importancia de cada categoría con respecto a las demás.

A continuación, podemos observar un ejemplo de un diagrama de Pareto.

Gráfico 6

Ejemplo de diagrama de Pareto



Desperdicio

Gutiérrez y de la Vará (2009) “También conocida como ‘Muda’ palabra japonesa para designar a los desperdicios de tiempo, movimientos y por errores en un proceso”.

Es toda aquella actividad realizada que no agrega valor al producto o servicio, es decir, es algo que no transforma el producto, sin embargo, encarece la eficiencia de la operación o del flujo operacional y ocasiona pérdidas a la organización. En la actualidad existen siete tipos de desperdicios que no agregan valor al proceso de manufactura y son los siguientes, sin embargo,

algunos autores detallan los desperdicios industriales como los podemos representar a continuación:

- Sobreproducción, producir artículos para los que no existen ordenes de producción, esto es producir producto antes de que el consumidor lo requiera, lo cual crea desperdicios adicionales de inventario y espacio dedicado a almacenaje.
- Espera, tiempos desperdiciados en espera por equipo o herramientas.
- Transporte innecesario, el movimiento innecesario de algunas partes durante la producción, se considera un desperdicio. Ello puede causar daños al producto lo cual creará un retrabajo.
- Sobre procesamiento, no tener claros los requerimientos de los clientes causa que en la producción se hagan procesos innecesarios, los cuales agregan costos en lugar de valor al producto.
- Inventarios, el exceso de materia prima, inventario en proceso o productos terminados causan largos tiempos de entrega, obsolescencia de productos, productos dañados, costos por transportación, almacenamiento y retrasos.
- Movimiento innecesario, cualquier movimiento innecesario hecho por el personal durante sus actividades. Caminar también puede ser un desperdicio.
- Productos defectuosos o retrabajos, producción de partes defectuosas, reparaciones, retrabajos o scrap. (Villaseñor y Galindo, 2008, pp 20 - 22)

Layout

Algunos principios básicos para la planeación de un *layout* celular se mencionan a continuación: organizar los procesos secuencialmente. El flujo de la célula debe ir en sentido contrario a las manecillas del reloj. Posicionar las máquinas cerca una de la otra, mientras se

tomen las respectivas medidas de seguridad para el manejo de materiales dentro de las áreas pequeñas. Ubicar la última operación cerca de la primera. Crear células en forma de U o C, dependiendo del equipo, restricciones y disponibilidad de los recursos. (Villaseñor y Galindo, 2008, pp 55 - 56)

Puntos clave a tomar en cuenta: No agrupar las máquinas por tipo. Organizar la célula para que los operadores estén parados y asegurarse de que el movimiento del operador no cause conflicto si están más de dos operadores en la célula.

Tiempo de ciclo.

El tiempo de ciclo es que tan frecuente una parte o producto es terminado en un proceso, en un determinado tiempo. Es el tiempo que le toma a un operador ir a través de todos sus elementos de trabajo antes de que los repita. Rother y Shook (1999) “El tiempo de ciclo total es la suma de los tiempos de ciclo de cada operación individual dentro del proceso”.

Takt time

Se refiere al ritmo al que tiene que trabajar una línea de producción para que sea capaz de cumplir con los tiempos de entrega y por ende cumplir con la demanda del cliente. Es una palabra en alemán que significa ritmo, entonces esto quiere decir que el *takt time* marca el ritmo de lo que el cliente está demandando, al cual la compañía requiere producir su producto con el fin de satisfacerlo. Producir con el takt time significa que los ritmos de producción y de ventas están sincronizados. Se calcula dividiendo el tiempo de producción disponible entre la cantidad total requerida (o la demanda de cliente por turno). (Villaseñor y Galindo, 2008, pp 35 - 37)

Celda de manufactura

Se define como celda de manufactura a una estación de trabajo la cual se encuentre correctamente organizada de acuerdo con las secuencias de las operaciones a realizar. Villaseñor

y Galindo (2008) “Una manera de mejorar el flujo es la reconfiguración de las operaciones dentro de una celda de trabajo. Una celda de trabajo es una unidad que incluye operaciones que agregan valor al proceso”. La organización de una celda involucra equipos y personal en una secuencia de producción e incluye todas las operaciones requeridas para elaborar un producto.

Diagrama de flujo

El diagrama de flujo es una representación de la secuencia de operaciones a realizar para poder manufacturar un producto, en ella podemos observar el nombre de cada una de las operaciones y el orden que lleva cada una, hasta llegar al punto final con el cliente.

Gutiérrez y de la Vará (2009) “Es una representación gráfica de la secuencia de los pasos o actividades de un proceso, que incluye transportes, inspecciones, esperas, almacenamientos y actividades de reprocesos”. Por medio de este diagrama es posible ver en que consiste el proceso y como se relacionan las diferentes actividades: asimismo, es de utilidad para analizar y mejorar el proceso.

One Piece Flow

Una pieza a la vez, recibo, proceso y envié una pieza a la vez. Básicamente este es el principio de *One Piece Flow*, donde se busca eliminar los desperdicios que son ocasionados por consumir en lotes sin ordenes de producción establecidas por el cliente. En la literatura podremos encontrar definiciones como: Villaseñor y Galindo (2008) “Es el estado que existe cuando los productos se mueven de uno en uno a través de procesos, al ritmo determinado por las necesidades del cliente. Además, se hacen algunas recomendaciones para poder alcanzar este método de trabajo”. Tomar como base el tiempo de ciclo en los requerimientos del mercado a través del takt time. Tomar como referencia la utilización de la capacidad del equipo en el takt time. Centrar la producción con base en los procesos de producción, es decir, seguir los

principios de jalar la producción. Sekine (1993) “El layout de la fábrica debe ser apropiado para la producción de una pieza. Los productos deben ser aptos para la producción de una pieza”.

Familias de productos.

Villaseñor y Galindo (2008) “Agrupamiento de productos que son procesados por medio de las mismas estaciones de trabajo”.

Hoja de trabajo estandarizada.

Dentro de esta hoja de trabajo estandarizado encontraremos los pasos a realizar para llevar a cabo las actividades de una estación u operación determinada. En este documento encontraremos las actividades detalladas a realizar. Liker (2000) “La hoja de trabajo estandarizado se utiliza en cualquier trabajo con pasos repetibles. No es realmente un informe pormenorizado de los detalles del trabajo, más bien se enfoca en el movimiento del trabajador”.

Aunque para otros autores como Villaseñor y Galindo, esto puede ser realizado de manera visual en la estación de trabajo, Villaseñor y Galindo (2008) “La hoja de trabajo estandarizado ayuda a ilustrar la secuencia de operaciones dentro del proceso, incluyendo el tiempo de ciclo. Esta hoja debe colocarse en el área de trabajo”.

Sin embargo, lo que más destaca de su literatura, es que plantean las siguientes diferencias: Dibujar el layout de la célula sobre la hoja e identificar todos los artículos. Asignar la ubicación de los elementos de trabajo por número. Mostrar la trayectoria de los movimientos. Llenar la información requerida dentro de la hoja. Y por último colocarla en el área de trabajo.

DILO

La herramienta DILO (a Day In the Life Of) es una hoja de verificación, la cual consta de un seguimiento personal ya sea al personal o al producto, con el fin de recolección de datos.

Dentro de esta hoja de verificación se detalla al colaborador que está siendo analizado o el

producto según sea el caso, la actividad que se realiza y posteriormente se captura cada actividad realizada, el tiempo que tomo en cada una de ellas y dependiendo del rol del personal o la operación realizada en el producto, se captura dentro de una columna si la actividad consta de ser una operación que agregó valor al producto o que solo fue un desperdicio en su aplicación. Al finalizar la aplicación de la técnica, se podrá realizar un estudio de manera gráfica para observar los datos y poder detectar las oportunidades realizadas durante el turno de trabajo. Se recomienda que este estudio se realice al menos tres veces a la misma persona o producto para asegurar comportamientos normales y anormales.

Fábrica de cartón

La fábrica de cartón es una administración visual de comunicación y control para el análisis y estudio de factibilidad de proyectos en donde se tengan contemplados rediseños de celdas de trabajo o movimientos de operaciones. A través de esta herramienta se realiza una recreación de la nueva propuesta establecida, la cual es de bajo costo de implementación, como su nombre lo dice, es con base en cajas de cartón. Por medio de esta condición, se realiza la simulación de la propuesta y se ejecuta la operación con productos replicados en material de cartón, así se puede realizar un estudio de todas las oportunidades que puede tener la celda de trabajo en su diseño principal y por ende comenzar a realizar modificaciones en el mismo, de tal manera que se puedan evitar la mayor cantidad de errores una vez implementada la propuesta. Villaseñor y Galindo (2008) “La fábrica y administración visual inicia con una simple primicia: ‘una imagen dice más que mil palabras’. Y si esa imagen está disponible exactamente cuándo se necesite, en donde se necesita, con la cantidad justa de información que se requiera”.

POU

POU es un término desarrollado en la empresa Caterpillar, con ello se refiere a punto de uso (por sus siglas en inglés), en donde se refiere a los estantes o racks donde se ubican y localizan los componentes necesarios para llevar a cabo las operaciones de ensamble. En estos racks se encuentra todo componente que se instalará en la estación de trabajo, consta de diferentes niveles y diferente número de columnas. En su mayoría constan de seis niveles de alto por ocho columnas, es decir, un total de 48 localizaciones donde se colocan cajas de componentes por ser ensamblados.

FOL y SOL

Los términos *SOL* y *FOL*, al igual que *POU*, fueron términos acoplados a sistema de producción Caterpillar. *SOL* y *FOL*, refieren al cumplimiento del plan de producción, en donde para poder cumplir las demandas de los clientes, diferentes ordenes de producción son programadas las cuales cuentan con una fecha de inicio y una fecha de cierre. De esta manera *SOL* u Ordenes cerradas en tiempo significa que las ordenes de producción programadas para un día en específico fueron iniciadas con éxito y de la misma manera *FOL*, con la excepción que el termino *FOL* refiere a las ordenes cerradas en donde si la orden de producción cierra en tiempo o antes, puede deducirse que se completó exitosamente su *FOL*.

Matriz de habilidades

La matriz de habilidades es como su propio nombre lo dice, una matriz en donde se representa de manera visual el nivel de experiencia con el que cuenta cada trabajador en una estación específica, además se representa de manera gráfica el nivel de conocimientos que tiene actualmente. De la misma manera, se plantea un cronograma para el desarrollo del personal y de este modo aumentar la flexibilidad de la matriz de habilidades, es decir que el equipo de trabajo pueda operar en diferentes estaciones de trabajo, así se evitarían los paros por ausentismo y

además que crea una motivación al personal por ser desarrollado en los procesos operativos.

Liker (2000) “Crear trabajadores multifuncionales no solo incrementa la flexibilidad y ayuda a apoyar el sistema, sino que también permite a los miembros del equipo tener cierta variedad en su trabajo, rotar trabajos para beneficio ergonómico y para aprender y crecer en talento y capacidad”.

Gráfico 7

Matriz de habilidades



Nota. Adaptado de Ejemplo de un cronograma (p 208), Liker y Meier, 2007, McGraw-Hill

Análisis financiero

Los análisis financieros se realizan con el fin de conocer si un proyecto es viable económicamente o si solo producirá perdidas en su implementación. Para llevarlos a cabo se

utilizan diferentes variables para poder obtener una conclusión más precisa. Podemos decir que se a través de este análisis, se obtendrán diferentes variables por medio de las cuales se tomarán decisiones finales al momento de decidir si invertir capital o no en algún proyecto o diferentes opciones de proyecto. También es utilizado para comparar la rentabilidad entre diferentes opciones de proyecto y por medio de esta herramienta se hace la selección del más rentable. Este análisis nos puede arrojar variables de resultado como Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y *payback*, es decir, el tiempo de recuperación de la inversión. Tales variables de conclusión se detallarán a continuación.

Según Ross, Vesterfield y Jordan (2010) “un análisis financiero debe examinar la inversión potencial a la luz de su probable efecto sobre el precio de las acciones de la empresa para crear valor para los accionistas”.

VPN

Valor Presente Neto, es el valor que significaría si todos los flujos de efectivo de un proyecto fueran traídos al tiempo cero, es decir, si nuestro proyecto da beneficios constantes anuales de \$14,000 pesos por cinco años, entonces, para saber la equivalencia de estos flujos de efectivo, utilizaremos el valor presente neto, de esta manera sabremos cuánto vale en beneficios nuestro proyecto.

Es el cálculo del valor presente de un flujo de efectivo futuro para determinar su valor actual. El valor actual de los futuros flujos de efectivo descontados a la tasa de descuento apropiada. En donde la tasa de descuento es la tasa que se utiliza para calcular el valor presente de los flujos de efectivo futuros. (Ross, Vesterfield y Jordan, 2010, pp 260 - 264) El valor presente neto es una medida de cuánto valor se crea o se agrega hoy al efectuar una inversión.

Un VPN positivo indica que un proyecto es rentable financieramente, sin embargo, no debe de ser el único indicador que tomar en cuenta para la toma de decisiones, de esta manera la TIR puede ser un segundo acompañante para la toma exitosa de decisiones de inversión.

TIR

Con la *TIR* se trata de encontrar una sola tasa de rendimiento que resuma los méritos del proyecto. En otras palabras, es la tasa de descuento que hace que el valor presente neto de una inversión sea cero.

Por medio de la *TIR*, podremos concluir si un proyecto se acepta o no con base en la regla de la *TIR*, una inversión es aceptable si la *TIR* excede el rendimiento requerido. De lo contrario debe rechazarse. Ross, Vesterfield y Jordan (2010) “Una *TIR* positiva indica que nuestro proyecto ofrece rendimientos por encima de lo esperado, por lo tanto, siempre y cuando sea positiva, agrega valor al proyecto e indica que es potencialmente redituable”. Park (2007) “La tasa interna de retorno es la tasa de interés cargada en el proyecto la cual, cuando el proyecto finalice, el balance de los flujos será cero”.

Payback

Ross, Vesterfield y Jordan (2010) “Tiempo que se requiere para que una inversión genere flujos de efectivo suficientes para recobrar su costo inicial. La recuperación es el tiempo que se requiere para recobrar la inversión inicial”. Esto quiere decir que si realizamos una inversión de \$15,000 unidades y el proyecto genera ingresos de \$1,500 unidades mensuales, tendremos entonces, un payback de 10 meses. Park (2007) “La variable payback, puede ser útil cuando una compañía necesita medir la velocidad de recuperación de la inversión, cuando la compañía tiene problemas de flujo de efectivo, cuando un producto se realiza solo en un periodo corto de tiempo

y cuando se sabe que la máquina que la compañía está adquiriendo tiene un bajo tiempo de vida de mercado”.

Referencias

Recientemente un proyecto similar al actual fue implementado en una planta de Caterpillar ubicada en Estados Unidos. Trata sobre una planta de ensamble de productos finales, la cual contaba con dos líneas de subensambles, en donde realizaban un componente cada una de ellas donde sería utilizado en procesos posteriores. En estas líneas de ensamble, se trabajaba dos turnos todos los días, las líneas de ensamble abarcaban una gran cantidad de espacio para llevarse a cabo y para almacenamiento de manera que pudieran abastecer los procesos posteriores de ensamble final. Durante temporadas de alta demanda, los niveles de inventario eran muy altos y por lo tanto comenzaban a generar desperdicios operativos. Para comenzar a solucionar el problema la administración tenía claro que era necesario enfocarse en los principios de manufactura esbelta para poder cumplir los objetivos de la demanda. De tal manera que pusieron manos a la obra y se empezó con la capacitación de su personal en principios lean y se pusieron en práctica por medio de la implementación diaria de ideas de mejora continua que simplificaran el trabajo y eliminaran los desperdicios. La planta de producción realizó un entrenamiento de simulación de principios de manufactura esbelta, lo que ayudo a los integrantes del equipo a detectar las ineficiencias y trabajar en conjunto para reorganizar la línea de producción y mejorar la eficiencia de cada una de las estaciones involucradas. Además, la administración también implementó el proceso continuo de diálogos de mejora, a través de los cuales se discute e implementan ideas de mejora continua que puedan ser implementadas de manera rápida.

Las mejoras alcanzadas a través de la manufactura esbelta no son limitadas en esta planta, a través de los equipos de trabajo, Caterpillar está introduciendo y empujando los principios lean para acelerar la cultura donde cualquiera en la organización esté comprometido para detener defectos, mejorar procesos y eliminar desperdicios en busca de la excelencia operacional.

Metodología

Proceso de análisis

La metodología utilizada para llevar a cabo el análisis del proyecto es enfocada principalmente en manufactura esbelta, la cual es directamente aplicada para este proyecto para fines de análisis de tiempos y movimientos, análisis de desperdicios, estudios de capacidad, entre otras, las cuales se detallarán en esta sección. Este proyecto nace debido al bajo desempeño del indicador de órdenes de producción cerradas en tiempo, lo cual en Caterpillar es mejor conocido como un indicador de proceso clave FOL (Finish On line) el cual su vez hace exitosos otros indicadores como el indicador de embarques a cliente e indicadores de costos de producción. Realizando un análisis exhaustivo a través de un diagrama de Pareto en nuestro indicador de ordenes cerradas en tiempo, se detecta que las principales afectaciones a este indicador son correspondidas a un grupo de productos los cuales por medio de este documento son conocidos como producto uno, dos y tres.

Diagrama de Ishikawa.

Posteriormente a haber detectado que la principal afectación es conformada debido este grupo de productos se inicia con el estudio y análisis de las causas principales. Para el inicio de la fase de análisis se realiza una lluvia de ideas por medio de un equipo multidisciplinario con el objetivo de debatir y discutir cuales pudiesen ser las razones por las que este producto estuviese cerrando fuera del tiempo programado su proceso operacional. Se realiza la lluvia de ideas y se continua a utilizar el principio del diagrama de Ishikawa para desarrollar las posibles causas del problema. En el gráfico 10 Análisis Ishikawa podemos observar la serie de ideas discutidas para ser las causas principales en la afectación de nuestro indicador, organizadas en renglones las 6 Ms del método Ishikawa y el análisis de las razones principales descrita por medio de las

columnas razones. Cabe señalar que el primer ejercicio desarrollado fue la metodología de lluvia de ideas y se concentró la información a un diagrama de Ishikawa, con ello podremos dar análisis a las oportunidades principales presentadas y encontrar la causa raíz principal del problema.

Habiendo señalado esto, iniciaremos con el desarrollo del diagrama, en la primera sección del gráfico 10 podemos observar la parte de maquinaria, enseguida se inician dos caminos diferentes, uno por la parte de alta cantidad de retrabajos en estación y otro por tiempos de ciclo largos en estaciones de trabajo, esta manera de organización la continuaremos observando en los siguientes apartados del diagrama. Posteriormente a segregar las diferentes razones antes mencionadas, realizamos el cuestionamiento de causa de la primera razón y esto dará lugar a la razón 2, en este caso, la razón de contar con una alta cantidad de retrabajos en la estación es debido a que los equipos de producción no son capaces de cumplir las especificaciones del producto y así sucesivamente continuaremos con nuestro análisis para cada rubro del diagrama. El gráfico 10 abastece el gráfico 11 con el fin de ilustrar visualmente la metodología mencionada.

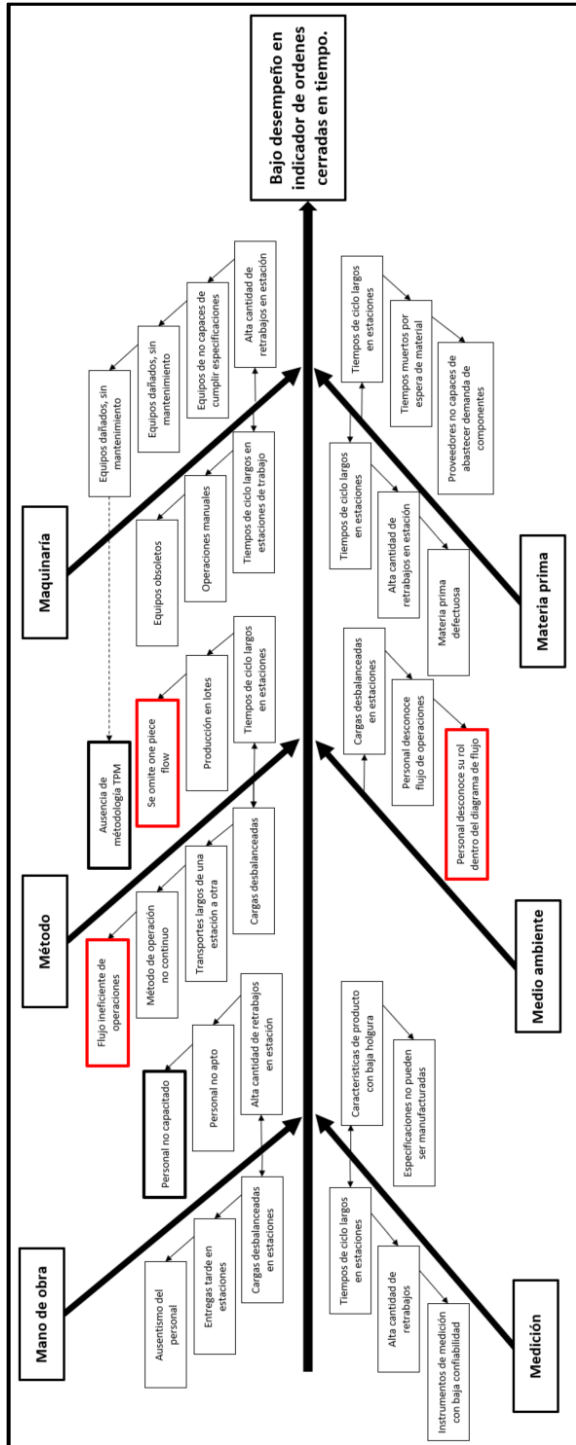
Gráfico 8

Análisis Ishikawa.

Diagrama de Ishikawa			
Causa	Razón 1	Bajo desempeño de ordenes cerradas en tiempo	Razón 4
	Razón 2	Razón 3	
Maquinaria	Alta cantidad de retrabajos en estación	Equipos de producción no capaces de cumplir especificaciones de producto	Equipos dañados, sin mantenimiento
	Tiempos de ciclo largos en estaciones de trabajo	Operaciones manuales	Equipos obsoletos
	Alta cantidad de retrabajos en estación	Equipos de producción no capaces de cumplir especificaciones de producto	Equipos dañados, sin mantenimiento
Método	Cargas desbalanceadas en estaciones de trabajo	Transportes largos de una estación a otra	Método de operación no continuo
	Tiempos de ciclo largos en estaciones de trabajo	Producción en lotes	Se omite one piece flow
Mano de obra	Alta cantidad de retrabajos en estación	Personal no apto para operar estación de trabajo	Personal no capacitado
	Cargas desbalanceadas en estaciones de trabajo	Entregas tarde en estaciones de trabajo	Ausentismo del personal
Medición	Características de producto con baja holgura	Especificaciones no pueden ser manufacturadas	
	Tiempos de ciclo largos en estaciones de trabajo	Alta cantidad de retrabajos en estación	Instrumentos de medición con baja confiabilidad
Medio ambiente	Cargas desbalanceadas en estaciones de trabajo	Personal desconoce flujo de operaciones	Personal desconoce su rol dentro del diagrama de flujo
	Tiempos de ciclo largos en estaciones de trabajo	Alta cantidad de retrabajos en estación	Materia prima defectuosa
Materia prima	Tiempos de ciclo largos en estaciones de trabajo	Tiempos muertos por espera de material	Proveedores no capaces de abastecer demanda de componentes

Gráfico 9

Diagrama de Ishikawa



En el gráfico 10 al igual que en el gráfico 11, podemos observar que se encuentran resaltados tres recuadros en color rojo, estos recuadros forman parte de las tres causas principales que afectan a nuestro problema principal. Dicha conclusión es obtenida por medio de un diagrama de Pareto, a través de esta herramienta podemos obtener el 20% de las causas que ocasionan el 80% de efectos en el proceso. La información que observaremos a continuación en la tabla 1 será el tiempo de afectación que se mide durante el proceso de producción de los grupos de válvulas uno, dos y tres, esta información será detallada en un diagrama de Pareto para su entendimiento y visualización.

Proceso de obtención de datos.

Para efectos de análisis, se utilizaron diferentes herramientas, como ejemplo podemos mencionar la principal de ellas llamada “a Day In the Life Of” (DILO), la cual consta de dedicar la mayor parte del tiempo del estudio en acompañar al producto a través de todo su proceso productivo y registrar cada una de las operaciones realizadas, de tal manera podremos desarrollar un registro en el cual segreguemos todas las operaciones que son realizadas en cada estación de trabajo e incluso durante el flujo de procesos de manufactura, también mediante la observación podremos detallar la clasificación de cada actividad, es decir, si una actividad corresponde a la clasificación de valor agregado o no valor agregado, al igual que el tiempo que se dedica a cada una de ellas. Cabe indicar que esta herramienta se utilizó repetidas veces durante la fabricación de los productos involucrados en este proyecto para la obtención de datos con el objetivo de obtener una confiable cantidad de información que pudiera ser confiable para indicar la distribución de cargas, flujo de procesos y todos los demás detalles involucrados a este. Esta herramienta de análisis fue desarrollada por departamentos de mejora continua bajo la metodología del sistema de producción Caterpillar. Para el desarrollo del gráfico 12, tomamos la

información de la tabla 1, primero segregamos el efecto y la causa raíz correspondiente y después agregamos una cuarta columna donde reflejaremos el tiempo de afectación que provoca esa causa, por ejemplo, para el caso de Flujo ineficiente de operaciones se detectó, mediante el análisis realizado en el proceso de producción, que los procesos de transporte y movimientos de una estación a otra tomaban un tiempo de 41 minutos por pieza, la demanda promedio semanal de estos productos es de 20 por semana, por lo cual realizamos el producto de 41 minutos por 20 piezas y obtenemos la cantidad de 820 por las cuatro semanas laboradas obtenemos 3280 minutos de tiempo operativo promedio aplicado a transportes y movimientos, repetimos este método para el resto de las causas. Al final procedemos a ordenar de mayor a menor las cantidades mensuales de afectación para motivos de organización y poder seguir la metodología. Por medio de la quinta columna, observaremos el porcentaje que conforma cada una de las causas, esto nos mostrará el porcentaje de afectación causado por cada una de las razones mostradas. Por último, en la sexta columna, se muestra el porcentaje acumulado, el cual consta de la suma de los porcentajes de cada una de las razones, en este último punto encontraremos el 20% de las causas que nos llevan a formar el 80% de nuestras afectaciones. Como bien lo podemos observar en la tabla 1 en la quinta columna, el porcentaje acumulado de las causas marcadas en negritas: Flujo ineficiente de operaciones (46%), personal desconoce su rol dentro del diagrama de flujo (64%) y se omite proceso operacional one piece flow (75%) conforman la mayor parte de las afectaciones que causan un bajo desempeño en nuestro indicador de ordenes cerradas en tiempo y son donde nos enfocaremos en este proyecto.

Tabla 1

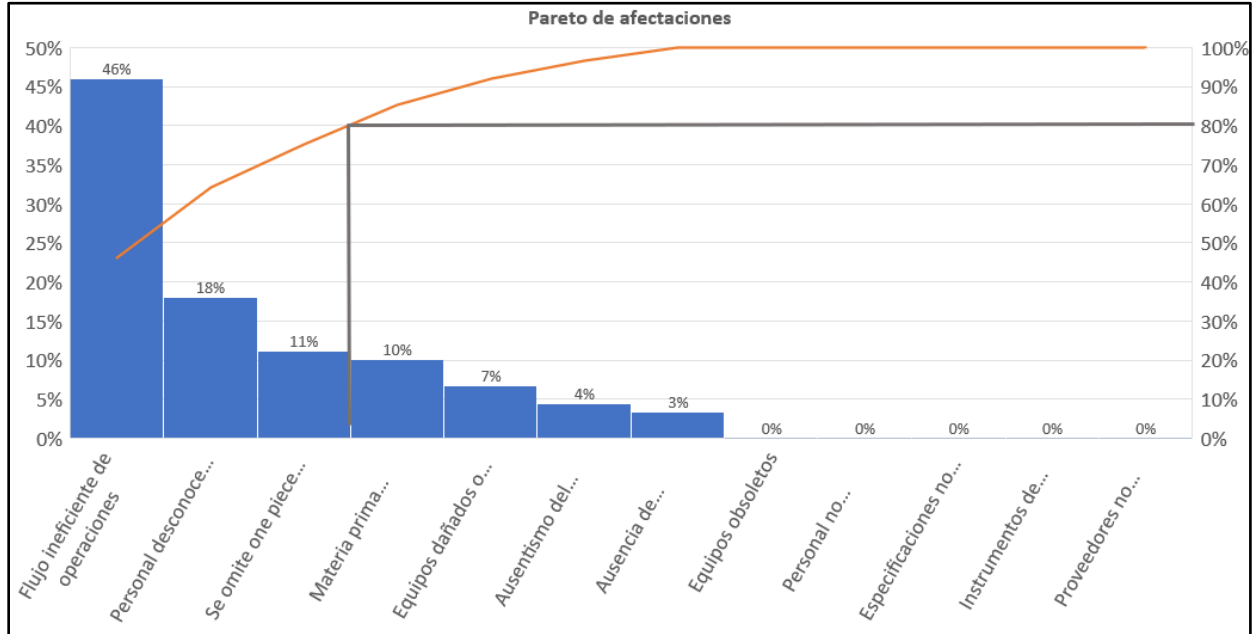
Diagrama de Pareto

Causa	Efecto	Causa	Tiempo de afectación mensual (Mins)	Afectación (%)	Afectación acumulada (%)
Método	Cargas desbalanceadas en estaciones de trabajo	Flujo ineficiente de operaciones	3280	46%	46%
Medio ambiente	Cargas desbalanceadas en estaciones de trabajo	Personal desconoce su rol dentro del diagrama de flujo	1280	18%	64%
Método	Tiempos de ciclo largos en estaciones de trabajo	Se omite one piece flow	800	11%	75%
Materia prima	Tiempos de ciclo largos en estaciones de trabajo	Materia prima defectuosa	720	10%	85%
Maquinaria	Alta cantidad de retrabajos en estación	Equipos dañados o desgastados	480	7%	92%
Mano de obra	Cargas desbalanceadas en estaciones de trabajo	Ausentismo del personal	320	4%	97%
Método	Alta cantidad de retrabajos en estación	Ausencia de metodología TPM en estación de trabajo	240	3%	100%
Maquinaria	Tiempos de ciclo largos en estaciones de trabajo	Equipos obsoletos	0	0%	100%
Mano de obra	Alta cantidad de retrabajos en estación	Personal no capacitado	0	0%	100%
Medición	Características de producto con baja holgura	Especificaciones no pueden ser manufacturadas	0	0%	100%
Medición	Tiempos de ciclo largos en estaciones de trabajo	Instrumentos de medición con baja confiabilidad	0	0%	100%
Materia prima	Tiempos de ciclo largos en estaciones de trabajo	Proveedores no capaces de abastecer demanda de componentes	0	0%	100%

Con esta información, podemos indicar que estas tres causas raíz remarcadas en rojo, son las principales afectaciones para que nuestro proceso de producción cuente con un bajo desempeño del indicador de ordenes cerradas en tiempo (FOL) y lo podemos representar de manera visual con el gráfico 12.

Gráfico 10

Diagrama de Pareto



Una de las principales oportunidades durante la aplicación de la herramienta DILO, se detecta una completa desconexión de los procesos, donde el material se envía de una estación de trabajo a otra sin tener noción de los procesos posteriores ni del estado actual de la misma, se encontró que una gran cantidad del tiempo operativo es utilizado para transportar el material de una estación a otra en puntos no estratégicos, es decir, cuentan con distancias muy largas por lo cual el colaborador de un proceso es responsable de llevar el material de una línea de trabajo hasta la siguiente, esto sin tener en cuenta que tiene en proceso más productos por elaborar y como resultado causará cuellos de botella en su estación de trabajo o posteriores, con esto queremos decir que las estaciones de trabajo no se encuentran localizadas en espacios estratégicos, esta misma condición crea la condición de un flujo de producción no continuo y por lo tanto no se pueda cumplir la metodología de producción One Piece Flow. Por ello, en la

condición actual, el colaborador prefiere, por facilidad, la producción en lotes de producto y así evitar realizar recorridos frecuentes.

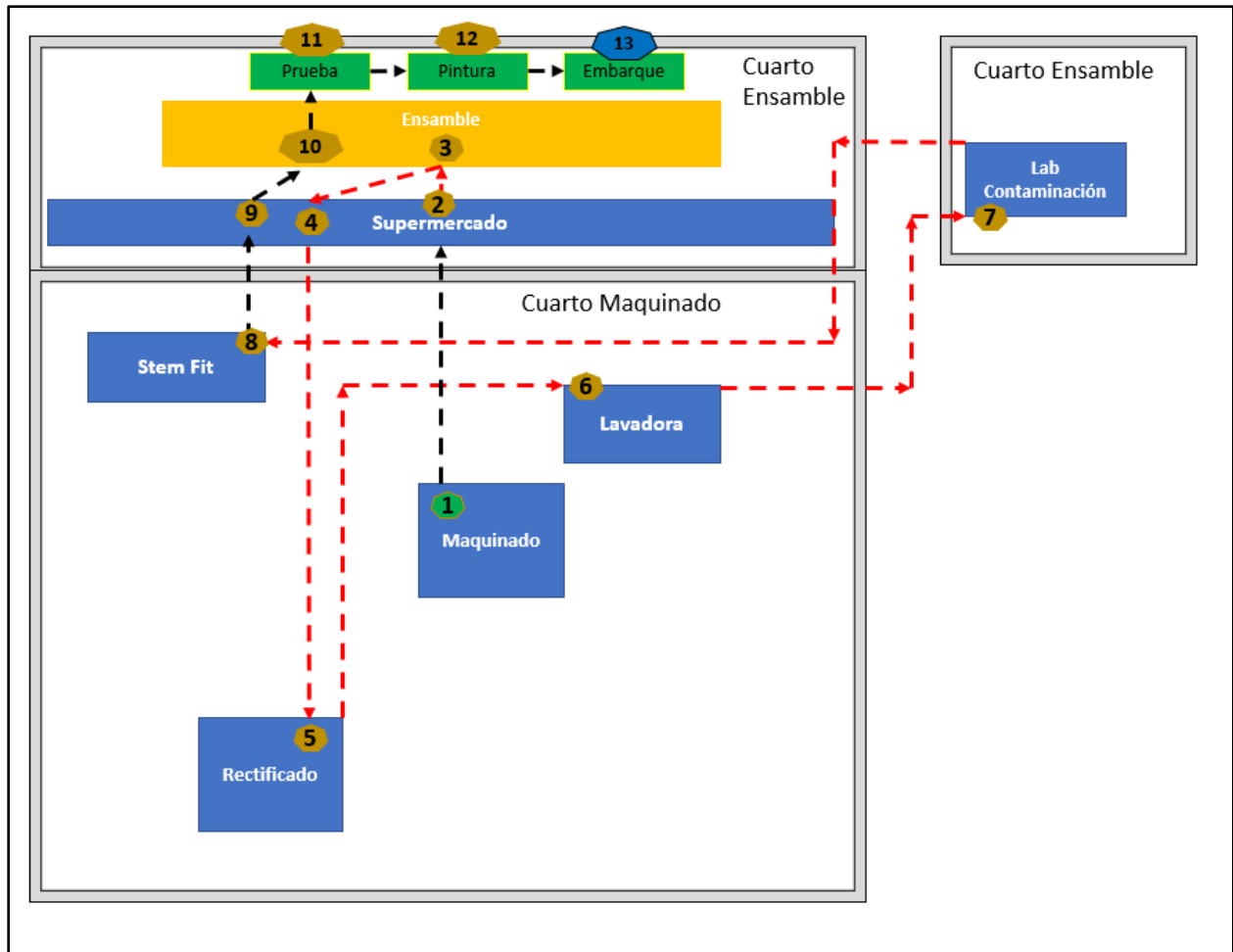
Análisis de causas raíz.

Después de haber encontrado las tres principales causas que provocan un bajo desempeño en el cumplimiento de ordenes en tiempo, describiremos y analizaremos la razón de cada una de ellas, para esto utilizaremos el diagrama de espagueti en el gráfico 13 en donde explicaremos cada uno de los desperdicios generados durante el proceso. Como podemos observar en las operaciones de subensamble y ensamble, tres y 10 respectivamente, son procesadas dos veces por la misma estación de ensamble con el mismo operador, lo cual crea un desperdicio, es decir se realiza un reproceso al no seguir un proceso lineal. Posteriormente en las operaciones correspondientes de supermercado, dos, cuatro y nueve son procesadas por el mismo personal tres veces, esto quiere decir que el mismo operador tiene contacto con el mismo producto tres veces durante el procesamiento del producto, encareciendo la eficiencia operacional sin generar un valor agregado al producto. El diagrama del recorrido de operaciones cuatro, cinco, seis, siete, ocho conforman la mayor parte del transporte dentro del proceso y por lo tanto un gran porcentaje de los desperdicios e ineficiencias de este flujo de trabajo es generado durante este grupo de operaciones. Posterior a este grupo de operaciones, el producto continuará con su proceso normal, el cual es idéntico al que realizan el resto de los productos, es decir, hasta esta operación ocho podemos decir que hemos terminado con la sección de subensamble y nuestro producto se encuentra en las condiciones de calidad ideales para poder iniciar la etapa de procesos para conformar nuestro producto final. De esta manera clasificaremos que todo proceso realizado durante la etapa de fabricación del producto subensamble cuenta con la mayor parte de la ineficiencia del flujo de trabajo y es aquí donde se requiere iniciar un cambio para poder

mejorar nuestro indicador de ordenes cerradas en tiempo a través de la eliminación de desperdicios de producción.

Gráfico 11

Diagrama de espagueti



Después de haber detallado los desperdicios a través de un diagrama de espagueti, procederemos a detallar el flujo de operaciones y con ello el desperdicio principal ocasionado durante este flujo de trabajo. Los siguientes gráficos de información mantienen estrecha conexión con el diagrama de espagueti presentado en el gráfico 13. Mediante el gráfico 14

detallaremos la distancia realizada por el colaborador de cada estación de trabajo junto con cada actividad que realiza y de la misma manera el porcentaje de aportación que representa cada una de ellas, es decir, del total de la distancia recorrida el porcentaje que significa cada recorrido de una estación a otra, como anteriormente lo realizamos con el diagrama de Pareto en el gráfico 12. De la misma manera será detallada la variable del tiempo aplicado para transportar el producto de una estación a la siguiente, esta variable será descrita a través del gráfico 15. En ambas ilustraciones se agregará un gráfico por medio del cual será visible la afectación que realiza cada una de ellas.

Gráfico 12

Distancia de transporte

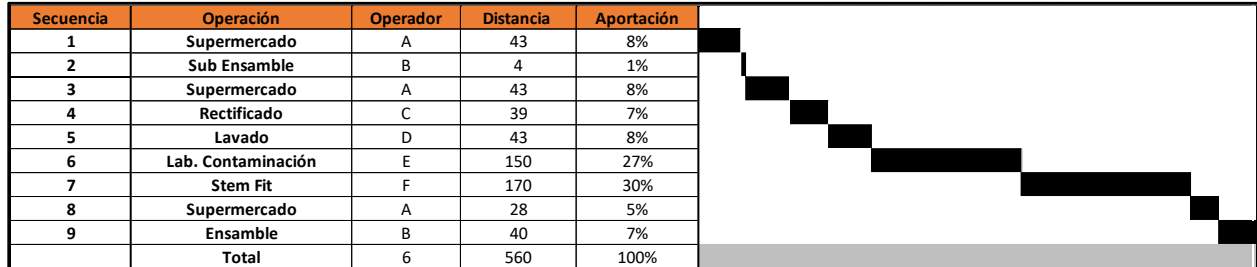


Gráfico 13

Tiempos de transporte



Mediante el gráfico 14 podemos percatar que las operaciones con más afectación, las cuales entran dentro del análisis de Pareto, son las operaciones realizadas por los operadores E con una aportación del 27%, F con una aportación del 30%, B con una aportación del 21% y A con una aportación del 13%, Laboratorio de contaminación, stem fit, supermercado y ensamble. De tal manera que estas tres operaciones reúnen el 91% del total. Del mismo modo para los tiempos de transporte, colaborador E con una aportación del 7%, F con una aportación del 7%, B con una aportación del 39% y A con una aportación del 37%, reuniendo un total del 90%.

Los trayectos realizados por estos colaboradores han sido identificados en color rojo dentro del gráfico 13 y por este medio se concluye que no cuentan con un flujo continuo o lineal,

no impulsa la producción a manera de one piece flow, además de que la serie de procesos cuenta con flujos de trabajo que realizan retornos a operaciones anteriores los cuales ocasionan tiempos muertos en operaciones posteriores, se necesita realizar una larga trayectoria de recorrido para conectar los procesos y tiene como consecuencia el uso y aplicación del tiempo operativo en actividades que no agregarán valor a la organización y producto, fomentando el trabajo bajo desperdicios operativos. De esta manera resaltamos que nuestro diagrama de flujo, a nivel de planta, forma un flujo ineficiente de procesos y por lo tanto con la oportunidad de ser mejorado. Esta condición no cumple con el sistema de producción Caterpillar y debe ser eliminada.

Propuestas

Tomando como base lo anterior, se comienzan a desarrollar propuestas que reduzcan y eliminen los desperdicios generados con el flujo anteriormente mencionado y las cuales se discutirán en este apartado.

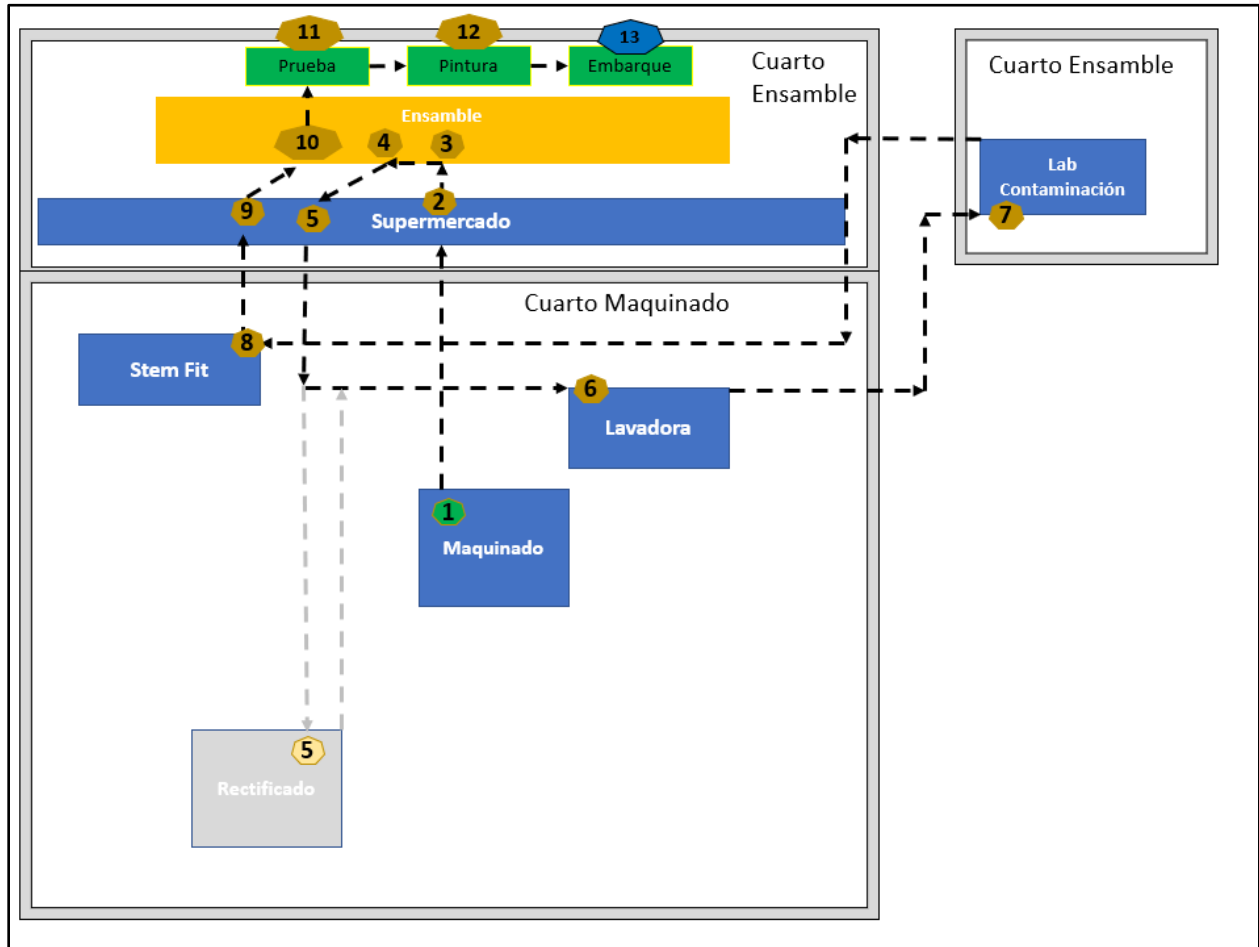
Propuesta A.

Transferir operación de rectificado a ensamble: dentro de esta propuesta se plantea transferir la operación de rectificado a ensamble, es decir, que el operador de ensamble, el cual realiza las operaciones de subensamble y ensamble, también sea quien realice la operación de rectificado, de esta manera se eliminará el trayecto de subensamble a supermercado y de supermercado hacia rectificado, posteriormente continuaría su flujo para la estación de lavadora y así sucesivamente como ha sido detallado por medio del gráfico 16. Con esta propuesta el flujo de trabajo sería como se representa mediante el gráfico 16 “Diagrama de flujo Propuesta A” donde se elimina el trayecto marcado en color gris. Los beneficios principales es que se eliminaría el 7% del recorrido total, es decir, reduciría una cantidad de 30 metros que anteriormente se conformaban del supermercado a rectificado y se reduciría a 20 los metros

recorridos del supermercado a lavadora un beneficio del 4%, es decir, en total sería un beneficio del 11% del total de recorrido o bien un recorte de 62 metros. Esta mejora la podemos observar en el gráfico 16 “Beneficios propuesta A”. En cuestión de tiempos, el tiempo que toma el traslado del supermercado a rectificado sería eliminado, con ello un beneficio del 7% del total y el de supermercado a lavadora sería prácticamente un minuto, en total tendríamos un beneficio en tiempo del 7% del total.

Gráfico 14

Diagrama de flujo propuesta A



A continuación, se resaltan en verde los beneficios esperados por la propuesta A en el gráfico 17.

Gráfico 15

Distancia de transporte, beneficios propuesta A.

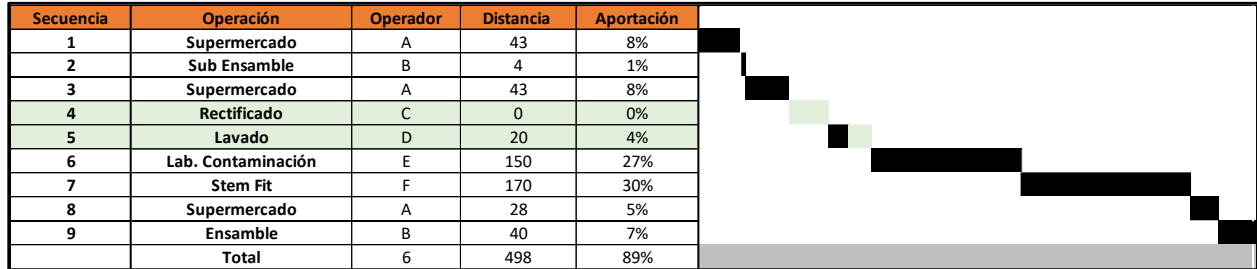


Gráfico 16

Tiempos de transporte, beneficios propuesta A.



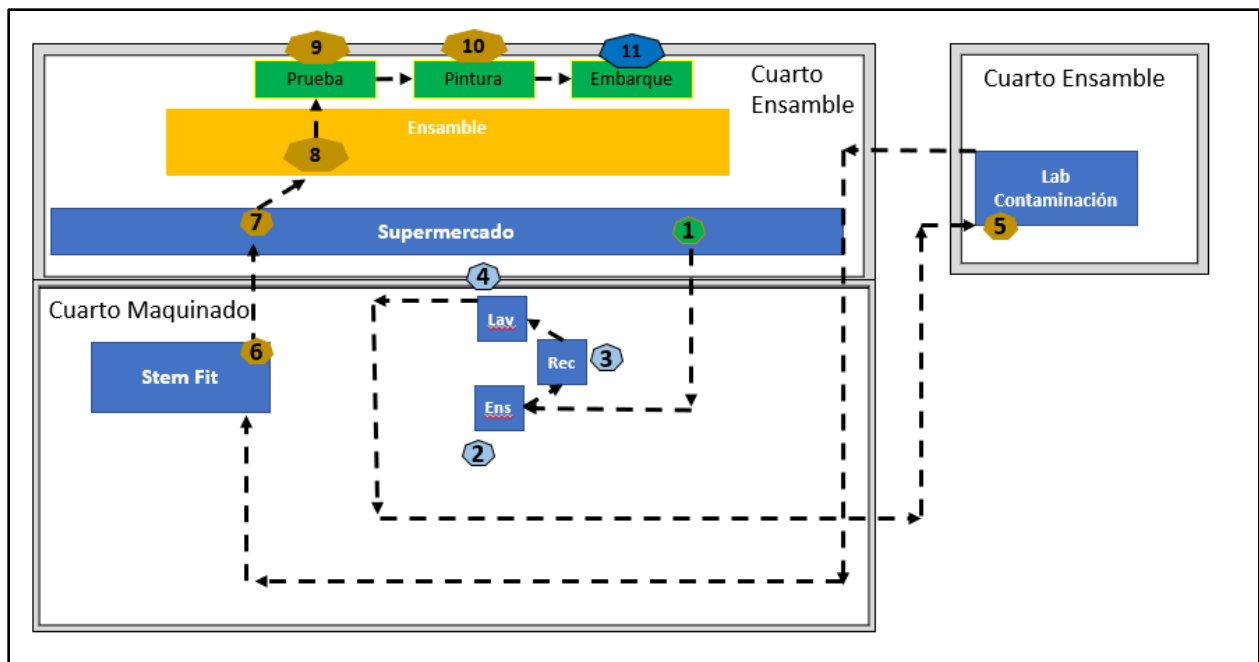
Propuesta B.

Rediseño de línea: durante esta propuesta se plantea un nuevo flujo de trabajo, donde principalmente se unificarán las operaciones de subensamble, rectificado y lavado en una celda tipo U, esta celda estará ubicada enfrente del proceso actual de la lavadora, por lo cual afectaría en gran manera al flujo actual del proceso. El flujo iniciaría en el supermercado, después el producto fluye a la celda nueva de trabajo en donde comenzaría la estación de subensamble, después el rectificado y posteriormente el lavado, todo ello concentrado en un área de no más de 80 metros cuadrados, para después continuar con el flujo hacia el laboratorio de contaminación y posteriormente a Stem fit para ser entregado a supermercado y terminar el ensamble. Con esta

nueva celda de trabajo eliminaríamos de inicio el doble paso por la línea de ensamble, al igual que los largos trayectos realizados para conectar los procesos de rectificado y lavado, esto gracias a que la nueva celda de trabajo será designada estratégicamente para eliminar largos trayectos de recorrido y poder concentrar las estaciones de trabajo en dicha celda, al igual que estaría eliminando los múltiples toques que realiza el colaborador de distribución para mover el materia repetidas veces como se realiza en el estado actual del proceso. El nuevo flujo de trabajo quedaría diseñado como se indica en el gráfico 19 Diagrama de flujo propuesta B.

Gráfico 17

Diagrama de flujo propuesta B.



En los gráficos 20 y 21 encontraremos los beneficios de distancia y tiempo relacionados con la propuesta B. Donde resulta ser de mayor beneficio en comparación de la propuesta A, ya que beneficia a la mayoría de las operaciones reduciendo en un total del 25% del total de la distancia recorrida, es decir de 560 metros que se recorren actualmente por contar con un flujo

no continuo, alcanzamos un beneficio de reducción de 140 metros con este rediseño de flujo operativo, de igual manera con la variable del tiempo aplicado al transporte, el estado actual recorre en su total 41 minutos de transporte y con nuestra nueva propuesta B conseguimos una reducción del 29%, con ello alcanzamos un tiempo de 29 minutos en movimiento como bien lo podemos observar.

Gráfico 18

Distancia de transporte, beneficios propuesta B.

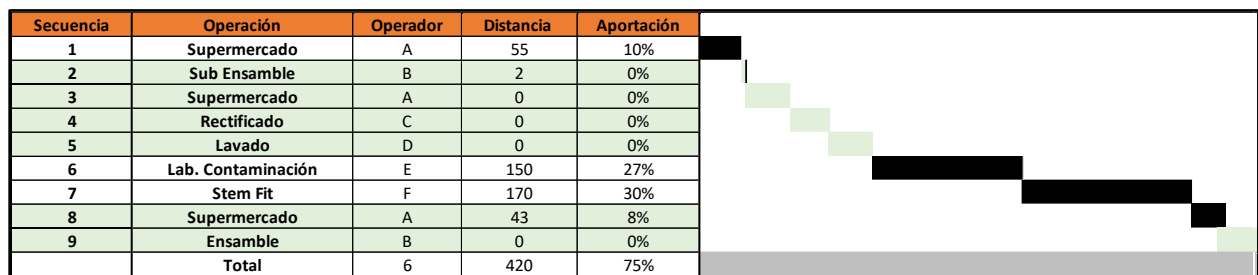
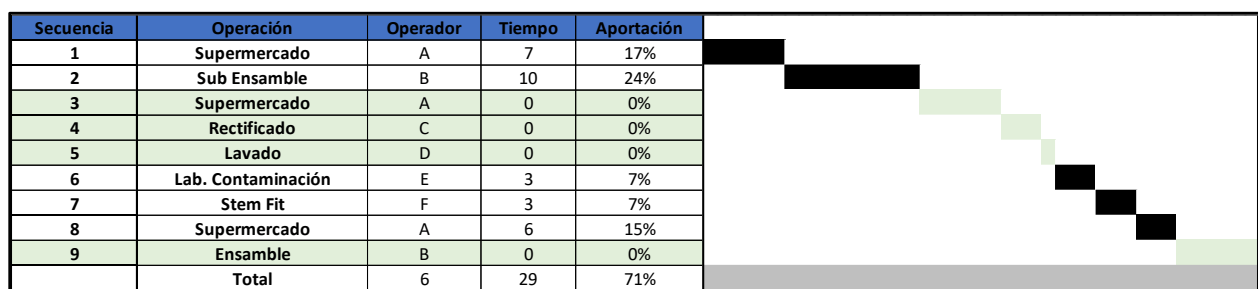


Gráfico 19

Tiempos de transporte, beneficios propuesta B.



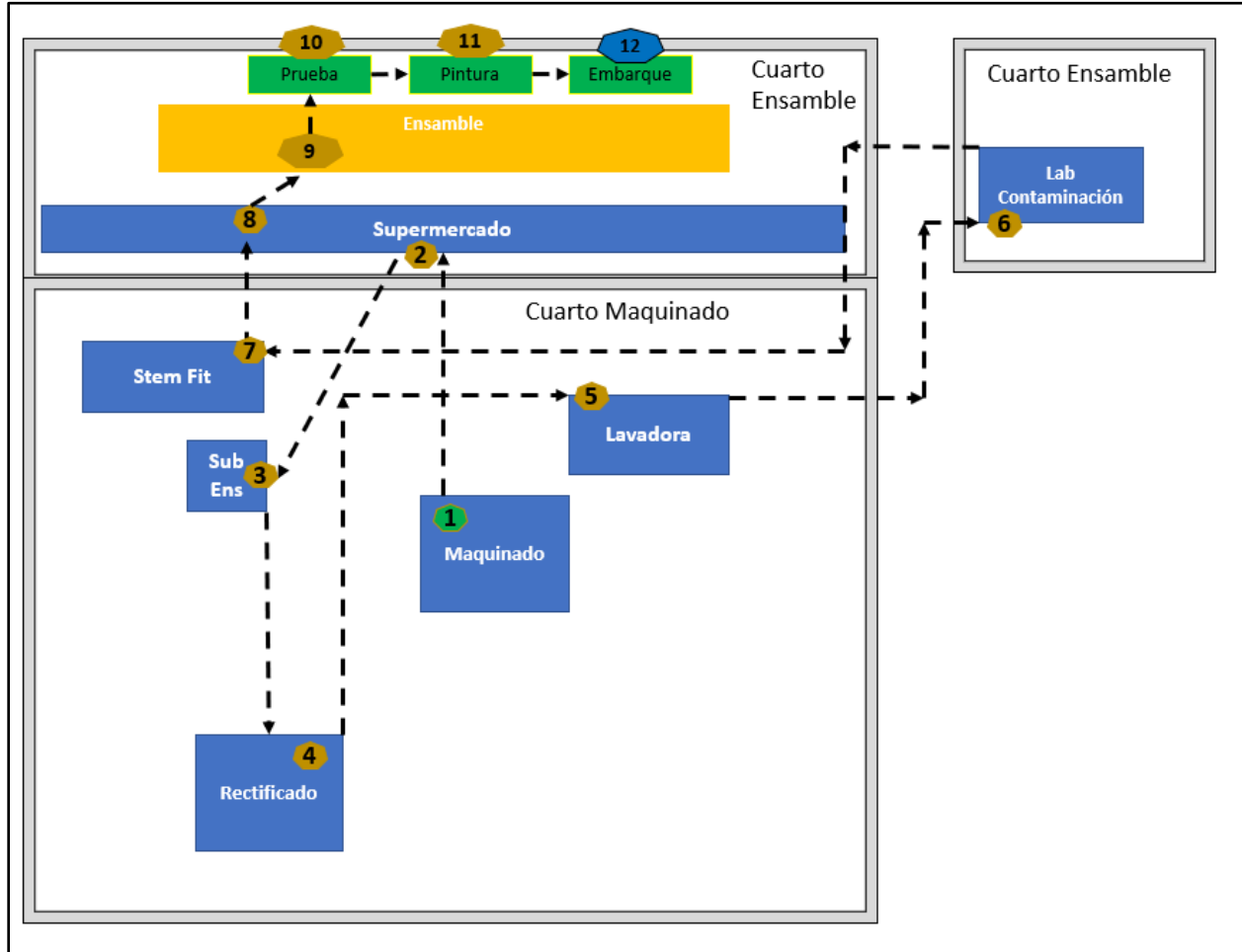
Propuesta C.

Movimiento de estación subensamblable, dentro de esta alternativa se plantea el movimiento de la estación de subensamblable, esto quiere decir instalar y desarrollar una nueva estación que se encargue de la operación de formar el subensamblable, con esto el operador de ensamble ya no será

el responsable de este subproceso. Esta estación se encontrará ubicada de manera estratégica para que elimine largos trayectos de recorrido, donde en este caso será localizada cerca de la estación de rectificado y lavadora, acortando su tiempo de traslado, pero solicitando un colaborador nuevo que sea encargado de esta operación. De la misma manera evitará que el colaborador de ensamble realice dos veces una operación en su estación de trabajo y con ello evitar tiempos muertos en procesos posteriores. Podemos ver el diagrama de flujo en el gráfico 22 diagrama de flujo propuesta B.

Gráfico 20

Diagrama de flujo propuesta B.



En esta propuesta, se elimina la segunda operación de supermercado que observábamos anteriormente, es decir, el operador del supermercado continuará surtiendo el material para realizar la operación de sub ensamble con la diferencia que ahora será en otra estación de trabajo y por lo tanto este material continuará su flujo hacia las operaciones posteriores, dejará de recibir este material de nuevo, como lo estudiábamos anteriormente donde era la tercer actividad dentro del flujo normal del producto, ahora este mismo material continuará su flujo de operación a través de los colaboradores de cada estación de trabajo. Por ello, conseguimos el beneficio de

eliminar, como previamente fue comentado, la operación número tres y por ende un ahorro de 43 metros de recorrido más la reducción de 29 metros para llegar a la operación de subensamble y seis minutos de tiempo en transporte de supermercado, más un minuto de reducción a rectificado como lo podremos observar en los gráficos 23 y 24 respectivamente.

Gráfico 21

Distancia de transporte, beneficios propuesta C

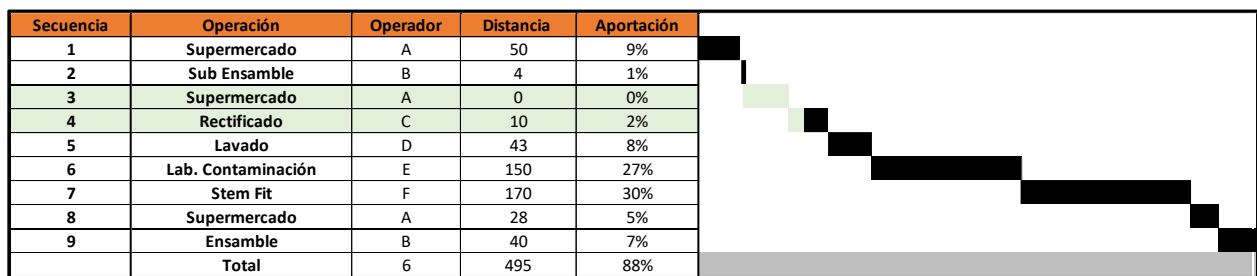
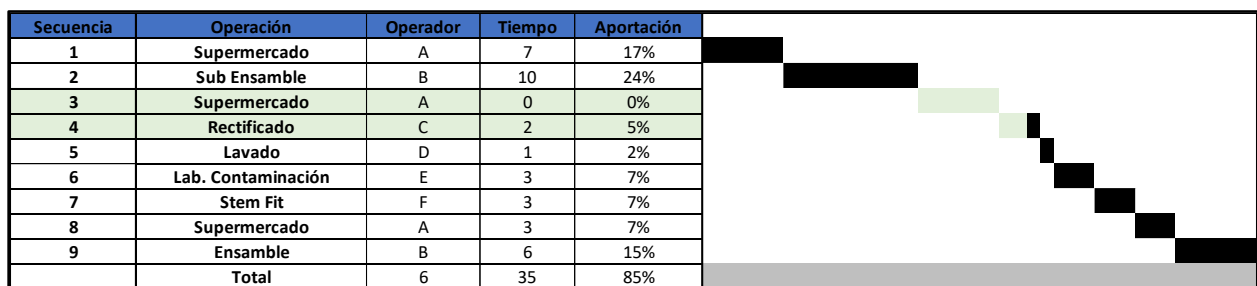


Gráfico 22

Tiempos de transporte, beneficios propuesta C.



Ventajas y desventajas.

En esta parte señalaremos las ventajas y desventajas de cada propuesta presentada.

Propuesta A, transferir operación de rectificado a ensamble. Si bien recordamos, durante esta propuesta se plantea realizar la operación de rectificado en la estación de ensamble, dentro de las ventajas de esta propuesta es que ya contamos con el equipo necesario en la estación de trabajo,

es cuestión de realizar una reubicación de las herramientas del proceso de rectificado, además este movimiento nos ayudaría a eliminar dos toques, ya sea del operador relacionado a supermercado y el operador de rectificado, de esta manera optimizaríamos su tiempo operacional y se podrían enfocar a diversas actividades externas a este proceso, no es necesaria inversión de capital ya que contamos con el equipo necesario, como ejemplo, mesas de trabajo, servicios para operar y herramientas necesarias, solo es cuestión de entrenamiento al operador de ensamble para poder iniciar este nuevo proceso. Como desventajas, seguiremos creando tiempos muertos en las operaciones posteriores, ya que al dejar de procesar producto con flujo continuo, seguiremos dejando de abastecer a procesos que continúen con el flujo normal del producto, en otras palabras, dejaremos al proceso de pruebas sin material a ser procesado, la segunda mayor desventaja es que nuestro proceso desarrollará agentes contaminantes, al ser el proceso de rectificado un proceso de creación de agentes contaminantes esto propiciará que el resto de productos que no estén involucrados en este proyecto sean afectados por estos residuos, esto se volvería un problema grave de calidad si no es tratado con la debida importancia durante la implementación de la propuesta A. En resumen, la propuesta ayuda a eliminar los trayectos de transporte largo, sin embargo, aún propicia la generación de tiempos muertos en procesos posteriores y desarrolla un nuevo potencial problema, afecta a la calidad del producto involucrado en la estación de trabajo.

Propuesta B, rediseño de línea: Por medio del gráfico 22 “Diagrama de flujo propuesta B, podemos observar que los reprocesos han sido eliminados de la estación de ensamble y los múltiples toques que se realizaban por el operador del supermercado han sido también eliminados, sin embargo esta nueva celda de trabajo requiere de capital de inversión, ya que de ser la opción seleccionada requiere que los servicios para poder operar las estaciones sean

instalados, como ejemplo, agua, aire, luz, internet, entre otros. Además de esta inversión, también se requerirá para la parte de herramental, esta cuestión cubre los herramientas que son utilizados para llevar a cabo la operación de subensamble, la función de este herramental es para llevar a cabo la operación de una manera segura y no ponga en riesgo la integridad del colaborador. El monto aproximado de inversión para los servicios de las estaciones de trabajo y el herramental es de \$15,000.00 dólares. A comparación de la propuesta A, la propuesta B ofrece más beneficios, debido a que no desarrolla nuevas áreas de oportunidad nuevas, como el caso de los agentes contaminantes, además de que su localización es ubicada en un punto estratégico al estar centrada entre la estación de laboratorio de contaminación y Stem fit, sin dejar atrás que sigue estando cerca del supermercado, donde comenzará el flujo de trabajo. Con estas nuevas condiciones se han eliminado diferentes desperdicios como los sobre procesos en ensamble, el exceso de movimientos en supermercado, los largos trayectos hasta la operación de rectificado y se diseña una nueva celda de manufactura que puede ser operada por un solo operador, de esta manera se benefician a dos estaciones de trabajo en el flujo actual, se le retira la carga de trabajo de los productos uno, dos y tres en las estaciones de subensamble y la estación de lavadora, ya que estos procesos ahora serán realizados por el operador de rectificado. Por último y haciendo una recapitulación de esta propuesta, como desventaja y a diferencia de la propuesta A, la propuesta B requiere de una inversión de \$15,000.00 dólares para ser llevada a cabo, pero cuenta con más beneficios y desarrolla un nuevo flujo de trabajo más eficiente, eliminado diversos desperdicios en diferentes estaciones de trabajo, trayendo consigo más beneficios a la organización y acercándonos al objetivo de este proyecto.

Propuesta C, movimiento de estación subensamble: como bien mencionamos, por medio de esta propuesta se busca levantar una nueva estación dentro del cuarto de maquinado, justo

entre la estación de Stem fit y rectificado, esta nueva estación recortará la trayectoria de traslado que se realiza durante el flujo actualmente, de esta manera se iniciaría el proceso de fabricación en el supermercado para posteriormente surtir el material en la estación nueva de sub ensamble y después continuaría con su proceso normal, hacia rectificado y posteriormente lavadora. De esta manera, el colaborador de ensamble ahora se enfocaría 100% a la construcción de productos que sigan un flujo continuo, así evitaría tiempos muertos en su proceso posterior, operación de pruebas, y se reduciría el monto del costo de producción desglosado principalmente en tiempos extras para cubrir este tiempo de producción, sin embargo, al igual que la propuesta B, también es requerido capital para la transformación de esta estación, de un monto aproximado de \$10,000.00 dólares, la cual es conformada por la instalación de servicios y compra del herramental de seguridad. Sin embargo, a diferencia de la propuesta B, la propuesta C aún y que haya acortado la distancia de trayectos al haberse colocado en una zona estratégica, aún sigue realizando los trayectos a los procesos de rectificado y lavadora. A continuación, remarcaremos las diferencias de cada propuesta en la tabla comparativa y destacaremos las ventajas y desventajas de cada una de ellas. Posterior a ello, remarcaremos los argumentos para la toma de decisión.

Evaluación de propuestas.

Cabe señalar que la generación y elaboración de las propuestas fue realizada por medio del mismo equipo multidisciplinario que se conformó desde el inicio del proyecto. El trabajo en equipo que se ha desarrollado es de gran importancia para alcanzar los beneficios esperados de este proyecto y por ello, los diferentes puntos de vista que se alcanzan por medio de un equipo integral ayudan a tener la mayor cantidad de perspectivas sobre las propuestas aquí planteadas. Cada una de las propuestas mencionadas cuenta con buenos beneficios que ayudarán a la

empresa a ser más eficiente y alcanzar el éxito en sus procesos, sin embargo, se debe llegar a la selección de una de las tres opciones. A continuación, presentaremos la tabla 2 “Resumen de propuestas”, en esta tabla, realizaremos la comparación de cada una de ellas para llegar a la selección de la mejor y más benéfica para la compañía.

En resumen, en las tres propuestas antes presentadas cuentan con buenos beneficios para la organización, sin embargo, es necesario seleccionar solo una de ellas.

Tabla 2

Resumen de propuestas

Propuesta	Monto de inversión (Dólares)	Distancia de transporte (Metros)	Tiempo de transporte (Minutos)	Beneficio (Distancia)	Beneficio (Tiempo)	Afecta a otros factores*
Estado Actual	\$0.00	560	41			Si
A	\$0.00	498	38	11%	7%	Si
B	\$15,000.00	420	29	25%	29%	No
C	\$10,000.00	495	35	12%	15%	Si
*Factores del negocio: Seguridad, Calidad.						

Por medio de la tabla 2 podemos observar las múltiples propuestas que fueron propuestas por el equipo, en primera instancia vemos el renglón denominado estado actual, el cual sería nuestra base para comenzar a medir los beneficios a los cuales queremos llegar, posterior a ello se muestran a manera de columnas las implicaciones que requieren cada una de las propuestas como el monto de inversión, la distancia total que recorrerá con los cambios realizados, el tiempo de ruta de transformación y el porcentaje de beneficio que tendrá la propuesta e comparación con el estado actual. Al final de la tabla se agrega una columna titulada “Afecta a otros factores” en donde resaltamos en caso de que la propuesta vaya a presentar una oportunidad al momento de ser implementada, como ejemplo, durante la propuesta C mencionamos que se diseñaría una nueva estación de trabajo específica para llevar a cabo la

operación de subensamble, sin embargo, de implementarse esta propuesta aún seguirían existiendo trayectos de recorrido largos para conectar diferentes estaciones de trabajo como el caso de conectar la estación de rectificado con la estación de lavado y dentro de la propuesta A, analizamos que de ser implementada esta solución, pueden existir potenciales problemas de calidad al contar con agentes contaminantes y degradar la calidad de los productos al crear esta nueva condición en la estación de ensamble. A excepción de la propuesta B, dicha propuesta no genera potenciales problemas de seguridad o calidad, ya que no ponen en riesgo la integridad del personal al contar con herramental específico para realizar una operación en condiciones ideales para trabajar y la calidad sería del mismo modo respetada y controlada al no poner en riesgo productos externos al alcance de este proyecto. Sin embargo, como podemos observar, esta propuesta B es la que requiere el capital de inversión más alto de las tres, aunque consigo desarrollará los mejores beneficios esperados alcanzando el objetivo de este proyecto. Bajo la información analizada y el potencial de crecimiento que tiene esta propuesta, lo cual se explicará más adelante, se toma la decisión de continuar con el análisis de la propuesta B.

Selección de propuesta.

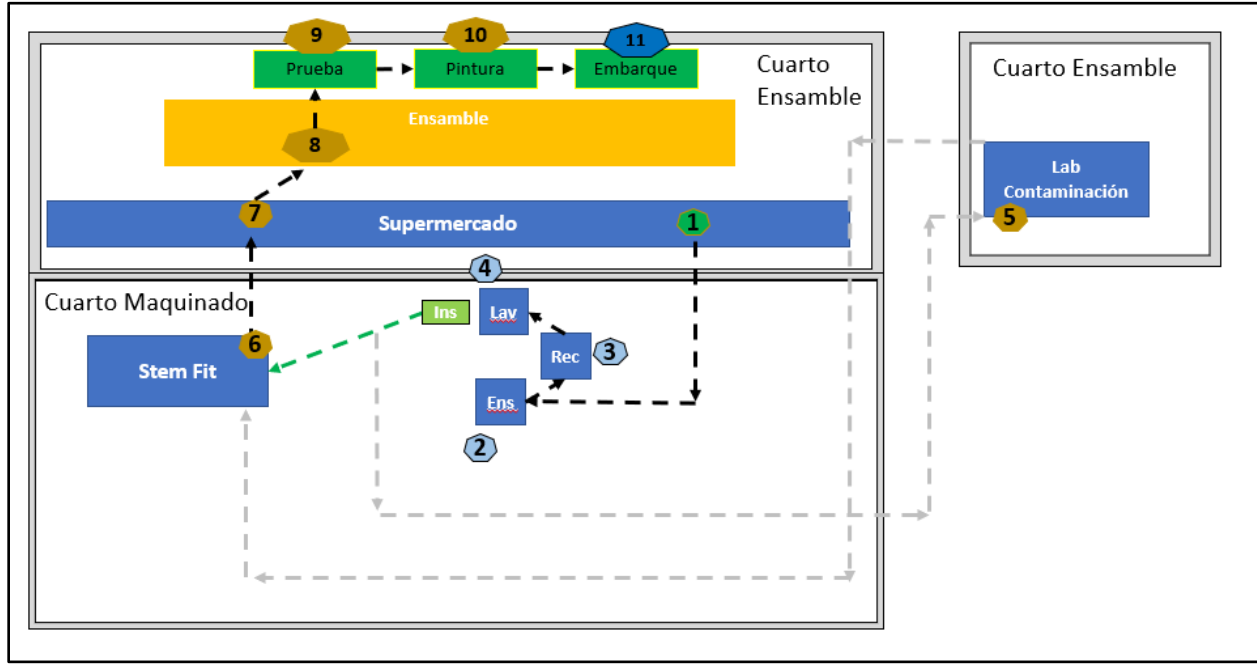
Debido al potencial de crecimiento y mejora continua que presenta la propuesta B, se ha decidido hacer más análisis y desarrollo en esta estrategia. De esta manera la propuesta B se compondrá de dos fases. La primera fase consistirá en el estudio y análisis de la implementación de la propuesta original, es decir, el levantamiento de la nueva celda de manufactura agrupando los procesos de sub ensamble, rectificado y lavadora en una misma área de trabajo, en donde cada una de estas operaciones será llevada a cabo por un mismo colaborador en tres diferentes mesas de trabajo, cada una para su respectiva operación, desarrollando los beneficios potenciales que se han platicado anteriormente, se reduce el porcentaje del total de la distancia aplicada

durante trayectos al igual que el tiempo de duración en transporte, elimina los tiempos muertos en operaciones posteriores, elimina los múltiples toques que realizaba el operador de supermercado y el sobre procesa que realizaba el operador de ensamble y posterior a ello se presenta la segunda fase, esta sección consiste en la reducción del trayecto que consta de la operación de lavado hacia la estación del laboratorio de contaminación y del laboratorio de contaminación a la estación de Stem fit, en resumen se busca pasar de la operación de lavado a la operación de Stem fit directamente, con una reducción de 440 metros y de 16 minutos en comparación del estado actual, lo que sería una mejora adicional de reducción de 300 metros y cuatro minutos de implementarse la propuesta B.

Mediante el gráfico 25 detallaremos el estado actual del proceso a desarrollar.

Gráfico 23

Diagrama de flujo, fase dos propuesta B.



Como bien comentamos, posterior a la implementación de la fase uno propuesta B, continua el desarrollo e implementación de la fase 2, la cual conectará directamente el proceso de lavado con el proceso de Stem fit como lo podemos observar mediante el gráfico 25 en la línea puntada en color verde. De esta manera recortaremos el traslado que se realizaba anteriormente hacia el laboratorio de contaminación, por el cual se transportaba el producto una distancia de 150 metros de lavadora a laboratorio y de 170 metros de laboratorio a Stem fit, un total de reducción de 320 metros. Con esta propuesta buscamos el mayor beneficio alcanzado para el nuevo proceso a establecer, por lo tanto se plantea una estrategia que proteja y asegure la calidad del producto entregado, es por ello que dentro de la estrategia para la implementación de este nuevo flujo de trabajo se propone implementar una estación adicional en la celda de manufactura para llevar a cabo la inspección de laboratorio de contaminación y de esta manera certificar que

nuestro proceso es capaz y estable para entregar la calidad deseada a nuestros clientes internos del proceso.

Pruebas ingenieriles realizadas.

Diseño de celda de trabajo.

Una vez seleccionada la propuesta B, se continua con el diseño de la nueva celda de trabajo. Esta actividad consiste en diseñar el layout de la propuesta de trabajo, la cual contenga los cambios a realizar en la planta de producción. Para ello se utiliza un software de diseño y se comienza a diseñar detalladamente cada estación de trabajo con el flujo a realizar, considerando herramientas, mesas de trabajo, movimiento de grúas, flujo de material, espacio libre para situaciones de emergencia, bajadas y alimentaciones de servicios de energía, posicionamiento de los equipos, pasillos de seguridad, equipo de emergencia, accesos a equipos, equipos periféricos que interactúan en las estaciones de trabajo, flujo de material entre estaciones, entre otros.

Fábrica de cartón.

Con el fin de conseguir la mejor propuesta, el sistema de producción Caterpillar recomienda presentar la propuesta físicamente mediante la técnica bajo nombre de fábrica de cartón, esta técnica permite realizar una simulación real de bajo costo construyendo las estaciones de trabajo, el equipo y los productos a base de cajas de cartón, las cuales harán la función de simular la nueva celda de trabajo analizada bajo la propuesta B y nos dará el más acertado estado del proceso. Durante la aplicación de esta técnica podremos encontrar oportunidades que no pudieron ser observadas mediante el análisis en software, ya que se realiza por medio del personal, una simulación de los movimientos y actividades a ejecutar en cada estación de trabajo, de esta manera podremos detectar si nuestra nueva estación de trabajo contará con riesgos de seguridad, si presenta alguna condición con espacios muy reducidos o

muy separados, de la misma manera detectar si la localización asignada a alguna herramienta no fue la correcta, detección previa de exceso de movimientos realizados, determinar el mejor espacio para accesos a los equipos cuando sea requerido por el equipo de mantenimiento, se analiza el medio ambiente relacionado con el colaborador y de la misma manera se realiza un estudio de tiempos y movimientos, el cual nos ayuda a obtener tiempos esperados de cada actividad. Un momento clave es cuando el personal que ha diseñado la celda de trabajo hace interacción con los movimientos y distribución que previamente realizó, además de que contará con la retroalimentación del personal involucrado en la operación y de esta manera se contribuye a la mejor continua en cuestión del nuevo diseño. Por medio de esta técnica alcanzamos a corregir errores que no se habían detectado, se hicieron correcciones en el diseño, se relocalizaron equipos que no eran de alta frecuencia de uso, se detectaron puntos de seguridad importantes a cuidar durante la operación y por último se designaron los espacios por donde serían instalados los servicios de energía en los equipos. Fue debido a esta técnica que encontramos el mejor diseño de nuestra propuesta y se declaró la propuesta final para alcanzar el objetivo del proyecto.

Análisis de distribución de cargas.

Previo a la instalación y movimientos de los equipos, se realiza una simulación de la celda de manufactura en cuestión de cargas de trabajo, de esta manera confirmaremos que el nuevo flujo de trabajo no presentará oportunidades posteriores a ser implementada o que requiera más personal del planeado para su procesamiento. Para el análisis de distribución de cargas de las nuevas estaciones, se lleva a cabo la recopilación de la información, entre las cuales podemos mencionar, pronósticos de demanda para los siguientes 12 meses, tiempos de ciclo para cada operación de trabajo referente a los grupos uno, dos y tres, tiempo operacional disponible, al

igual que los turnos que laborarán y los días laborales en el año. Con esta información bastará para llevar a cabo nuestro análisis de cargas en las estaciones de trabajo de subensamble, rectificando y lavado.

Después de haber detallado esta información se continúa con el análisis de capacidad de la línea de trabajo. Por medio de este proceso analizaremos si nuestro proceso se encontrará en un estado balanceado y podrá cumplir con los requerimientos de demanda de nuestro cliente para que puedan ser abastecidos en tiempo y forma. De la misma manera detectaremos si la propuesta B, dentro del diagrama de flujo, crea un cuello de botella o algún desperdicio potencial, así podremos reevaluar nuestra propuesta o bien balancear las actividades entre cada estación de trabajo y evitar el desarrollo de nuevos desperdicios en nuestra operación que encarezcan la eficiencia del personal. Adicional a ello, hacer un análisis de distribución de cargas previo a la implementación, tiene una gran importancia debido a que podremos declarar el número de operadores requeridos por cada estación de trabajo, los turnos a ser programados durante el año, la carga que tendrá cada estación de trabajo y no menos importante, conocer si nuestros procesos se encuentran balanceados de manera que podamos simular el beneficio que tendrá en nuestro proyecto y por ende declarar la rentabilidad de este proyecto sobre otros.

A continuación, por medio de la tabla 3 se presenta la información previamente mencionada para llevar a cabo el análisis de capacidad de la propuesta B, cabe señalar que se incluye el análisis de los procesos principales, en este caso incluirán los tres procesos involucrados en la propuesta B, es decir, subensamble, rectificando y lavadora.

Tabla 3

Análisis 2020-2021

Análisis 2020-2021	
Días laborales	261
Demanda total	385
Tiempo efectivo por turno (mins)	558
Número de turnos	1
Takt Time (mins)	378

En la tabla 3 podemos observar que los días laborales que corresponden al análisis de capacidad son de un año laboral, lo que significan 261 días con una demanda de 385 piezas de los productos uno, dos y tres, además se presenta el tiempo efectivo que tiene el turno operativo, el cual, eliminando juntas de arranque, el respectivo tiempo de comida y tiempos de descanso, resulta un total de 558 minutos trabajados durante el turno. Por cuestiones de análisis se desarrollará el estudio analizando el proceso con la programación de solo un turno laboral durante esos 261 días. Como estudiamos en la parte del marco teórico, procedemos a calcular el takt time o tiempo tacto, el cual su fórmula y descripción se encuentran en el anexo X-X. Por lo cual, deducimos que nuestro tiempo tacto para la serie de productos uno, dos y tres es de 378 minutos, esto quiere decir que el ritmo al cual debe estar trabajando la línea de producción o el diagrama de flujo para los productos uno, dos y tres debe de ser una pieza cada 378 minutos y cualquier operación que sobrepase este ritmo de trabajo causará altas demoras en el proceso que pondrán en riesgo nuestra capacidad de entregas al cliente.

Una vez detectado nuestro tiempo tacto, procedemos a calcular el tiempo de ciclo de la nueva celda de operaciones, el cual se detallará por medio de la tabla 4.

Tabla 4

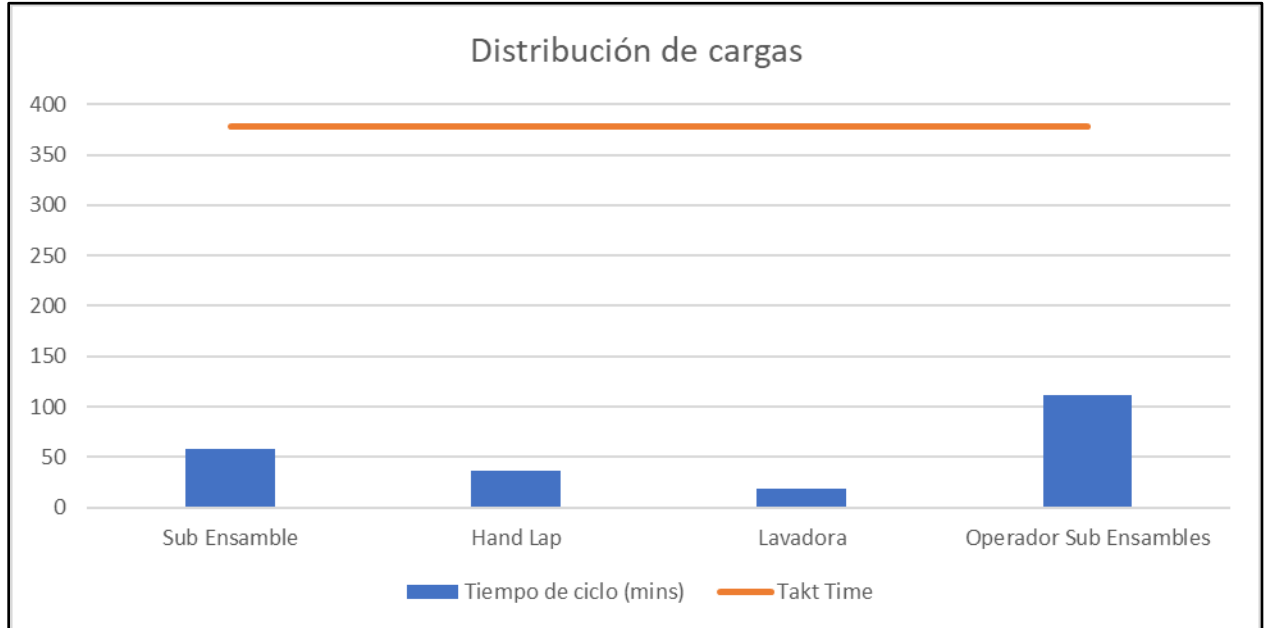
Tiempos de ciclo

Estación	Tiempo de ciclo (mins)
Sub Ensamble	57.51
Hand Lap	35.91
Lavadora	17.96
Operador Sub Ensamblés	111.38

De esta manera, de primera instancia podemos observar que nuestra nueva celda de trabajo será capaz de procesar la demanda obtenida en el año 2020-2021, por lo tanto, podemos confirmar que bajo las condiciones mencionadas en la tabla 4, el proceso es capaz de realizar las operaciones con un solo colaborador al mando de estas tres estaciones de trabajo. De esta manera confirmamos por segunda vez que la propuesta B sigue siendo factible desde la perspectiva de manufactura. Por medio del gráfico 26 se realiza de manera visual la distribución de cargas para cada operación, donde claramente se observa que ninguna operación sobrepasa nuestro tiempo tacto para productos uno, dos y tres como previamente hemos concluido.

Gráfico 24

Distribución de cargas



Sin embargo, para motivos de variaciones en la demanda de años posteriores, se decide hacer el mismo análisis con la diferencia de que se tomará en cuenta la demanda obtenida del año 2019 a 2020, lo cual resulta en casi el doble del año 2020-2021 y por lo tanto nos dará como beneficio, resultados más certeros de lo que estamos por implementar. A continuación, realizaremos el mismo estudio solo con la modificación de la demanda, considerando que los días laborales son los mismos, 261. Mediante la tabla 5 observamos la información relacionada al lapso de análisis 2019-2020.

Tabla 5

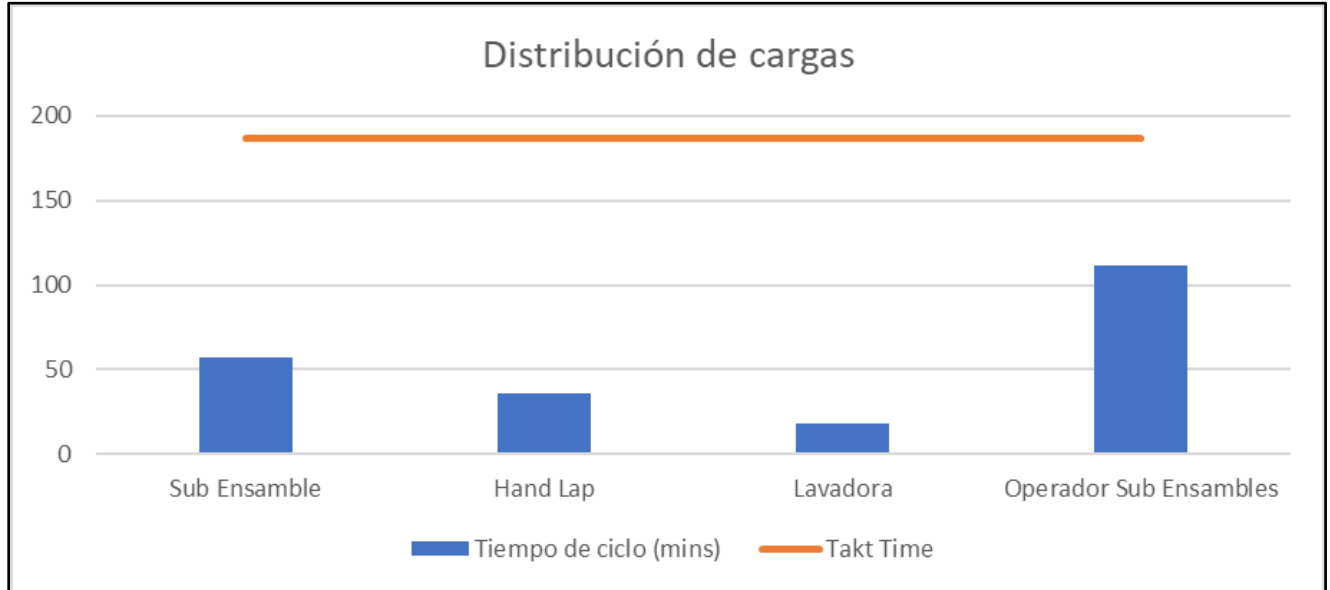
Análisis 2019-2020

Análisis 2019-2020	
Días laborales	261
Demanda total	781
Tiempo efectivo por turno (mins)	558
Número de turnos	1
Takt Time (mins)	186

A diferencia del primer análisis, observemos que la demanda durante el año 2019-2020 fue de 781 piezas, lo que significa una variable considerable que nos pueda dar un estado más real del proceso en condiciones de alta demanda. Posteriormente se procede con el cálculo del takt time el cual se obtiene de la misma manera anteriormente comentada, lo cual tiene como resultado un ritmo de trabajo de 186 minutos. Continuamos con la parte visual del análisis por medio del gráfico 27.

Gráfico 25

Distribución de cargas 2019-2020



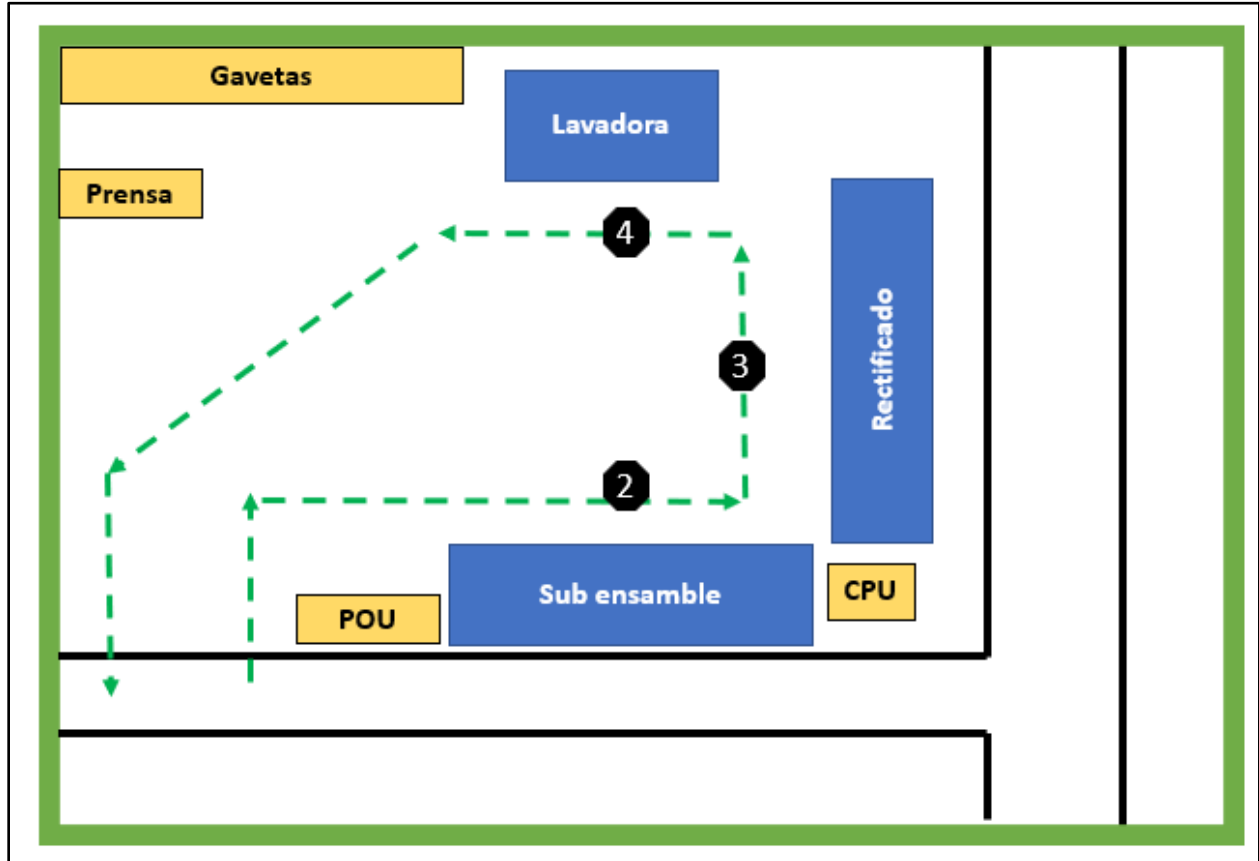
En conclusión, aún y que las condiciones del año 2019 a 2020 se repitan y establezca como un periodo de alta demanda, el proceso será capaz de cumplir con el ritmo de entrega de productos sin causar demoras en sus embarques a cliente. Por ello tomaremos como conclusión que nuestra propuesta B en su primera fase será totalmente válida y contará con una celda de trabajo en balance sin generación de desperdicios en su proceso como cuellos de botella en su flujo de operación, constituyendo este nuevo flujo de trabajo como manufactura esbelta. También por medio de la fábrica de cartón aseguramos que la celda de trabajo cuenta con condiciones adecuadas de trabajo para cuidar de la integridad del colaborador, donde el flujo del material dentro de la estación no es interrumpido, se asegura también que el movimiento de la grúa mientras se hace el levantamiento del producto no cuenta con interrupciones o interferencias que puedan poner en riesgo principalmente la integridad del colaborador y de los equipos en funcionamiento.

Propuesta final.

Por último, por medio del gráfico 28 “Celda de trabajo, propuesta B” muestra el nuevo diseño y distribución de cada estación de trabajo, así como los equipos necesarios para almacenar el herramental del proceso. En donde el material iniciaría en la estación de subensamble, donde contaría con su correspondiente estante de material, denominado POU, lo cual por sus siglas en inglés se refiere a *Point Of Use*, donde los componentes que estarán siendo ensamblados en esta estación se encuentran almacenados. También contará con su correspondiente equipo de cómputo (CPU) para la consulta de información del producto, revisión de ordenes de trabajo, entre otros beneficios. En tercera instancia tendremos la mesa de rectificado, la cual requiere de las gavetas de almacenamiento entradas al lado izquierdo de la lavadora, fue localizada aquí debido a la frecuencia de uso de las barras de rectificado, estas barras de rectificado varían por su diámetro, entonces al programar solo una corrida de cierta serie de producto solo hace uso de un tamaño de diámetro en específico. De la misma manera fue con la prensa de recubrimiento, esta es utilizada una vez que las barras de rectificado han sufrido desgaste, en esta estación se lleva a cabo un reforzamiento de las barras para que puedan seguir cumpliendo su función. Por último, el proceso de la lavadora, si bien podemos observar el flujo forma una letra C, lo cual, a diferencia del proceso actual, hace una reducción significativa en el flujo del trabajo, elimina retrocesos en el flujo y reduce en gran cantidad el trayecto recorrido.

Gráfico 26

Celda de trabajo, propuesta B



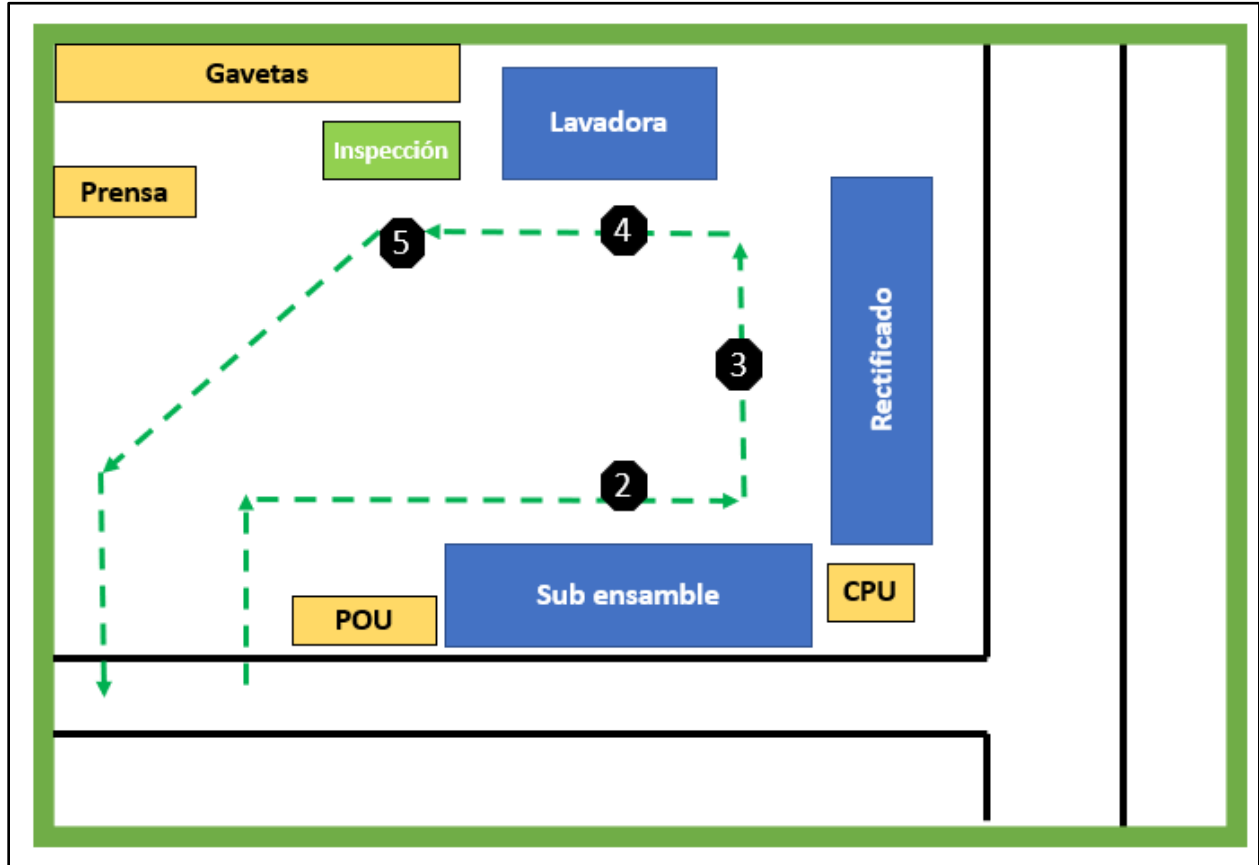
Mejora continua.

Debido a la constante búsqueda por la mejora continua dentro del proyecto y posterior a la implementación de la fase uno del proyecto, se procede a entrar en la segunda fase del proyecto. Se realiza la instalación de la mesa de inspección posterior al proceso de lavado, en esta estación se tomará la muestra para realizar la inspección de partículas en el producto y de esta manera se elimina el trayecto que se realiza de la estación de lavado al laboratorio de contaminación y del laboratorio de contaminación a la estación de Stem fit.

Como resultado el operador no tendrá que recorrer el trayecto hasta la estación del laboratorio, sino que, se realizará la muestra en la nueva celda de manufactura por el técnico de calidad y se liberará el producto una vez sea satisfactorio el resultado en el análisis en el laboratorio. Esta estrategia será muy útil para la reducción de desperdicios, principalmente en transporte, debido a que el producto ya no será transportado 320 metros cada vez que es procesado la serie de productos uno, dos y tres, sino que, se tomará una muestra en la nueva estación de trabajo al finalizar el proceso de lavado, se analizará y de ser satisfactorio se continuará con el proceso de este producto, este proceso se replicará en la totalidad de las piezas, por lo tanto, el factor de calidad no será afectado. Esta nueva fase no requiere de inversión adicional a la previamente mencionada, ya que la muestra se realiza en una estación móvil con la cual ya se cuenta actualmente. El flujo de procesos y nuevo layout de la celda de manufactura queda establecido como se menciona en el gráfico 29 “Celda de trabajo, propuesta B Fase 2”.

Gráfico 27

Celda de trabajo, propuesta B Fase 2



Estandarización.

Después de haber alcanzado la estabilidad del proceso y haber controlado las variables que nos permiten realizar frecuencias de inspección, se establece que la fase dos de la propuesta ha sido terminada. Sin embargo, para mejora del proceso, se realiza una estandarización de las actividades correspondientes a cada operación y conexión entre ellas, es decir, aunque el mismo flujo de trabajo ya hace por sí mismo más eficiente el flujo de trabajo, debemos declarar quien será el responsable de cada uno de ellos, esto nos permitirá evitar falta de comunicación en la operación y como consecuencia generación de desperdicios debido a ello. Por medio del sistema

de producción de Caterpillar, se realiza la declaración de operaciones en los estándares de trabajo de los colaboradores, con ello permitirá a los supervisores de cada uno llevar a cabo la capacitación y entrenamiento del personal. A su vez, alcanzar el punto de estandarización y mejora, permitirá que personal adicional pueda ser entrenado y cubrir en caso de que se requiera, esto mejorará la flexibilidad de nuestra matriz de habilidades consiguiendo que podamos rotar al personal en distintas estaciones sin depender totalmente de la mano de obra especializada.

Resultados.

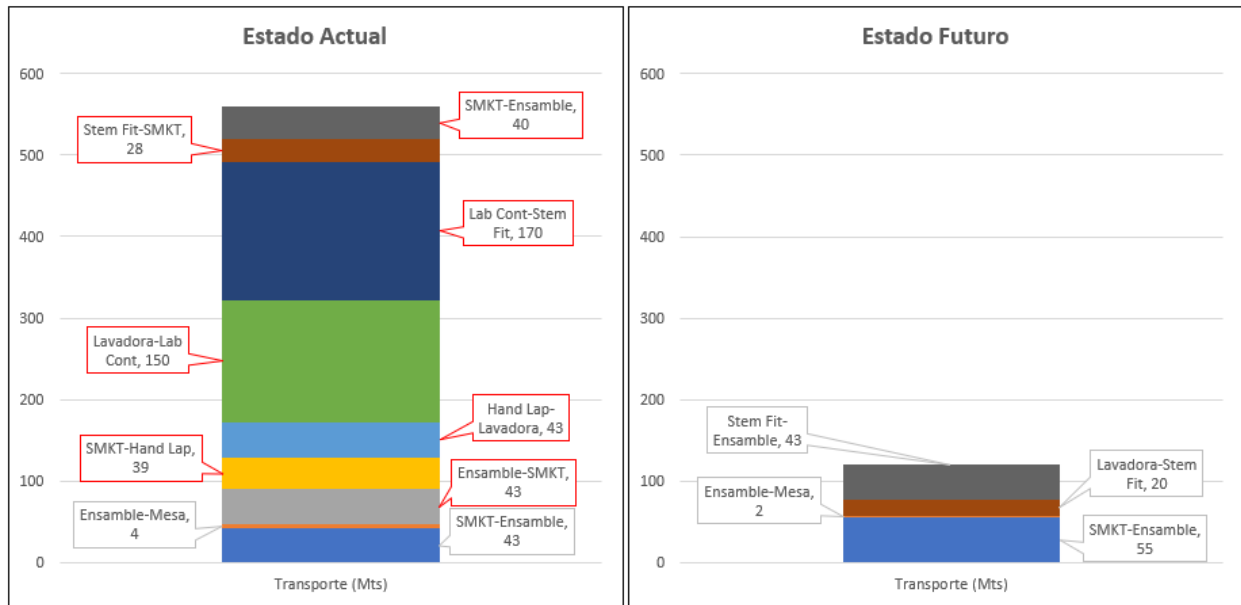
Estado actual y estado futuro.

A continuación, realizaremos una comparación del estado actual contra el estado futuro, dentro del estado futuro contaremos con la implementación de la propuesta B con la fase dos implementada, como fue previamente detallado. Por medio de una secuencia de gráficos podremos detallar de manera visual los cambios reflejados en el flujo de operaciones.

Iniciaremos con el gráfico 30 donde observaremos los beneficios obtenidos por medio del levantamiento de la nueva celda de manufactura y los trayectos eliminados. En este gráfico podemos observar los trayectos que han sido eliminados y el beneficio conseguido, de esta manera logramos reducir cerca de un 80% la distancia recorrida.

Gráfico 28

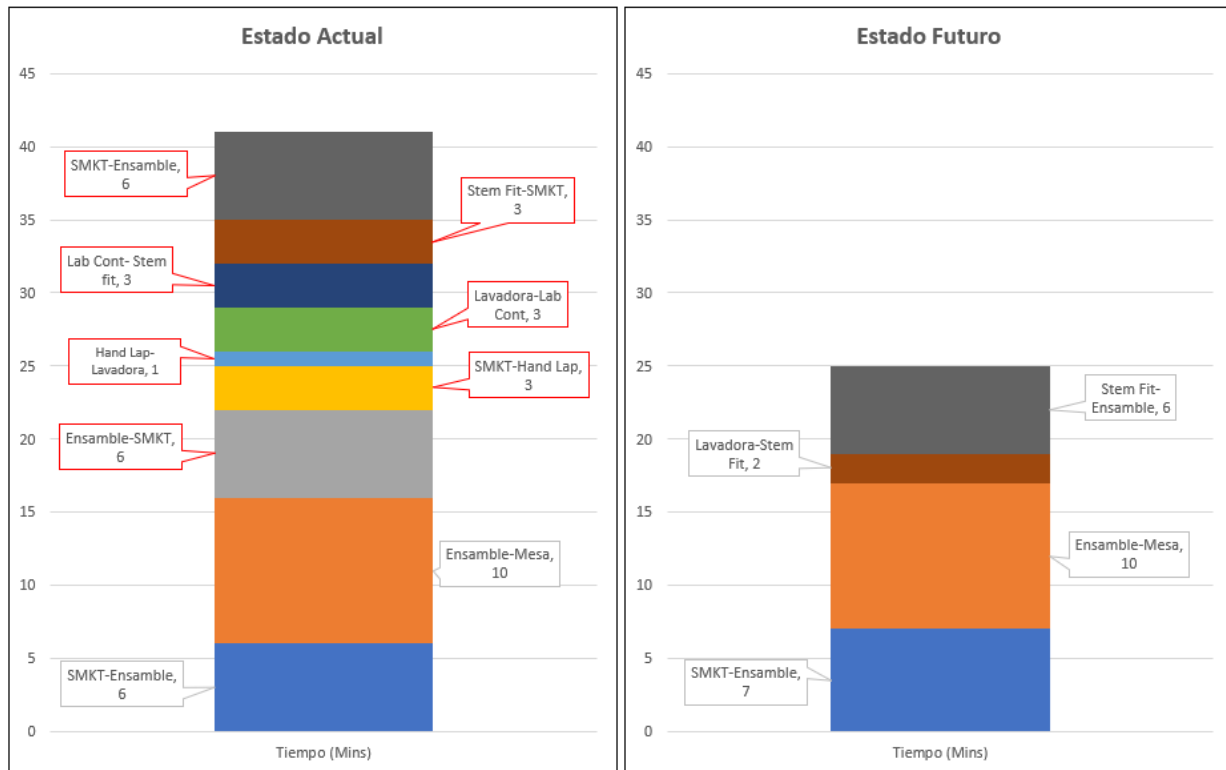
Comparación de transportes estado actual y estado futuro.



A consecuencia de haber reducido la distancia de trayecto, también lo hace la variable del tiempo, realizando una reducción de cerca del 40% del tiempo invertido en transportar el producto de una estación a otra, por lo que de igual manera se presenta la comparación de los tiempos aplicados en transporte por medio del gráfico 31.

Gráfico 29

Comparación de tiempos en recorrido, estado actual y estado futuro.



Estas variables eran reflejadas como desperdicios en el proceso operacional, y cumplían con la función de indicadores de ineficiencia del proceso, sin embargo, el proceso de pruebas presentaba deficiencias las cuales eran causadas por la completa desconexión de los procesos posteriores ocasionados por los desperdicios en la fabricación de las series de productos dentro del alcance del proyecto, ya que, era necesaria la programación de tiempo extra en este proceso para poder terminar la ruta de operaciones y así poder embarcar a cliente los productos. Esto quiere decir que todos los desperdicios antes generados se reflejaban en tiempos muertos en la máquina de pruebas, en donde al no tener producto por ser procesado, el operador de la máquina de pruebas tenía tiempos muertos los cuales tenían que ser cubiertos en tiempos extraordinarios.

A este ritmo de trabajo, la empresa realizaba el gasto mensual promedio de \$1,200 dólares en la programación de tiempo extra, solamente para la producción de válvulas series uno, dos y tres, para el personal que operaba en las estaciones de trabajo afectadas, las cuales fueron las estaciones de prueba funcional.

Al final de la implementación de este proyecto concluimos y cumplimos los objetivos planteados al inicio de este, donde el objetivo principal fue la reducción del transporte en un 75%, donde al final del proyecto se alcanzó un resultado de cuatro puntos porcentuales más, dando un total de reducción del 79% durante el flujo de trabajo. Debido a esto, resaltamos que este proyecto ha excedido los objetivos planteados por el equipo, resultando el desempeño de un proyecto de alto impacto para el equipo de trabajo y la unidad de negocios.

Además de destacar al proyecto por sus resultados operativos, a continuación, mostraremos a detalle el desarrollo del análisis financiero realizado.

Análisis financiero

Continuando con el análisis financiero, el proyecto tendría un beneficio anual de \$14,400 dólares al eliminar concepto de gasto de tiempo extra para producción de productos series uno, dos y tres, con una inversión única de \$15,000 dólares, con esta información podremos obtener los indicadores financieros con el objetivo de concluir si es una inversión redituable y de beneficio para la empresa o si más que una inversión constituye un gasto que no tendrá buenos beneficios durante la vida de los equipos. De esta manera procedemos a calcular los indicadores de Valor presente neto (VPN), Tasa interna de retorno (*TIR*) y el tiempo de retorno de inversión (Payback), los cuales calcularemos con base en las fórmulas presentadas en el Anexo X-X, definidas dentro del marco teórico y las cuales presentaremos en la tabla 6 “Análisis financiero”.

Tabla 6

Análisis financiero

Año	Monto
0	-\$15,000.00
1	\$14,400.00
2	\$14,400.00
3	\$14,400.00
4	\$14,400.00
5	\$14,400.00
VPN	\$49,106.24
TIR	92%
PAYBACK	1.1

Realizamos la inversión en el año cero del proyecto y colocamos la extensión de los ingresos del proyecto a través de cinco años, esto debido a políticas internas de la empresa, posterior a ello continuamos a calcular el Valor presente neto del proyecto el cual como podemos observar es un valor positivo y además le agrega valor a la empresa en un monto de \$49,106.24 dólares a través de los cinco años de vida del proyecto, hasta ahorita tenemos resultados positivos. Continuamos con el cálculo de la tasa interna de retorno, en donde Caterpillar solicita que al menos cuente con un 4% de crecimiento en el rubro de proyectos de mejora continua, por lo cual, confirmamos con una TIR de 92% de interés, que el proyecto sigue cumpliendo las expectativas. Al final calculamos el tiempo en el cual tendremos de regreso nuestra inversión, este retorno de inversión viene dado por los flujos de beneficios que nos dará el proyecto, por lo tanto, se deduce que el retorno de inversión es en un lapso de 1 año y 1 mes. Con esto terminamos de concluir que el proyecto de eliminación de desperdicios a través de la propuesta B es factible en ámbitos financieros y otorgará a Caterpillar beneficios en un plazo de cinco

años. Esto señala que el proyecto ha brindado más de los beneficios esperados al superar las expectativas de los requerimientos para implementación de proyectos.

Consideraciones

Diversas consideraciones se mantuvieron desde el inicio del proyecto, ninguna de las operaciones podía ser eliminada, es decir, respetaríamos las operaciones que se realizaban con el principio de que entendíamos el objetivo de cada una de ellas por lo tanto no se arriesgaría la calidad del producto por encima de la velocidad. Por ello nos referimos a la operación de la lavadora y laboratorio de contaminación, no eliminaríamos estos pasos dentro del diagrama de flujo con el fin de aumentar la velocidad operativa, se analizaría la mejor manera en que pudiéramos cumplir con todos los rubros de calidad requeridos en el producto siempre y cuando existiera un análisis fundamentado sobre el cual pudiéramos evidenciar que nuestros procesos son capaces, estables y existiera la manera de mantenerlos controlados para que puedan entregar siempre la mejor calidad en nuestro producto. De esta manera fue como se implementó la nueva estación del laboratorio de contaminación para la inspección de partículas abrasivas en el producto.

No degradaríamos los estándares de calidad entregada de los procesos, con esto mantendríamos la calidad del producto con nuestro cliente modificando la formula con la que fabricábamos nuestros productos. Esto se refiere a que no exigiríamos menos a un proceso de lo que es capaz de entregar en cuestiones de calidad. Por política empresarial, la calidad es siempre primero antes que la velocidad, por lo tanto, mantendríamos esto como prioridad.

Conclusiones

En la actualidad del mundo industrial, los temas de innovación y desarrollo deben fungir como principales prioridades si los objetivos constan de rentabilidad y crecimiento, estos temas deben ser parte de la cultura de trabajo, misión y visión de cada una de ellas. Debe ser transmitida a sus trabajadores y estar totalmente convencidos que de no realizarlo o no aceptar la innovación como un modelo de trabajo, pueden caer en un estado de obsolescencia y consigo la pérdida de rentabilidad en el mundo financiero. Hoy en día vemos como estos rubros son de suma importancia en empresas actuales las cuales presentan crecimientos exponenciales. Estas empresas invierten grandes sumas de capital en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, desarrollo de nuevos modelos de negocio y en educación para su personal en temas actuales, los cuales les benefician a las organizaciones en hacer crecer sus modelos de negocio y operativos. Esto tendrá como resultado una cultura y disciplina de mejora continua, la cual mejorará la cultura del personal, aun y sean proyectos de bajo o alto ahorro, debe reconocerse que se está formando una disciplina de innovación en donde la psicología del personal comienza a crecer.

A partir de este proyecto, se desarrollaron y reforzaron las habilidades de mejora continua en el equipo de trabajo, esto constó de tener la mete abierta a nuevas maneras de poder hacer las cosas, escuchar las diferentes perspectivas con las que se tiene en el equipo de trabajo, aceptar retroalimentación del equipo, investigar, analizar y estudiar maneras más eficientes de poder innovar la manufactura de los procesos operativos y administrativos. Adicional a ello, este proyecto nos deja el aprendizaje que el desarrollo de un equipo multidisciplinario beneficia en gran medida al desarrollo de estas habilidades, además de que la formación de un equipo integral no es para nada fácil, consta de poder unir las habilidades y destrezas de cada integrante para poder explotar al máximo sus ideas y habilidades. El nivel de conocimiento de cada uno de ellos

fue de gran importancia en el éxito de este tipo de proyecto de índole técnico, ya que, cada integrante de cada departamento cuenta con experiencia y conocimiento diferente, esto enriquece mucho el valor del trabajo realizado y las propuestas alcanzadas a lo largo de este proyecto. Motivar la participación activa de cada uno de sus integrantes ayudó a tener diversos puntos de vista los cuales generaban beneficios al momento de plantear propuestas y mejoras para la solución de esta área de oportunidad, el conocimiento del personal en el producto y proceso es pieza clave de este logro alcanzado, ya que, de no haber sido por ello existían riesgos potenciales que se pudieron haber ocasionado como generación de nuevos problemas en las propuestas mencionadas a lo largo de este documento. Además, este proyecto genera grandes expectativas para continuar desarrollando ideas que sean agentes de cambio en la cultura organizacional, de esta manera se podrán mejorar los resultados de la organización y cambiar la disciplina operativa o ceguera de taller, como también es conocida.

Aunque fue desarrollada en el siglo veinte, la herramienta de solución de problemas del diagrama de Ishikawa es tan lógica que hoy en día sigue siendo utilizada en las empresas, escuelas y demás campos para la solución de problemas. Aunque es sencilla, al momento de aplicarla en un problema complejo, puede ser difícil de desarrollar si no se cuenta con el conocimiento y habilidades adecuadas implicadas en el problema que se quiera abarcar. Se debe tener conocimiento del área de oportunidad que se busca solucionar para poder conectar la metodología y poder potenciar sus resultados esperados. Requiere de suficiente tiempo aplicado en investigación, observación y análisis del problema y de entender al personal que es participe en el problema para poder entenderlo y lograr solucionarlo. Esta herramienta puede ser complementada por un diagrama de Pareto, esta herramienta ayudará a encontrar el enfoque

correcto para destinar el mayor trabajo en las soluciones que brindarán alto impacto en las soluciones del área de oportunidad.

Como se ha mencionado al inicio de este documento, la planta de hidráulicos puede considerarse una planta que se encuentra en arranque de operaciones, está por terminar su fase de implementación, por lo cual, este proyecto realizado bajo esta metodología abrirá las puertas para la generación de nuevas propuestas de proyectos, los cuales podrán ser desarrollados siguiendo el mismo esquema de trabajo presentado a lo largo de este documento. Es aplicable a cualquier sector de procesos de manufactura, sin embargo, también puede ser aplicado en procesos administrativos los cuales estén presentando oportunidades en su desarrollo.

Al igual que fue aplicado y de gran beneficio para Caterpillar, planta hidráulicos, la metodología seguida durante la solución de este proyecto también lo puede ser para cualquier otro sector industrial, independientemente del producto que se fabrique o los procesos con los que cuente, estos pasos pueden ser seguidos para desarrollar procesos, ya sea operativos o administrativos, más eficientes que entreguen resultados más rápidos y menos costosos. Cabe señalar que se tiene que iniciar con la disciplina y psicología de impulsar la innovación en el rubro que se busca atacar, aunque siempre de la mano del desarrollo de un equipo integral, ya que, de esta manera se enriquecerá el trabajo y dejará más frutos durante el proceso.

Este proyecto cuenta con grandes impactos en la organización, en donde principalmente se beneficiará la parte financiera en relación con el costo de la producción, al incurrir menos gastos en la programación de tiempos extras debidos a ineficiencias en el flujo de procesos de manufactura, la calidad entregada del producto será del mismo modo beneficiada al reducir los toques que se realizaban anteriormente en cada operación o estación de trabajo y por ende, esto reducirá las probabilidades de ocasionar un defecto, de igual modo con el rubro de seguridad del

personal, al reducir el tiempo que este producto se encuentra en movimiento, al ser producto de dimensiones más grandes en comparación con el reto de productos, propicia a que exista un bajo nivel de riesgo al producir esta serie de productos. Sin embargo, lo cual es más importante, este proyecto impactará en la cultura operacional y cultura administrativa. Del lado de la cultura operacional, al haber involucrado a los trabajadores en este proyecto, abrirá las mentes de cada una de las personas aquí involucradas, de manera que siempre querrán primeramente, seguir continuando en proyectos de esta índole y segundo, estarán enfocados en la mejora continua e innovación, es decir, sus mentes estarán activas buscando maneras de hacer más eficiente su trabajo y por lo tanto, beneficiará a la organización por contar con personal que está buscando siempre hacer crecer la rentabilidad de sus operaciones. Por parte del personal administrativo, deja una enseñanza sobre la aplicación de la metodología aplicada para el desarrollo de este rubro de proyectos, aunque no es la única que pueda ser aplicada, puede seguirse al pie de la letra para conseguir sus objetivos. Además, al igual que el personal operativo, buscarán oportunidades de mejora e innovación para la propuesta de proyectos de mejora en diferentes plantas de manufactura e incluso en áreas de oportunidad administrativas. Por último, es importante señalar que la formación de habilidades por medio de este proyecto forma parte del crecimiento de cada integrante que participo activamente, lo que puede ser de gran valor al implementar sus propios proyectos.

La visión que presentará este proyecto será innovación y automatización, es decir, reducir los espacios utilizados para los procesos de producción, eliminar largos trayectos innecesarios para comunicación de procesos para la fabricación de otras líneas de producción, reducir el número de líneas de producción necesarias para producir una serie diversa de cantidad de números de parte y solo lo puedas hacer en una línea de trabajo, la cual sea totalmente eficiente y

autocontrolada donde no dependa de un supervisor que se encuentre al cuidado de la línea. Diseñar celdas de trabajo las cuales puedan ser independientes de la calidad de mano de obra con la que se cuenta, es decir, volver al proceso independiente al conocimiento y habilidad del trabajador, aumentar la flexibilidad de matriz de habilidades del operador, donde cada operador de cada diferente estación de trabajo sea capaz de operar y entender cada una de ellas sin depender de mano de obra especializada. Donde además de contar con sistemas de producción inteligentes y amigables al uso, sean capaces de mostrar el desempeño entregado de cada estación de trabajo, de manera que los tiempos de ciclo sean comparados visualmente con el tiempo tacto del producto totalmente de manera digital, esto generará proactividad en el personal y encontrará sus oportunidades de una manera más rápida, promoviendo el trabajo en equipo debido a una alta conexión y comunicación del flujo de trabajo.

Con esta visión y futuro del proyecto, eliminaremos las grandes oportunidades industriales que se presentan cuando en una operación se requiere mano de obra especializada. Los tableros digitales a la orden de los trabajadores notificarán y harán saber al personal el estado en el que se encuentra su operación y le dará un sentido de pertenencia hacia su operación de trabajo. Esta visión y futuro evolucionarán los procesos de producción actuales a la nueva era digital, esto no será trabajo fácil, sin embargo, ofrecerá potencial de crecimiento operativo y profesional.

Referencias

Villaseñor Contreras. Alberto y Galindo Cota, Edber. (2009). *Manual de lean manufacturing*.

México: Editorial Limusa.

K. Liker, Jeffrey y P. Meier, David (2007). *El talento Toyota*. Mexico: McGraw-Hill

Interamericana.

P. Womack. James, T. Jones. Daniel, Roos. Daniel. (2007). *The Machine That Changed the*

World: The Story of Lean Production. Estados Unidos de America: Free Press.

P. Womack. James, T. Jones. Daniel. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in*

Your Corporation. Estados Unidos de America: Illustrated.

Roether, Mike y Shook, John. (2003). *Learning to See: Value-Stream Mapping to Create Value*

and Eliminate Muda. Estados Unidos de America: Lean Enterprises Inst Inc.

Sekine, Kenichi. (1993). *Diseño de células de fabricación*. México: Productivity.

Gutiérrez Pulido, Humberto y de la Vará Salazar, Román. (2009). *Control Estadístico de la*

calidad y Seis sigma. México: MC Graw Hill.

A. Ross, Stephen, W. Westerfield, Randolph y D. Jordan, Bradford. (2010). *Fundamentos de*

finanzas corporativas. México: Mc Graw Hill

S. Park, Chan. (2007). *Contemporary engineering economics*. Estados Unidos de America:

Pearson

Caterpillar. (2020). *Manufacturing smarter, not harder*. 1 Julio 2020, de Comunicación

Caterpillar Sitio web:

<https://communicate.cat.com/en/2020stories/strategy/2019annualreport-lean.html>