



**IDENTIFICACIÓN Y REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE DESPERDICIO, DESDE LA
PERSPECTIVA DE *LEAN MANUFACTURING* EN LA EMPRESA FLOWSERVE
COLOMBIA S.A.S**

Documento

Para optar al grado de Magister en Gerencia de Operaciones

Maestría en Gerencia de Operaciones

Autor

Fabio Ernesto Ramírez Cortés

Ingeniero Industrial

Director de Proyecto

Luis Alfredo Paipa Galeano, M. Sc., PhD.

Profesor

Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas

Universidad de la Sabana

Corte V

Chía, Cundinamarca

2.017

TABLA DE CONTENIDO

1. JUSTIFICACIÓN Y PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	7
2. OBJETIVOS.....	9
2.1. OBJETIVO GENERAL	9
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3. MARCO CONCEPTUAL	10
3.1. ESTADO DEL ARTE	10
3.2. MARCO TEÓRICO.....	14
3.2.1. La mejora continua.....	14
3.2.2. Lean Manufacturing	15
3.2.3. Los siete desperdicios Lean e indicadores para su cuantificación	16
3.2.4. Otras métricas y herramientas medición.....	19
3.3. Herramientas para la eliminación de los desperdicios.....	21
4. ASPECTO ÉTICOS DEL ESTUDIO	24
5. METODOLOGÍA.....	24
5.1. FICHA TÉCNICA DE LOS DESPERDICIOS.....	28
6. CUANTIFICACIÓN DE LOS DESPERDICIOS	30
6.1. RESULTADOS GENERALES	30
6.2. INVENTARIOS	34
6.3. SOBREPROMOCIONES.....	35
6.4. TRANSPORTE INNECESARIO	36
6.5. ESPERAS.....	38
6.6. MOVIMIENTOS INNECESARIOS	40
6.7. ARTÍCULOS DEFECTUOSOS.....	43
7. ACCIONES DE MEJORA.....	44
7.1. INVENTARIOS	47
7.2. SOBREPROMOCIONES.....	49
7.3. TRANSPORTE INNECESARIO	51
7.4. ESPERAS.....	52
7.5. MOVIMIENTOS INNECESARIOS	53
7.6. ARTÍCULOS DEFECTUOSOS.....	56
8. EVALUACIÓN DE LAS ACCIONES DE MEJORA	57
9. RECOMENDACIONES PARA EL FUTURO	58
10. CONCLUSIONES.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Indicadores de los desperdicios</i>	19
Tabla 2 <i>Consolidado general de desperdicios por área</i>	31
Tabla 3 <i>Ficha técnica inventario</i>	34
Tabla 4 <i>Ficha técnica sobreprocesamiento</i>	36
Tabla 5 <i>Ficha técnica transporte innecesario</i>	38
Tabla 6 <i>Ficha técnica esperas</i>	39
Tabla 7 <i>Ficha técnica movimiento innecesarios</i>	42
Tabla 8 <i>Ficha técnica artículos defectuosos</i>	43
Tabla 9 <i>Resumen General</i>	46
Tabla 10 <i>Recomendaciones para el futuro</i>	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 <i>Metodología propuesta</i>	26
Ilustración 2 <i>Modelo Ficha Técnica</i>	29
Ilustración 3 <i>Clasificación de los desperdicios</i>	30
Ilustración 4 <i>Recorrido de piezas dentro de la planta</i>	37
Ilustración 5 <i>Diagrama VSM presente</i>	41
Ilustración 6 <i>PHVA aplicado en el análisis de los transportes innecesarios.</i>	45
Ilustración 7 <i>Antes y después de la aplicación de 5 S y control visual para reducción inventarios.</i>	48
Ilustración 8 <i>Antes y después de la aplicación de control visual y Kanban para reducción del sobreprocesamiento.</i>	50
Ilustración 9 <i>Situación antes y después para reducir transporte innecesario.</i>	51
Ilustración 10 <i>Creación del tablero de control para avance de los pedidos</i>	53
Ilustración 11 <i>Creación del carrusel de herramientas y mesa de coordenadas.</i>	54
Ilustración 12 <i>Diagrama VSM futuro</i>	55
Ilustración 13 <i>Plantillas de control a prueba de errores</i>	56

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 <i>Cuantificación general de los desperdicios</i>	32
Gráfica 2 <i>Distribución de los desperdicios</i>	33
Gráfica 3 <i>Consolidado evaluación de acciones de mejora</i>	57

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A PHVA <i>sobre procesamiento</i>	64
ANEXO B PHVA <i>Inventario</i>	65
ANEXO C PHVA <i>Transporte Innecesario</i>	66
ANEXO D PHVA <i>Espera</i>	67
ANEXO E PHVA <i>Movimientos Innecesarios</i>	67
ANEXO F PHVA <i>Artículos defectuosos</i>	68

RESUMEN

Palabras claves: *Lean Manufacturing*, *Kaizen*, evaluación desperdicios, *Value Stream Map*, *Muda*, *Visual Management*.

1. JUSTIFICACIÓN Y PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las organizaciones de hoy están en la constante necesidad de mantener bajos costes, acelerar la productividad, reducir cualquier tipo de desperdicio y sostener la competitividad (Bhuiyan, Baghel, & Wilson, 2006). Gran parte de esto puede hacerse a través de la implantación de la Mejora Continua (MC), definida como una cultura que se mantiene a largo plazo, tiene especialmente en cuenta la eliminación de cualquier tipo de desperdicio en el sistema organizacional e involucra a todo el personal mediante un trabajo participativo (Womack & Jones, 2010; Bhuiyan et al., 2006).

En el ámbito empresarial se reconoce que la MC es una de las metas más importantes de la calidad, de ahí la efectividad en como una organización implementa de manera racional diferentes técnicas, se convierte en una de las razones claves para el éxito (Salah et al., 2010).

Entre las iniciativas de MC más conocidas son *Kaizen*, *Lean Manufacturing* o *Lean Thinking*, *Six Sigma*, *Balanced ScoreCard* o Cuadro de Mando Integral y *Lean Six-Sigma* (Tanco, Santos, Rodriguez, & Reich, 2013), entre muchas otras de sostenida vigencia en la actualidad.

Enfrentar los problemas de calidad se convierte para las empresas en significativas pérdidas económicas respecto al monto de recursos invertidos los cuales se encuentran directamente asociados con la entrega de productos o servicios que no cumplen con los estándares requeridos por el cliente (Mahmood, Ahmed, Panthi, & Ishaque Kureshi, 2014). Por esta razón, es valioso el esfuerzo que las empresas dediquen a la mejora de sus procesos y mecanismos, minimicen los desperdicios y generen continuamente productos conformes (Mena & Suárez, 2011).

En este sentido, la empresa Flowserve Colombia S.A.S, fabricante de bombas centrífugas y centro de servicios de bombas de ingeniería, desea incorporar conceptos de *Lean Manufacturing* a sus actividades cotidianas con el fin de mejorar sustancialmente sus niveles de competitividad. No obstante, la compañía no desea realizar el despliegue de las técnicas que se incluyen dentro de los conceptos *lean*, sin antes realizar un ejercicio sistemático y riguroso de identificación, medición y evaluación de los desperdicios existentes en la actualidad en el área de producción y almacén de la compañía.

Considerando lo expuesto anteriormente, el desarrollo del presente proyecto busca responder las siguientes preguntas:

¿Qué tipo de desperdicio, desde la perspectiva *lean*, están presentes en la empresa Flowserve Colombia S.A.S?

¿Qué tipo de indicadores (KPI) pueden ser aplicados en la empresa Flowserve Colombia S.A.S, ¿para cuantificar el nivel de los desperdicios presentes?

¿Qué acciones de mejora pueden ser implantadas en la empresa Flowserve Colombia S.A.S, de forma tal que se logre reducción en los niveles de desperdicio identificados?

¿Las acciones desarrolladas guardan relación alguna con los incrementos de la eficiencia, calidad y reducción de costes para la empresa?

2. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar y reducir el nivel de desperdicios, desde la perspectiva de *Lean Manufacturing*, en la empresa Flowserve Colombia S.A.S.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar, categorizar los desperdicios o mudas que se producen a nivel de procesos y operaciones en el área seleccionada de la compañía.
- Identificar los KPI claves para la cuantificación de cada uno de los desperdicios y aplicarlos para la medición de los mismos.
- Identificar desde el enfoque PHVA, las acciones de mejora que pueden contribuir a la disminución de los desperdicios en el área seleccionada.
- Implementar acciones de mejora conducentes a la reducción de los desperdicios identificados.
- Establecer una relación entre la eliminación de los desperdicios y los incrementos de eficiencia, calidad y reducción de costes.

3. MARCO CONCEPTUAL

1.3. ESTADO DEL ARTE

La implementación de la filosofía de *Lean Manufacturing* ha tenido gran participación en los últimos años, desarrollando grandes impactos en niveles de productividad y calidad tanto en industrias de gran volumen de producción como también en empresas de medio y bajo tamaño (Husby P, 2007).

Tras realizar una revisión juiciosa de la bibliografía, especialmente artículos publicados después del año 2011, a través de la búsqueda en bases de datos con las palabras claves identificadas como “*Lean Manufacturing, Lean Implementation, Lean Case of Study, Kaizen, evaluación desperdicios, Value Stream Map, Muda, Visual Management*”, permitió detectar casos de estudio que confirman la efectividad de implementar herramientas para mejorar el desempeño de las organizaciones.

Inicialmente, (Pérez Rave et al, 2011) plantean una metodología de identificación y reducción de mudas de transportes, procesos innecesarios, movimientos y tiempos de espera desde el nivel operacional, enfocándose en PYMES. Esta metodología se compone de tres etapas: capacitar, identificar y reducir. La metodología empieza con la selección de la línea de producción que se va a estudiar, continúa con la capacitación que se debe dar a los trabajadores de la línea en técnicas *lean*, para que apliquen un formulario de identificación y evaluación del nivel de desperdicios. Posteriormente se verifica si dichos desperdicios realmente están presentes en el proceso, donde se debe hacer un ajuste del listado para establecer el número real de mudas y generar un reporte nuevo de desperdicios el cual debe indicar la cantidad, el

tipo, su localización y la manifestación de los mismos. Por último, este informe se debe socializar con los trabajadores implicados.

Académicos y expertos han reportado casos en los que la aplicación de conceptos de *Lean Manufacturing* representa la forma como las organizaciones pueden realizar aproximaciones para tener resultados satisfactorios. A continuación, la aplicación de los fundamentos de *Lean Manufacturing* en una fábrica que produce turrone en una temporada del año, tratándose de un entorno atípico para la aplicación de estos conceptos (Tanco et al, 2013)(Tanco, Santos et al. 2013). En este caso se indica que tan solo el 1,12% del tiempo de ciclo de trabajo es utilizado para actividades que agregarán valor al producto final. Utilizaron varias técnicas y análisis como lo son el mapa de flujo de valor (VSM), la eficiencia total del equipo (OEE), diagramas de espagueti, equilibrio del trabajo, estudio de tiempos y movimientos para determinar aquellas principales actividades en donde no se agrega valor y puntos cuello botella que afectaban el tiempo de producción y la acumulación del inventario. Tras la implementación de variadas herramientas *lean* la eficiencia de tiempo de ciclo reportada por la compañía aumento a 6,23%, haciendo notorio la efectividad de la implementación de estas herramientas. Sin embargo, Tanco et al (2013), resaltan la dificultad que debe afrontar pequeñas compañías en la adopción sostenida de los conceptos si no se reestructura el enfoque para volverse más receptivas y capaces de captar nuevas ideas.

Por su parte, (Barón & Rivera, 2014) estudiaron la forma en que una microempresa puede lograr el desarrollo de productos de manera ágil, flexible y generadora de valor empleando los conceptos de *lean*. Se tomaron como referentes para el desarrollo de

un nuevo sistema de producción: el proceso genérico de desarrollo de productos, el proceso de desarrollo tradicional en el sector de confecciones, el sistema Toyota de desarrollo de productos y el antiguo sistema de desarrollo de la empresa. Este estudio fue realizado en la empresa colombiana de confección “Equilibra” ubicada en Cali Colombia. El caso desarrolló un nuevo sistema de producción basado en *Lean* y MC considerando las siguientes etapas: establecimiento de valor para los clientes; desarrollo de concepto de pre-colección; formulación de metas, objetivos y tareas; recolección de información; diseño de subsistemas y procesos; construcción de prototipos; colección final y producción justo a tiempo. Los resultados más relevantes obtenidos en el estudio fueron: Reducción de referencias de inventario de materia prima en un 50%, incremento de la flexibilidad de producción, estandarización de criterios de selección de proveedores, incremento en la agilidad de entrega al mercado, entre otras.

Otro caso es el reportado por (Raham, Sharif, & Esa, 2013), en donde se realizó la implementación de sistema *Kanban* en una empresa de fabricación de Malasia. El estudio demostró que la gestión del inventario, la participación de vendedores y de proveedores, la mejora y control de calidad, el compromiso de los empleados y la alta dirección fueron los factores claves que llevaron a la implementación exitosa del sistema de *Kanban* en esta organización.

Por otro lado, (Matt & Rauch, 2013) exponen un caso de estudio en la industria bajo la aplicación métodos *Lean*, originadas en robustas compañías, pero de flexible aplicación en cualquier tipo de industria. En este caso, se presenta una microempresa

italiana de producción estructuras de cocina y diseño de interiores que cuenta con un equipo de trabajo de 25 personas, orientadas hacia la implementación de tareas de 5´s y redistribución de planta. Con esta implementación incrementar la productividad de las líneas de producto en al menos un 25%. Adicional a esta iniciativa, la empresa emprendió la inclusión de herramientas de gestión visual para facilitar el entrenamiento de los trabajadores, al igual que un tablero de comunicación de KPI's y desempeño diario de la compañía, todo esto mediante la integración del personal en la propuesta de soluciones e implementación de las mismas.

Finalmente, (Antosz & Stadnicka, 2017) reportan el seguimiento a la planeación e implementación de herramientas *lean* en Polonia para 49 empresas de diversas industrias. En él se dice que el 81% de las empresas se interesan por la adoptar las técnicas *lean* para mejorar la operación de la compañía, en donde el 94% expresan que desean encontrar mejoras para sus compañías a través de la eliminación de los desperdicios. Sin embargo, tan solo el 2 % de las compañías evaluadas tenían un tiempo destacado de uso de las herramientas *lean*. Entre los desperdicios reportados con mayor influencia en la pérdida de recursos de la compañía, se identificaron: inventario, los movimientos innecesarios, las esperas y los artículos defectuosos, para los cuales se emplearon en mayor medida las herramientas de 5'S, SMED, *Poka-Yoke*, *Kanban*.

Este caso de estudio no reporta valores consolidados de la efectividad de la implementación *lean*, pero destaca el amplio interés de las compañías por la adoptar

estas herramientas como fuente de cambio en sus sistemas de producción y reducción de los desperdicios.

1.4. MARCO TEÓRICO

1.4.1. La mejora continua

La Mejora Continua (MC) se define como el proceso planificado, organizado y sistemático de cambio a través de prácticas destinadas a mejorar el desempeño de la empresa, realizado de manera continua e incremental (Jørgensen et al., 2003), que en general no requiere de grandes inversiones e integra a todas las personas a lo largo de la compañía mediante el trabajo voluntario y colaborativo (Sohal & Terziovski, 2000). Dicho proceso debe ser sostenible y enfocado hacia la mejora de algún indicador concreto (Rijnders & Boer, 2004).

También conocida como la filosofía *Kaizen*, propuesta por Masaaki Imai en 1930, como un esfuerzo de mejora constante, en donde los procesos importan más que los resultados, debido a los beneficios directos que relacionan estos dos conceptos (Masaaki, 1986).

Su finalidad también se encuentra encaminada hacia la eliminación de los desperdicios, logrando así un incremento en la productividad y competitividad de las compañías y aún más importante ayudando a identificar los problemas y la gestión de los procesos y en este mismo sentido lograr el aprendizaje de las personas al momento de corregirlos (Paipa et al., 2011).

1.4.2. Lean Manufacturing

El término *Lean Manufacturing (LM)* ha sido utilizado por James Womack y Daniel Jones (2010), para referirse a las técnicas de producción Toyota y a la filosofía *Kaizen*, proponiendo un sistema compuesto de herramientas que permitan la mejora continua desde un enfoque muy particular como lo es el cliente y el flujo de valor (Paipa et al., 2011). Los fundamentos de esta orientación son la lucha contra el desperdicio de recursos en actividades que no añaden valor para el cliente y la mayor utilización de experiencias e inteligencia de los trabajadores a través de múltiples usos y de la mejora continua (Fortuny-Santos et al., 2008).

La filosofía *LM* está orientada a garantizar que la producción circule a un ritmo continuo, dependiendo de la demanda de los clientes, la cantidad requerida y en el momento que se solicita, logrando así, reducir costos y maximizar ganancias favoreciendo la eficiencia y competitividad de las organizaciones (Garvin, 2015). Todo esto, mediante el análisis de los procesos, identificación del desempeño de los procesos, la participación de todas las personas de la organización y la aplicación de técnicas *Lean* (Gómez, 2010). Es así como, la identificación y acertada medición de los desperdicios da pie a todos aquellos que se encuentran inmersos en el ambiente cotidiano de la manufactura para explorar la situación real en la que se encuentra una organización (Martínez et al., 2013).

Al mencionar desperdicios, también es posible entenderlo a través de la palabra “*muda*” (palabra japonesa). La *muda* es toda actividad humana que gasta recursos sin crear valor, es decir, suministra el bien o servicio incorrecto de forma correcta.

Taiichi Ohno ejecutivo de Toyota, fue el primero en identificar los siete tipos de muda, los cuales son: sobreproducción, espera, transporte, sobre procesamiento o procesamiento incorrecto, inventario, movimiento y productos defectuosos o re trabajos (Womack & Jones, 2010).

1.4.3. Los siete desperdicios *Lean* e indicadores para su cuantificación

El trabajo del ejecutivo de Toyota, Taiichi Ohno, da pie para dar una idea concreta de lo que cada uno de aquellos desperdicios (Villaseñor-Contreras & Galindo, 2007) conlleva para cualquier tipo de compañía que no se encuentra alineado a las filosofías previamente mencionadas. A continuación, se da una breve descripción de cada uno de ellos. Al final, en la tabla 1 se presenta el consolidado de indicadores asociados a cada uno de los desperdicios descritos.

1.4.3.1. Sobreproducción

Se considera como el más grande de los desperdicios y depende en su mayoría de la planeación dada a las actividades de producción diaria. Adicional, se presenta debido a la producción de artículos a mayor velocidad de lo requerido y de los cuales no existe orden de producción alguna guiando a la organización hacia la creación de inventarios y altos costos de mantenimiento. Uno de los indicadores comúnmente utilizados para medir la sobreproducción es el *Takt Time*, que es el ritmo de producción marcado por el cliente para sincronizar el ritmo de producción y ventas.

1.4.3.2. Inventarios

Este desperdicio, se define como el costo por mantenimiento, sostenimiento y pérdida de productos almacenados en inventario sin que estos tengan una salida. Es comúnmente causado por la producción de artículos sin que exista una orden real de ventas. De igual forma, oculta inconvenientes existentes en los sistemas de entregas de una compañía. Su indicador asociado es el índice de rotación de inventarios (veces en que el inventario rota en un año) y que es estimado por la relación entre las ventas acumuladas y los inventarios promedio.

1.4.3.3. Sobreprocesos

Comprende actividades diseñadas a partir de procesos poco robustos e ineficientes que aumentan el nivel del proceso general requerido debido a inconvenientes de calidad y procedimientos no adecuados, los cuales deben suplirse adicionando cambios sobre dichos productos, y que representan costos dobles por cada unidad producida. El indicador relacionado será la cantidad de pedidos generados, y se expresa como la relación entre número de productos generados sin problemas respecto al total de pedidos generados.

1.4.3.4. Transporte innecesario

Este desperdicio se caracteriza por el desplazamiento de elementos (materias primas, producto en proceso, producto terminado, entre otros) sin que este realmente sea requerido. Durante esta actividad el producto no está siendo modificado e incluso este no añade valor alguno al producto. Se entiende como la distancia total recorrida por el producto sin que se agregue algún tipo de transformación.

1.4.3.5. Esperas

Tiempo de trabajo durante el cual no se realiza transformación alguna al producto. En algunos casos representa el tiempo en el que el operario debe esperar a que una maquina termine su trabajo antes de iniciar con una nueva labor, también se manifiesta la espera, durante la reparación de alguna maquina o modificación al proceso, entre otros tipos de actividades que no agreguen valor al producto. Es posible realizar mediciones en proceso e incluso en las entregas realizadas.

1.4.3.6. Movimientos innecesarios

En ocasiones son poco efectivos los diseños de puestos de trabajo que obligan al colaborador a efectuar movimientos que requieren de un esfuerzo adicional ya sean los desplazamientos normales de las extremidades, u obligándolos a agacharse para recoger un insumo o herramienta, inclinarse, estirarse forzosamente, entre otras, colocando en riesgo la salud del operario y generando un entorno poco productivo. Se considera como la suma total de tiempos muertos por exceso de movimientos no requeridos.

1.4.3.7. Artículos defectuosos

Son todo tipo de productos o servicios que son rechazados en el proceso o por el cliente final, debido a la ausencia de calidad, involucrando posible nuevo consumo de materias primas, tiempo de producción e incluso Sobreprocesos por corrección de los defectos.

Tabla 1 *Indicadores de los desperdicios*

DESPERDICIOS	INDICADOR	DESCRIPCIÓN	ECUACIÓN
Sobreproducción	<i>Takt Time</i>	Producción de artículos para los que no existen orden de producción	$Takt\ Time = \frac{Tiempo\ de\ producción\ disponibles}{Cantidad\ total\ requerida}$
Inventario	Índice de rotación de inventarios	Costo de mantenimiento de exceso de materia prima, inventario en proceso o productos terminados de acuerdo a órdenes de producción	$\acute{I}ndice\ de\ rotaci3n = \frac{Ventas\ acumuladas}{Inventario\ Promedio} * 100$
Sobreprocesamiento	Calidad de los pedidos generados	Procesos innecesarios para la producción de un artículo, sin tener claro los requerimientos de los clientes, los cuales agregan costos en lugar de valor al producto.	$Calidad\ de\ los\ pedidos\ generados = \frac{N.\ productos\ generados\ sin\ problema}{Total\ de\ pedidos\ generados} * 100$
Transporte Innecesario	Distancia total recorrida	Transporte de materia prima, producto en proceso o producto terminado sin sufrir algún tipo de transformación durante el proceso	$\sum D; D = Distancia\ recorrida$
Espera	Nivel de cumplimiento en los despachos	Tiempo en que esperan los recursos para ser utilizados	$Nivel\ de\ cumplimiento\ en\ los\ despachos = \frac{Total\ de\ pedidos\ no\ generados\ a\ tiempo}{Total\ de\ pedidos\ despachados} * 100$
Movimientos Innecesarios	Tiempo total empleado	Cualquier movimiento innecesario o excesivo realizado por el personal durante el desarrollo de sus actividades	$\sum T; T = Tiempo\ empleado\ para\ realizar\ una\ actividad$
Artículos defectuosos	Índice de rendimiento	Aceptar, producir, enviar o entregar productos que no cumplen con las especificaciones	$\acute{I}ndice\ de\ calidad = \frac{N.\ piezas\ buenas}{N.\ total\ de\ piezas\ producidas}$

1.4.4. Otras métricas y herramientas medición

1.4.4.1. *Lead Time*

Es el tiempo que toma un producto en ser entregado desde que el cliente hace un pedido hasta su despacho (Ray & Jewkes, 2004). Esto afecta directamente a toda la empresa, dado que impacta el nivel de servicio al cliente, la inversión en inventarios de existencias de seguridad y la capacidad competitiva de una empresa (De Treville et al., 2004).

El *Lead Time* debe empezar a reducir desde el inicio del proceso hasta la entrega de la producción. Esto brinda confiabilidad como proveedor por la capacidad para cumplir las fechas de entrega, lo cual se logra mediante la reducción de tiempos de espera durante el proceso de producción, haciendo más flexibles los procesos (Dos Reis-Alvarez et al., 2011).

1.4.4.2. OEE (Overall Equipment Effectiveness)

Es una herramienta que mide la eficacia de la maquinaria industrial, entendida como una razón porcentual que sirve para medir la eficiencia productiva de la maquinaria (García et al., 2011). También se considera como un potente indicador para medir e identificar las pérdidas en la fabricación de algún producto. (Nakajima & Tanaka, 1988) identifica tres grandes tipos de pérdida muy comunes: pérdidas por defectos, re trabajos y problemas en el arranque de equipos, tiempos de espera por paradas de máquina y averías de equipo y tiempo de reparaciones.

1.4.4.3. BSC (Balance ScoreCard)

El *Balance ScoreCard* (BSC), tiene la intención de proporcionar una descripción clara y facilitadora de la planeación estratégica, mediante el orden coherente de objetivos de las áreas involucradas (Kaplan & Norton, 2000). Se diseñó como un indicador en el que la interacción de las personas y el aprendizaje operacional desempeñan un papel importante en la orientación y creación de valor sostenible haciendo que la estrategia sea trabajo de todos (Idris & Zairi, 2006).

Los indicadores pueden medir comportamientos como: eficiencia, efectividad, satisfacción de los clientes, relación entre costos reales y los previstos para la operación, entre otros (Kaplan & Norton, 2000).

1.4.4.4. VSM (*Value Stream Mapping*)

Esta es una herramienta de representación gráfica que describe las actividades que se desarrollan durante un proceso incluyendo las que agregan valor y las que no. Hace seguimiento a toda la producción vinculando el flujo de material y la información requeridos para describir de la creación de un producto o productos relativos a una referencia (Shook & Rother, 1999). El objetivo fundamental del diagrama, consiste en el desarrollar una hoja de ruta que priorice los proyectos o tareas para cerrar la brecha entre el estado actual y el estado futuro de todos los procesos que intervienen en la manufactura o entrega de servicios (Grewal, 2008), con el fin de permitir un amplio entendimiento acerca de la interacción de varios factores y lograr la implementación del flujo de valor con la reducción del tiempo de entrega, el tiempo de ciclo y el nivel de inventario.

1.5. Herramientas para la eliminación de los desperdicios

1.5.1.1. Metodología de las 5's

Las 5's constituyen una disciplina para lograr mejoras en la productividad del lugar de trabajo mediante la estandarización de hábitos de orden y limpieza. (Luis, 2008). Esto se logra implementando cambios en los procesos en cinco etapas, cada una de las cuales sirve de fundamento a la siguiente para mantener así sus beneficios en el largo plazo. El método de las 5's lo desarrolló Hiroyuki Hirano y representa una de

las bases que enmarcan el inicio de cualquier herramienta o sistema de mejora (Socconini, 2009). A continuación, se describe de cada uno de los pasos de esta herramienta, identificados por cinco palabras japonesas (Pérez, 2011):

- *Seiri*: Seleccionar o clasificar objetos necesarios y aquellos no tan necesarios para realizar las actividades del día a día.
- *Seiton*: ordenar objetos necesarios en su ubicación pertinente.
- *Seiso*: limpiar todo el ambiente de trabajo.
- *Seiketsu*: estandarizar mediante métodos, señalización la organización del ambiente de trabajo.
- *Shitsuke*: mantener los métodos y estándares aplicados a través de la disciplina y la mejora continua.

1.5.1.2. Kanban

Es un método que le facilita a la organización mantener el control de inventarios relacionado con la sobreproducción o la posible falta de abastecimiento de productos y partes (Purdum, 2007). Este sistema se define mediante dos posibles usos. El primero es la activación de la producción, a través de una señal visual que permite conocer el momento preciso en que se debe continuar la producción con el fin de no encontrar acumulación ni déficit de producto. El segundo posible uso indica el movimiento de material a las estaciones de trabajo para reabastecer y así continuar la

producción (Keaton, 1995). Comúnmente la referencia que indica al operador la ejecución de alguna de las labores es conocida mediante una tarjeta de señal.

1.5.1.3. SMED (Single-Minute Exchange of Die)

Es una herramienta para reducir los desperdicios en un sistema productivo. Se basa en asegurar que el tiempo de cambio de una herramienta sea realizada en menos de un dígito, es decir; menos de 10 minutos con el propósito de no obstruir el flujo continuo de las actividades (Arrieta, 2007).

Esta herramienta se realiza mediante cinco pasos: (1) eliminar condiciones de trabajo inapropiadas en el entorno, a través del uso de las 5's, (2) reconocer mediante visitas las condiciones actuales en las que se desarrolla el proceso, (3) identificar actividades internas y externas (las que se realizan exclusivamente mientras los procesos se encuentren detenidos y las que se puede realizar de forma simultánea al proceso productivo);(4) convertir actividades internas en externas en la mayor cantidad posible, siempre y cuando no afecte el procedimiento.(5) El quinto paso consiste en estandarizar el procedimiento alcanzado (Gómez, 2010).

1.5.1.4. Poka-Yoke

Poka-Yoke (a prueba de errores o fallos) es una herramienta que desarrolla mecanismos para alcanzar un estado de cero defectos y eventualmente eliminar las inspecciones de calidad (Arrieta Posada, 2007). Resultante de la falta de atención (*Poka*) en operaciones repetitivas que dependen de vigilancia o memoria *Poka-Yoke* puede ahorrar tiempo y liberar la mente del trabajador para las operaciones más creativas y aumentar su valor (Dudek-Burlikowska & Szewieczek, 2009).

El *Poka-Yoke* emplea tres funciones básicas contra los defectos: parada, control y aviso. Entre los ejemplos de esta herramienta para detectar o evitar defectos causados por errores humanos se encuentran los pines de guía de distintos tamaños, las alarmas y los switches de límites, contadores y las listas de chequeo (Villaseñor Contreras & Galindo, 2007).

1.5.1.5. Andon

Andon es una herramienta visual, que utiliza señales como luces, banderas, entre otras, para indicar alarma y alertar los problemas en la producción ya sea de calidad o del mismo proceso (Villaseñor & Galindo, 2007). Esta señal tiene como propósito reportar en cuanto se presenta una complicación y que esta se haga la respectiva retroalimentación lo más rápido posible y así evitar que la producción no cumpla con los requerimientos exigidos.

4. ASPECTO ÉTICOS DEL ESTUDIO

El trabajo que se realizó en la compañía Flowserve Colombia S.A.S estuvo enmarcado por las políticas propias de la empresa referente a confidencialidad y lineamientos, en el cual tanto el investigador como el trabajo de investigación se desarrollaron con la integridad ética requerida para el mejoramiento continuo de todo proceso investigativo.

5. METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló con base en la identificación, categorización, medición y reducción de los desperdicios de la compañía Flowserve S.A.S mediante

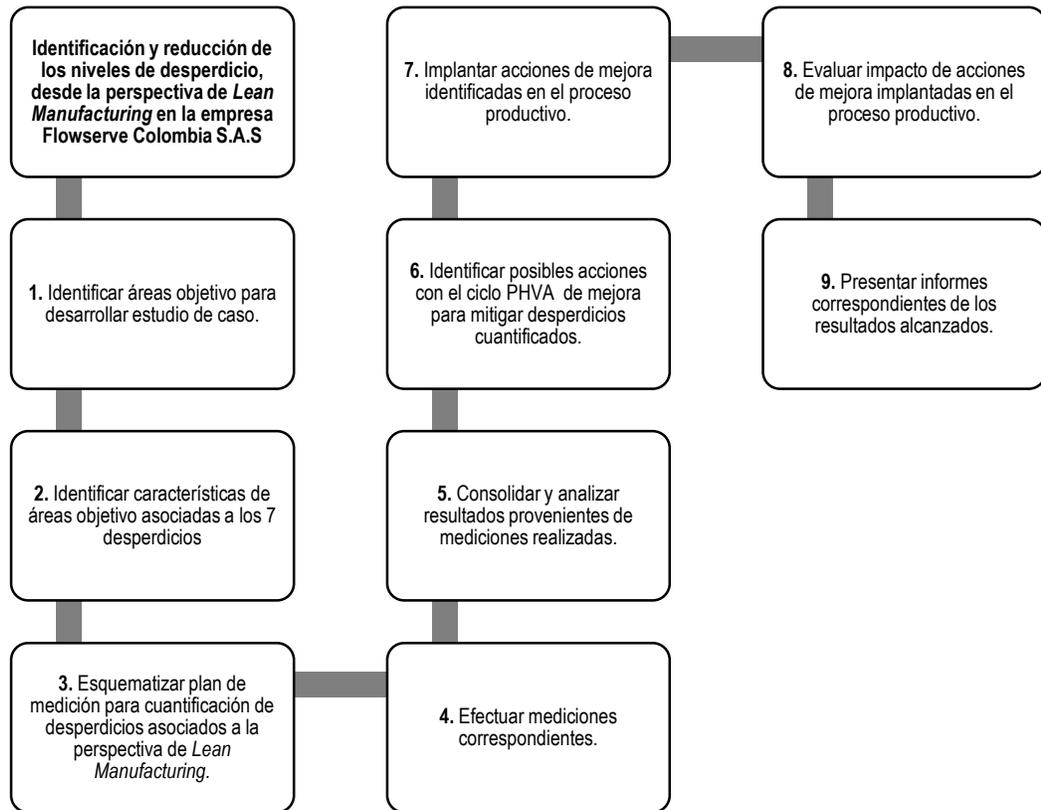
la perspectiva de caso de estudio. Esta empresa pertenece a la compañía Flowserve Corporation, está ubicada en Mosquera, Colombia, y lleva más de 60 años presente en la industria del país.

El caso de estudio se realizó durante un periodo de doce meses, comprendido entre los años 2015 y 2016. A lo largo de este tiempo, particularmente se utilizaron datos cuantitativos derivados de la medición de los niveles de desperdicio considerados desde la perspectiva de *Lean Manufacturing*.

Abordando las consideraciones del caso de estudio, éste se entiende como una metodología que permite analizar un fenómeno desde el contexto en el que se desarrolla, combinando datos cuantitativos y cualitativos que describan de forma cercana la relación existente entre el fenómeno y su contexto (Yin, 2013).

La metodología propuesta para el presente caso de estudio se muestra en la ilustración 1.

Ilustración 1 Metodología propuesta



1. Identificar las áreas objetivo para desarrollar el estudio de caso: Se delimitan las áreas que la empresa ha determinado como críticas durante el proceso productivo.
2. Identificar las características de áreas objetivo asociadas a los 7 desperdicios: Es indispensable caracterizar las posibles áreas objetivo a intervenir, con el propósito de realizar un primer acercamiento y definir relaciones con otras áreas posiblemente afectadas.
3. Esquematizar plan de medición para cuantificación de desperdicios asociados a la perspectiva de *Lean Manufacturing*: Mediante la orientación de los conceptos de *Lean Manufacturing* y la previa caracterización efectuada, se procede a

esquematizar un plan de recolección de datos en el cual se identifique los métodos requeridos para proceder con las mediciones.

4. Efectuar mediciones correspondientes: Desde la interacción con los procesos y el plan de medición previo, se procede a efectuar las mediciones correspondientes que aporten información significativa para identificar los posibles desperdicios presentes en la producción.
5. Consolidar y analizar resultados provenientes de mediciones realizadas: Luego de efectuar las correspondientes mediciones, los datos obtenidos deben ser expresados mediante indicadores previamente identificados, los cuales permitirán ratificar la presencia de algún tipo de desperdicio y a partir de estos efectuar el debido análisis requerido.
6. Identificar posibles acciones de mejora para mitigar los desperdicios cuantificados: Una vez los desperdicios hayan sido plenamente identificados, se procede con formular propuestas de mejora mediante el ciclo PHVA desde la perspectiva de *Lean Manufacturing*.
7. Implantar acciones de mejora en el proceso productivo: A partir de las mejoras formuladas previamente, estas se integran al sistema de producción de la compañía según las áreas a intervenir.
8. Evaluar impacto de acciones de mejora implantadas en el proceso productivo: Una vez efectuadas las mejoras, se realizará nuevamente una medición al proceso

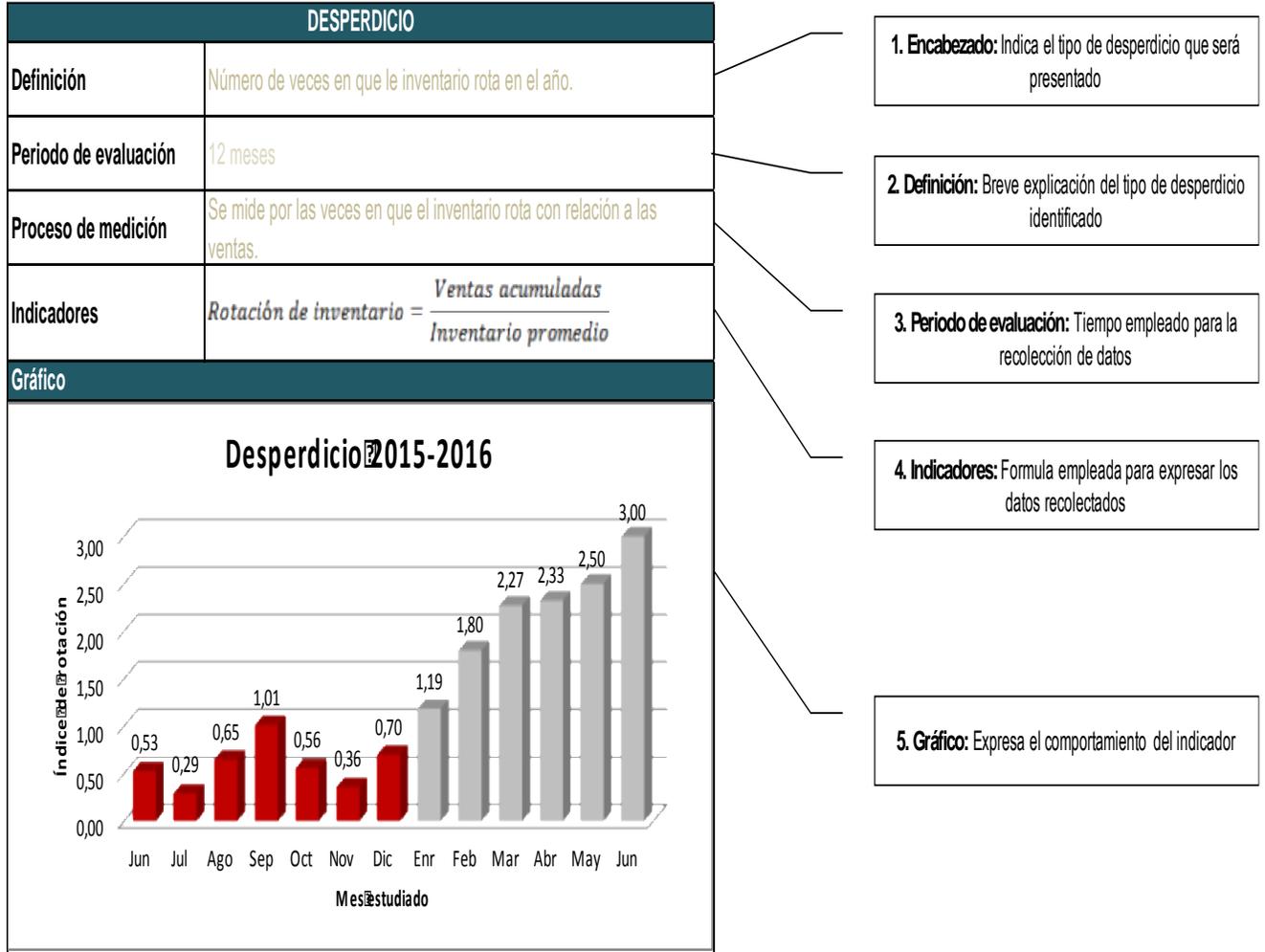
intervenido, que se compara con la medición inicial para verificar el impacto de las acciones de mejora implantadas.

9. Presentar los informes correspondientes de los resultados alcanzados.

1.6. FICHA TÉCNICA DE LOS DESPERDICIOS

Como fue expresado en la metodología propuesta, el caso de estudio se desarrolla mediante nueve etapas detalladas para la identificación, categorización, medición y reducción de los desperdicios de la compañía Flowserve Colombia S.A.S. Para la ejecución del quinto paso (consolidar y analizar resultados provenientes de mediciones realizadas), se propone esquematizar la identificación y los resultados obtenidos a través de una ficha técnica para cada uno de los desperdicios, cuyo bosquejo general se muestra en la ilustración 2.

Ilustración 2 Modelo Ficha Técnica



Una vez capturada la información, se diligencia la ficha técnica correspondiente para cada desperdicio, incluyendo: el encabezado, la definición del desperdicio identificado, el periodo de evaluación de proceso, el indicador utilizado y el gráfico. Cabe aclarar que el gráfico que muestra la ilustración 2 contempla el periodo de medición de la situación de la empresa antes de implantar herramientas *lean* (junio 2015-diciembre 2015) representadas en las barras de color rojo y las barras grises al periodo (enero 2016-junio 2016) cuando ya se implementaron.

6. CUANTIFICACIÓN DE LOS DESPERDICIOS

1.7. RESULTADOS GENERALES

Con base en los objetivos planteados, se expresa como interés principal de este proyecto “la identificación, categorización y reducción de los desperdicios o *mudas* que se producen a nivel de procesos y operaciones en el área de producción y almacén de la compañía”.

Aplicando la metodología propuesta es posible compilar información vital para determinar el estado de la compañía en relación con los desperdicios que se pueden presentar.

Como fue expuesto previamente, las herramientas de *Lean Manufacturing* tienen como objetivo principal atacar los siete desperdicios (sobreproducción, inventario, sobre proceso, transporte innecesario, esperas, movimientos innecesarios y artículos defectuosos) de cualquier entorno que las adopte. Durante el ejercicio de identificación y categorización se identificaron seis de los desperdicios que contemplan *lean* en la ilustración 3 se aprecia que solo el desperdicio de inventario corresponde al área de almacén de la compañía.

Ilustración 3 Clasificación de los desperdicios



A continuación, en la tabla 2 se presenta la descripción detallada de los desperdicios evaluados, junto con el procedimiento para su evaluación y valoración, así también la cuantificación monetaria (en pesos colombianos) por cada área, para el periodo de junio 2015 a diciembre 2015. Posteriormente, en el desglose de cada análisis de los desperdicios se detalla cómo se realizó el proceso de valoración para obtener el valor por cada categoría.

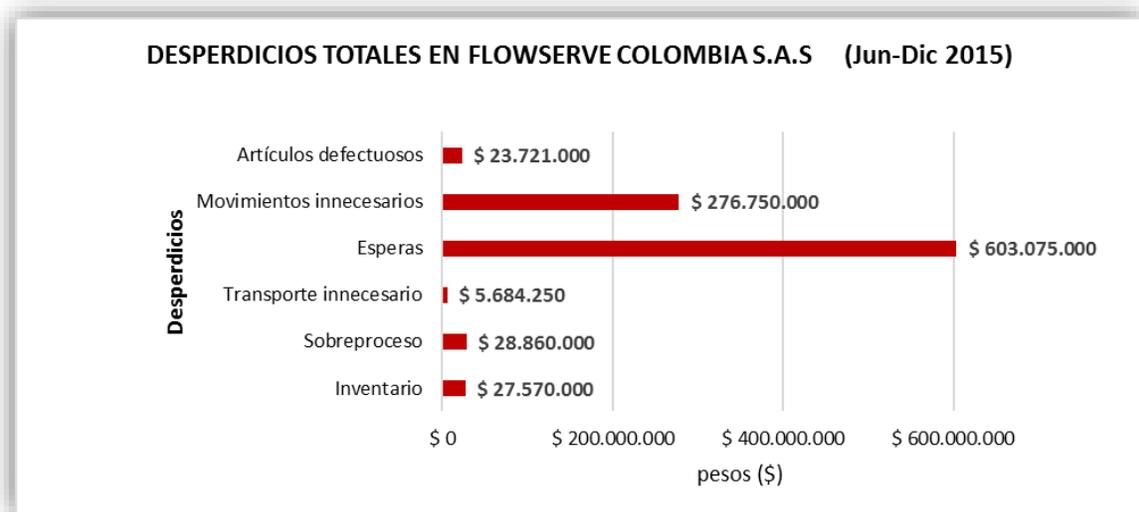
Tabla 2 Consolidado general de desperdicios por área

TIPO DE DESPERDICIO	PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DEL DESPERDICIO	INDICADOR EMPLEADO	PROCEDIMIENTO DE VALORACIÓN DEL DESPERDICIO	ÁREA DE PRODUCCIÓN (\$)	ÁREA DE ALMACEN (\$)
Sobreproducción	N/A	N/A	N/A	-	-
Inventario	El proceso de medición se realizó mediante la captura de datos de inventario reportados por el sistema de información que maneja la compañía (Great Plain).	El índice de rotación del inventario	Valor reportado por el sistema de las piezas que se encuentran en el inventario y que no tienen un destino específico		\$ 27.570.000
Sobreprocesos	Seguimiento del total de cantidades entregadas y las que no se entregaron correctamente por algún tipo de cambio	Relación del número de productos generados sin problema respecto al número total de productos entregados	Cuantificación de las horas requeridas para volver el producto conforme por el valor de la tarifa de costo de operación por hora hombre establecida por la compañía	\$ 28.860.000	-
Transporte innecesario	Medición de la distancia en kilómetros y tiempo de recorrido de las piezas con peso mayor a 100 kilos que pasan de una estación a otra	Distancias recorridas por el producto a lo largo del proceso productivo	El tiempo total resultante multiplicado por la tarifa de costo de operación por hora hombre	\$ 5.684.250	-
Esperas	Se evaluó el número de días de retraso de la entrega de un producto	Lead time o OTD (on time deliver)	Cuantificación del número total de horas de retraso del producto multiplicado por la tarifa de costo de operación por hora hombre	\$ 603.075.000	-
Movimientos innecesarios	Medición de tiempos y movimientos en el desarrollo de una	Horas de trabajo que superan el estándar	Número de horas adicionales al estándar	\$ 276.750.000	-

TIPO DE DESPERDICIO	PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DEL DESPERDICIO	INDICADOR EMPLEADO	PROCEDIMIENTO DE VALORACIÓN DEL DESPERDICIO	ÁREA DE PRODUCCIÓN (\$)	ÁREA DE ALMACEN (\$)
	actividad de mecanizado para un producto representativo de la compañía.	establecido por la empresa para el mecanizado de la pieza	multiplicado por la tarifa de costo de operación por hora hombre		
Artículos defectuosos	Medición del número de piezas rechazadas que representan pérdida total	Índice de calidad	Costo total de los recursos asignados al producto antes de su rechazo	\$ 23.721.000	-
TOTAL, ÁREA				\$ 938.090.250	\$ 27.570.000
TOTAL				\$ 965.660.250	

El ejercicio de cuantificación de los desperdicios identificados, indica que durante el periodo de junio 2015 a diciembre 2015 los desperdicios de sobre proceso, inventario, transporte innecesario, esperas, movimientos innecesarios y artículos defectuosos representan pérdidas de \$ 965.660.250 para la empresa.

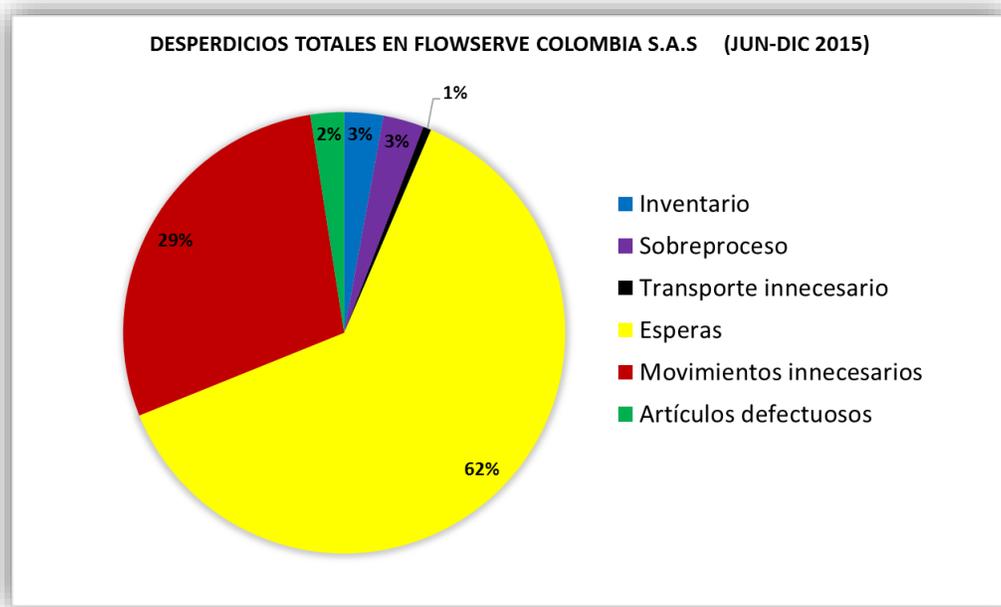
Gráfica 1 Cuantificación general de los desperdicios



Los datos expuestos equivalente al 15% del total de utilidades recibidas por la compañía para la sede en Colombia, de ahí el interés en implementar las herramientas *lean* para reducir los desperdicios y realizar la cuantificación en todas las áreas de la empresa.

En la gráfica 1 se muestra la cuantificación y categorización de pérdidas de acuerdo con el tipo de desperdicio identificado en la empresa, siendo los desperdicios de esperas, movimientos innecesarios y sobreprocesos los más representativos. En la gráfica 2 muestra la distribución en porcentaje de los desperdicios con un 94% de participación en las perdidas cuantificadas arriba mencionadas.

Gráfica 2 *Distribución de los desperdicios*



La recolección de datos de las mediciones efectuadas durante el periodo de estudio se presenta en las gráficas de las tablas 3,4,5,6,7,8 y 9, en las cuales las barras rojas representan mediciones de diagnóstico del proceso y barras grises los resultados luego de implementación de herramientas *Lean*.

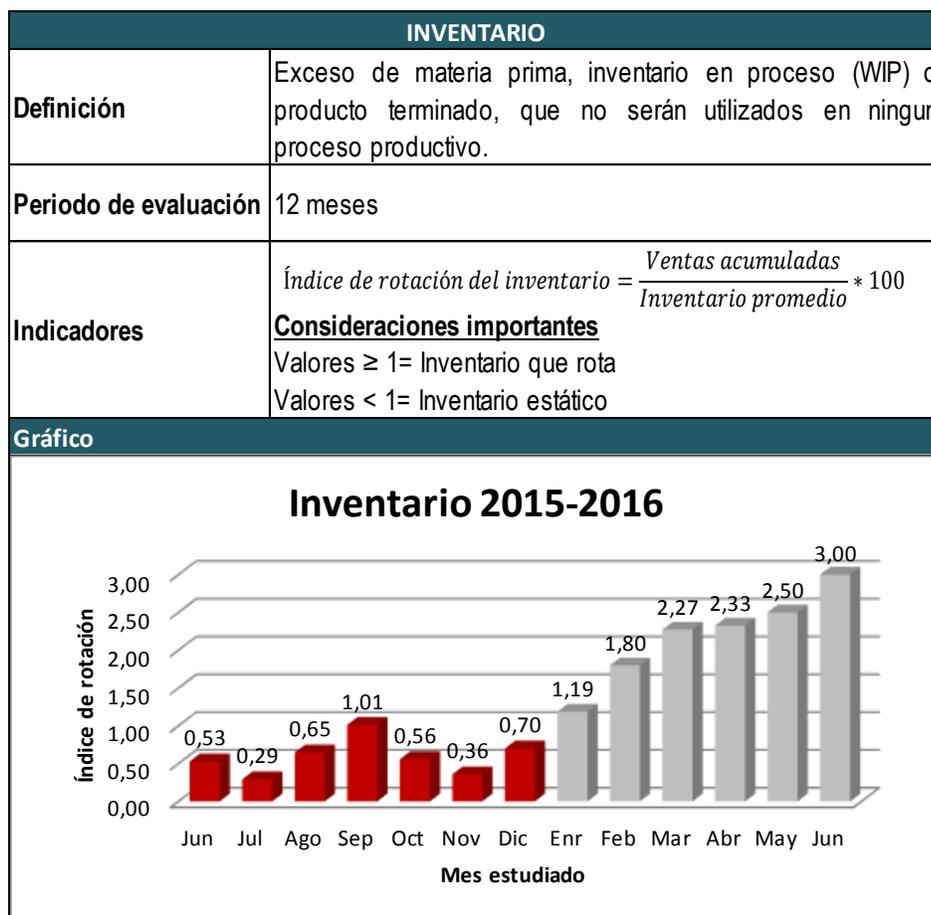
A continuación, se presentan de manera detallada los resultados obtenidos para cada desperdicio medido en las áreas de producción y almacén.

1.8. INVENTARIOS

Este desperdicio se considera como la no rotación del producto a través de las transacciones mensuales durante el proceso productivo. Se le asignó como indicador el índice de rotación del inventario, que expresa la relación entre ventas acumuladas y el inventario promedio, siendo ideal un índice mayor o igual a uno (1) como lo expresa la tabla 3.

El proceso de medición se realizó mediante la captura de datos de inventario reportados por el sistema de información que maneja la compañía (Great Plain).

Tabla 3 Ficha técnica inventario



Los datos mostrados en la tabla 3 evidencian un comportamiento de baja rotación con índices por debajo de uno (1) que corresponde a las veces en que rota el inventario. Esta baja rotación se da como consecuencia de la cantidad de artículos comprados sin propósito específicos, ya sea por error o para garantizar reservas para futuras ordenes, lo cual ocasiona que muchos artículos pasen a formar parte de los costos de mantenimiento de inventario y ajuste por producto que no se vende.

1.9. SOBREPROMOCIONES

El desperdicio de sobreprocesamiento corresponde al consumo de recursos adicionales para realizar actividades que no agregan valor al bien producido. Se utilizó el indicador de calidad de los pedidos generados, el cual se expresa como la relación del número de productos generados sin problema respecto al número total de productos generados durante el periodo de junio 2015 a diciembre 2015. Para la lectura del indicador se establecieron dos consideraciones especiales: resultados entre el 98% y 100% son valores aceptables para la cantidad de productos generados, mientras que resultados menores al 98% reportan alerta por productos incorrectamente generados. El proceso de medición del desperdicio de sobreprocesamiento se realizó a través del seguimiento del total de cantidades generadas y las que no se generaron correctamente por algún tipo de cambio. De acuerdo con lo anterior, la empresa debe garantizar que los productos que no se generaron correctamente, retornen a la línea de producción y reciban las correcciones requeridas para ser considerado productos aptos para entregar al cliente, lo cual representa sobrecostos para la empresa.

Tabla 4 Ficha técnica sobreprocesamiento

SOBREPROCESAMIENTO																													
Definición	Consumo de recursos adicionales, sin agregar valor al producto.																												
Periodo de evaluación	12 meses																												
Indicadores	$\text{Calidad de los pedidos generados} = \frac{N. \text{ productos generados sin problema}}{\text{Total de pedidos generados}} * 100$ <p>Consideraciones especiales Valores entre 98%-100%=Calidad de los procesos en control Valores < 97%=Calidad de los procesos fuera de control</p>																												
Gráfico																													
<p style="text-align: center;">Sobreprocesamiento 2015-2016</p> <table border="1"> <caption>Data for Sobreprocesamiento 2015-2016</caption> <thead> <tr> <th>Mes de trabajo</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Jun</td><td>84%</td></tr> <tr><td>Jul</td><td>83%</td></tr> <tr><td>Ago</td><td>89%</td></tr> <tr><td>Sep</td><td>87%</td></tr> <tr><td>Oct</td><td>76%</td></tr> <tr><td>Nov</td><td>95%</td></tr> <tr><td>Dic</td><td>100%</td></tr> <tr><td>Enr</td><td>100%</td></tr> <tr><td>Feb</td><td>98%</td></tr> <tr><td>Mar</td><td>99%</td></tr> <tr><td>Abr</td><td>99%</td></tr> <tr><td>May</td><td>99%</td></tr> <tr><td>Jun</td><td>97%</td></tr> </tbody> </table>		Mes de trabajo	Porcentaje (%)	Jun	84%	Jul	83%	Ago	89%	Sep	87%	Oct	76%	Nov	95%	Dic	100%	Enr	100%	Feb	98%	Mar	99%	Abr	99%	May	99%	Jun	97%
Mes de trabajo	Porcentaje (%)																												
Jun	84%																												
Jul	83%																												
Ago	89%																												
Sep	87%																												
Oct	76%																												
Nov	95%																												
Dic	100%																												
Enr	100%																												
Feb	98%																												
Mar	99%																												
Abr	99%																												
May	99%																												
Jun	97%																												

Al remitirse a los datos de la gráfica de la tabla 4 se observa que durante los meses de cuantificación (junio 2015-diciembre 2015) de los siete valores reportados sólo los de diciembre están dentro de la clasificación de resultados aceptables. Los otros valores oscilan entre el 76% y el 95%.

La cuantificación monetaria para este desperdicio se realiza mediante la multiplicación del tiempo requerido para corregir y llevar a conformidad los artículos devueltos por control de calidad por la tarifa de mano de obra directa equivalente a \$150.000.

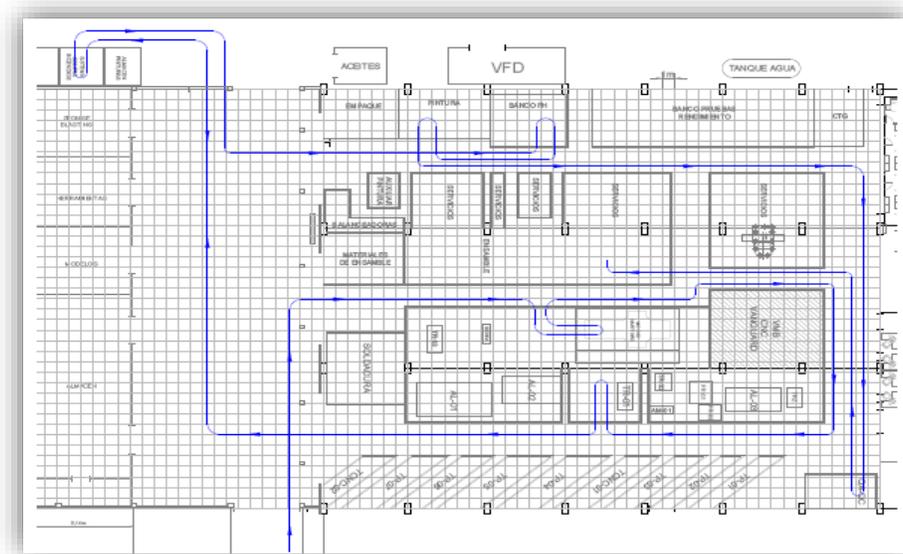
1.10. TRANSPORTE INNECESARIO

De acuerdo a la definición de la tabla 5 el desperdicio de transporte innecesario se expresa como el traslado de materia prima, producto en proceso o producto terminado, durante el cual no se modifica ninguna de sus características. Su cuantificación se realizó a través de las distancias

recorridas por el producto a lo largo del proceso productivo y en algunos casos llegaron a ser repetitivas.

A través del diagrama de spaghetti se representa el recorrido usual de las piezas, dando cuenta de todo el trayecto que es requerido desde su recepción hasta la entrega.

Ilustración 4 Recorrido de piezas dentro de la planta



Lo anterior supone que la compañía debe incurrir en costos por movimientos e incluso daño de los productos transportados. Cabe resaltar que este desperdicio no solo representa pérdidas por sí solo, sino que también puede representar tiempo de espera entre procesos. El gráfico de la tabla 5 muestra los valores cuantificados en kilómetros del transporte de piezas durante cada mes de estudio. Estos datos indican que las piezas llegan a recorrer mensualmente distancias entre 10 y 11,3 kilómetros.

Tabla 5 Ficha técnica transporte innecesario

TRANSPORTE INNECESARIO																													
Definición	Transporte de materia prima, producto en proceso o producto terminado, sin que se modifique característica del producto, por la que el cliente este dispuesto a pagar.																												
Periodo de evaluación	12 meses																												
Indicadores	<p><i>Transporte material en proceso = Distancia total recorrida del material (inicio – fin)</i></p> <p>Consideraciones importantes Las distancias recorridas por el producto deben ser lo más cortas posibles.</p>																												
Gráfico																													
<p style="text-align: center;">Transporte innecesario 2015-2016</p> <table border="1"> <caption>Data for Transporte innecesario 2015-2016</caption> <thead> <tr> <th>Mes estudio</th> <th>Kilometros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Jun.</td><td>10,8</td></tr> <tr><td>Jul.</td><td>11,0</td></tr> <tr><td>Ago.</td><td>11,3</td></tr> <tr><td>Sep.</td><td>10,5</td></tr> <tr><td>Oct.</td><td>10,0</td></tr> <tr><td>Nov.</td><td>11,0</td></tr> <tr><td>Dic.</td><td>11,3</td></tr> <tr><td>Enr.</td><td>8,9</td></tr> <tr><td>Feb.</td><td>8,3</td></tr> <tr><td>Mar.</td><td>5,7</td></tr> <tr><td>Abr.</td><td>5,6</td></tr> <tr><td>May.</td><td>5,7</td></tr> <tr><td>Jun.</td><td>5,6</td></tr> </tbody> </table>		Mes estudio	Kilometros	Jun.	10,8	Jul.	11,0	Ago.	11,3	Sep.	10,5	Oct.	10,0	Nov.	11,0	Dic.	11,3	Enr.	8,9	Feb.	8,3	Mar.	5,7	Abr.	5,6	May.	5,7	Jun.	5,6
Mes estudio	Kilometros																												
Jun.	10,8																												
Jul.	11,0																												
Ago.	11,3																												
Sep.	10,5																												
Oct.	10,0																												
Nov.	11,0																												
Dic.	11,3																												
Enr.	8,9																												
Feb.	8,3																												
Mar.	5,7																												
Abr.	5,6																												
May.	5,7																												
Jun.	5,6																												

Para la valoración monetaria de este desperdicio se calculó el tiempo recorrido en transportar la pieza de estudio por la planta multiplicado por la tarifa de \$ 150.000 costo de la hora.

1.11. ESPERAS

Para efectos del presente trabajo, en este ejercicio se asumió que las esperas en el proceso tienen un efecto directo en el tiempo de entrega del producto al cliente. Por tal motivo, se evaluó el nivel de incumplimiento de los despachos, a través del indicador conocido en la empresa como OTD (On Time Delivere). La compañía tiene definido que el nivel de incumplimiento no debe superar el 5% del total de pedidos despachados en el mes. De acuerdo con los datos de la tabla 6, durante

el periodo de diagnóstico los porcentajes de entregas superan el 5%, es decir, se consideran entregas tardías.

Tabla 6 Ficha técnica esperas

ESPERAS																													
Definición	Tiempo en que los recursos se encuentran sin ser utilizados.																												
Periodo de evaluación	12 meses																												
Indicadores	$\text{Nivel cumplimiento despachos} = \frac{\text{Total de pedidos no generados a tiempo}}{\text{Total de pedidos despachados}} * 100$ <p>Consideraciones importantes Valores entre 0%-5%= Entregas no realizadas dentro de tiempos razonables Valores >5%= Entregas tardías</p>																												
Gráfico																													
<p>Esperas 2015-2016</p> <table border="1"> <caption>Data for Esperas 2015-2016</caption> <thead> <tr> <th>Mes estudio</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>14%</td></tr> <tr><td>2</td><td>11%</td></tr> <tr><td>3</td><td>11%</td></tr> <tr><td>4</td><td>7%</td></tr> <tr><td>5</td><td>11%</td></tr> <tr><td>6</td><td>17%</td></tr> <tr><td>7</td><td>15%</td></tr> <tr><td>8</td><td>11%</td></tr> <tr><td>9</td><td>8%</td></tr> <tr><td>10</td><td>7%</td></tr> <tr><td>11</td><td>5%</td></tr> <tr><td>12</td><td>3%</td></tr> <tr><td>13</td><td>4%</td></tr> </tbody> </table>		Mes estudio	Porcentaje (%)	1	14%	2	11%	3	11%	4	7%	5	11%	6	17%	7	15%	8	11%	9	8%	10	7%	11	5%	12	3%	13	4%
Mes estudio	Porcentaje (%)																												
1	14%																												
2	11%																												
3	11%																												
4	7%																												
5	11%																												
6	17%																												
7	15%																												
8	11%																												
9	8%																												
10	7%																												
11	5%																												
12	3%																												
13	4%																												

La no entrega a tiempo de los productos no solo genera el retraso de otros pedidos, sino que también disminuyen la satisfacción de los clientes y pérdida de nuevas órdenes.

Considerando esto último, para valorar este desperdicio se determinó que las horas totales de espera del cliente representan para la compañía un costo de oportunidad. Es decir, en ese mismo tiempo la compañía podría estar atendiendo nuevos pedidos que generan un ingreso para la misma.

Por esta razón, para la valoración de este desperdicio se consideró el número total de horas de

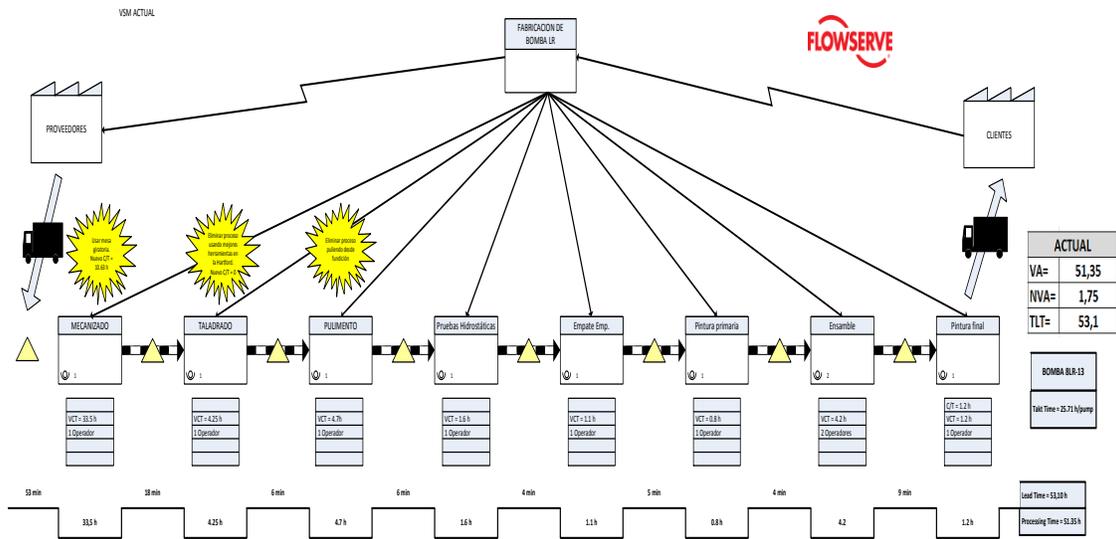
espera de los clientes multiplicado por la tarifa que tiene establecida la compañía como costo de operación por hora que es de \$150.000 pesos.

1.12. MOVIMIENTOS INNECESARIOS

Para la recolección de los datos se tomó como análisis el área de mecanizados mayores (piezas superiores a 300 Kg) debido a que es el mecanizado de mayor complejidad establecido por los protocolos de fabricación. Se calculó realizar esta operación en un tiempo estándar de 30 horas netas.

La medición se realizó con un estudio de tiempos y movimientos, registrando todas las actividades que requieren para terminar la pieza. Así mismo se empleó la herramienta VSM para determinar las actividades que agregan o no valor al producto (ver ilustración 5). La medición promedio mostrada en la tabla 7 durante la etapa de diagnóstico fue de 52 horas, lo que indica ineficiencia respecto al tiempo estándar de 30 horas. Cabe destacar que en el mes de julio de 2015 se excedieron en un 53% respecto al estándar y 19% respecto al promedio, lo cual indica desajustes en las operaciones.

Ilustración 5 Diagrama VSM presente



Del análisis del VSM, se pudo determinar que las actividades que no agregan valor son las continuas mediciones de alineación en la máquina, debido a que este tipo de actividad se realiza de manera manual y con alta probabilidad de error. Así mismo, la búsqueda de herramientas de la mesa de trabajo a la instalación en el husillo. Podemos ver en la tabla 7 el comportamiento de este indicador en dónde el mejor resultado en la fase inicial fue de 48 horas para el mes de diciembre.

Tabla 7 Ficha técnica movimiento innecesarios

MOVIMIENTOS INNECESARIOS																													
Definición	Cualquier movimiento excesivo para el desarrollo de las actividades encomendadas.																												
Periodo de evaluación	12 meses																												
Indicadores	<p><i>Tiempo requerido para para desarrollar una actividad</i></p> <p>Consideraciones importantes</p> <p>El número de movimientos deben ser los mínimos posibles y deben ser los estrictamente necesarios para realizar la transformación completa del producto se tiene como un estadar de 30 horas para este procesos.</p>																												
Gráfico																													
<p style="text-align: center;">Movimientos innecesarios 2015-2016</p> <table border="1"> <caption>Movimientos innecesarios 2015-2016</caption> <thead> <tr> <th>Mes estudio</th> <th>Horas (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Jun.</td><td>50</td></tr> <tr><td>Jul.</td><td>63</td></tr> <tr><td>Ago.</td><td>54</td></tr> <tr><td>Sep.</td><td>52</td></tr> <tr><td>Oct.</td><td>53</td></tr> <tr><td>Nov.</td><td>49</td></tr> <tr><td>Dic.</td><td>48</td></tr> <tr><td>Enr.</td><td>25</td></tr> <tr><td>Feb.</td><td>26</td></tr> <tr><td>Mar.</td><td>28</td></tr> <tr><td>Abr.</td><td>25</td></tr> <tr><td>May.</td><td>26</td></tr> <tr><td>Jun.</td><td>25</td></tr> </tbody> </table>		Mes estudio	Horas (h)	Jun.	50	Jul.	63	Ago.	54	Sep.	52	Oct.	53	Nov.	49	Dic.	48	Enr.	25	Feb.	26	Mar.	28	Abr.	25	May.	26	Jun.	25
Mes estudio	Horas (h)																												
Jun.	50																												
Jul.	63																												
Ago.	54																												
Sep.	52																												
Oct.	53																												
Nov.	49																												
Dic.	48																												
Enr.	25																												
Feb.	26																												
Mar.	28																												
Abr.	25																												
May.	26																												
Jun.	25																												

La cuantificación de tiempos por movimientos revela ajustes excesivos a la hora de realizar una operación de precisión, la cual realiza cada operario de acuerdo con su experiencia y sin seguir un patrón estandarizado. Esto genera múltiples revisiones, aumentando la posibilidad de cometer errores que afectan otros desperdicios como los sobreprocesos e incrementan el tiempo y el costo de producción.

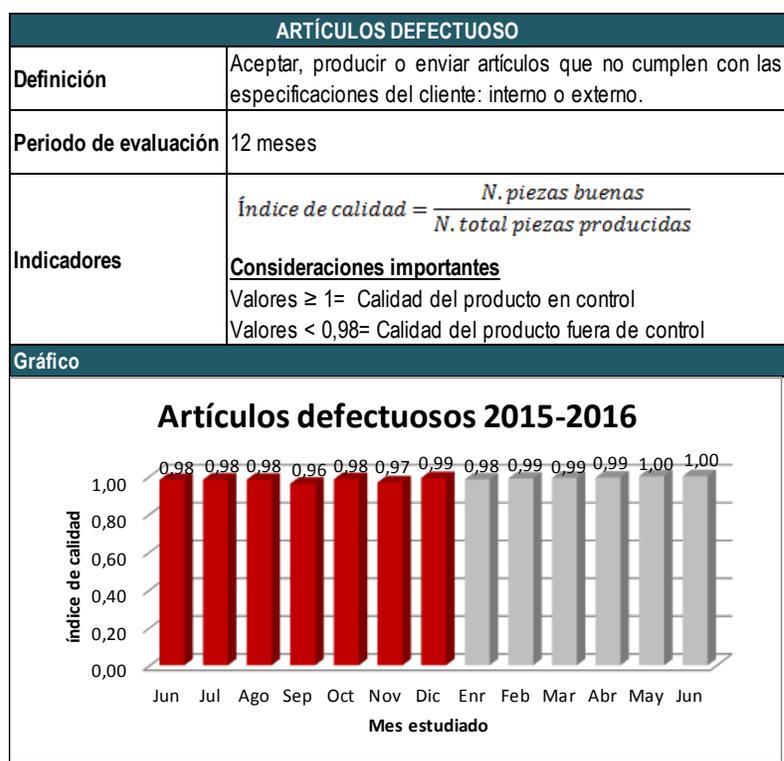
La valoración monetaria del costo se realiza mediante la multiplicación de los tipos incurridos por la tarifa que la compañía designa como “costo hora” que equivale a \$ 150.000 pesos.

1.13. ARTÍCULOS DEFECTUOSOS

Para este desperdicio la disposición del material se considera “rechazo”, es decir ya no se puede realizar ningún trabajo adicional para llevarlo a un estado de conformidad representando pérdida total de mano de obra y materia prima.

La medición del indicador se obtiene de la relación del número de piezas buenas sobre el total de piezas producidas. Durante el periodo de medición comprendido entre junio de 2015 a diciembre de 2015 que se muestra en la tabla 8 se observan porcentajes de rechazos entre 2% y 3% que se consideran dentro del rango de cumplimiento definido por la empresa.

Tabla 8 Ficha técnica artículos defectuosos



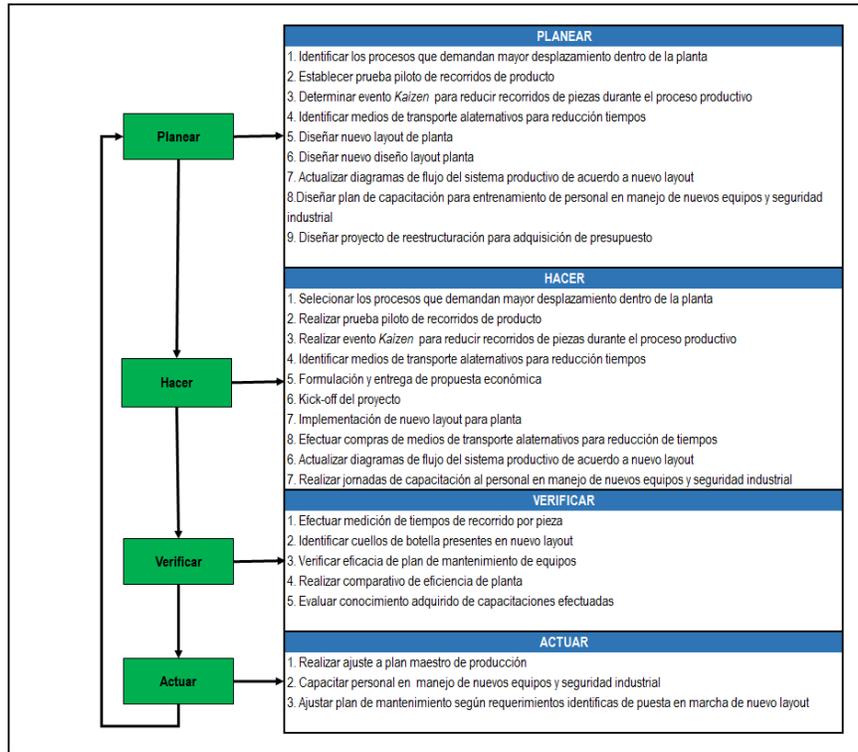
La lectura del indicador no reporta valores por fuera del objetivo, razón por la cual no es necesario intervenir este desperdicio con modificaciones importantes. La cuantificación monetaria reafirma que tan solo el 2% corresponde al desperdicio de artículos defectuosos.

La valoración monetaria de este desperdicio se compone de los costos incurridos en la compra de material más las horas invertidas en elaborar la pieza equivalente a \$ 150.000 cada hora de trabajo.

7. ACCIONES DE MEJORA

Una vez identificados y evaluados los desperdicios antes descritos, la metodología propuesta en el presente proyecto implicó la identificación de acciones de mejora a través del ciclo PHVA y la aplicación de herramientas *Lean* para lograr la reducción o eliminación de los desperdicios. La aplicación del ciclo PHVA constituyó el marco de actuación para la identificación de las acciones de mejora (Ver anexos A, B, C, D, E Y F). En cada etapa del ciclo se realizó un conjunto de actividades entre las que se incluía la ejecución de la acción propiamente dicha y la medición de los resultados alcanzados para ser comparados con la evaluación inicial. A manera de ejemplo, en la siguiente ilustración se presenta un esquema general de la aplicación del ciclo PHVA. Este ejemplo corresponde a las mejoras aplicadas para la reducción de los desperdicios relacionados con los transportes innecesarios.

Ilustración 6 PHVA aplicado en el análisis de los transportes innecesarios.



La estructura del ejemplo anterior fue aplicada en la identificación de las mejoras para cada uno de los desperdicios descritos anteriormente. Para facilitar una lectura en conjunto de las acciones desarrolladas, en la siguiente tabla se presenta una síntesis que explica la herramienta aplicada, la acción ejecutada, el impacto logrado en términos de la reducción del desperdicio y finalmente la cuantificación del ahorro basado en la misma métrica presentada en la tabla 2.

Tabla 9 Resumen General

DESPERDICIO	HERRAMIENTA LEAN APLICADA	ACCIONES	IMPACTO	VALORACIÓN DEL IMPACTO	RESULTADO (\$) DE LA MEJORA
Inventario	5'S	Se aplicó la metodología 5'S para la organización física del almacén.	Reducción en los tiempos de búsqueda de artículos	Se logró dar destino a piezas del inventario que no rotaban. El movimiento de estas piezas representó una reducción del 76% con respecto a la valoración inicial	\$20.856.000
	Control visual	Demarcación por familia de productos y categorías	Identificación rápida y simple de piezas que se encuentran en el inventario y no tiene un destino específico		
Sobreprocesos	Control visual y Kanban	Demarcación de la mesa de trabajo de cada máquina en dos zonas, roja (producto para procesar) y verde (producto procesado listo para inspección en proceso).	Se logra una inspección a nivel de proceso lo que impide que se tenga productos defectuosos al control final.	Con respecto al valor inicial se tiene una reducción del 95% en el tiempo destinado al sobreprocesamiento	\$27.306.000
Transporte innecesario	Fabricación en Flujo	Actualización de las rutas de trabajo con los tiempos netos de fabricación	Reducción en los tiempos de fabricación por la simplificación del recorrido de piezas entre estaciones. Esto también puede suponer impacto en la reducción de	Se logra una reducción del tiempo total de desplazamiento de piezas del 48% con respecto al valor inicial	\$2.703.375

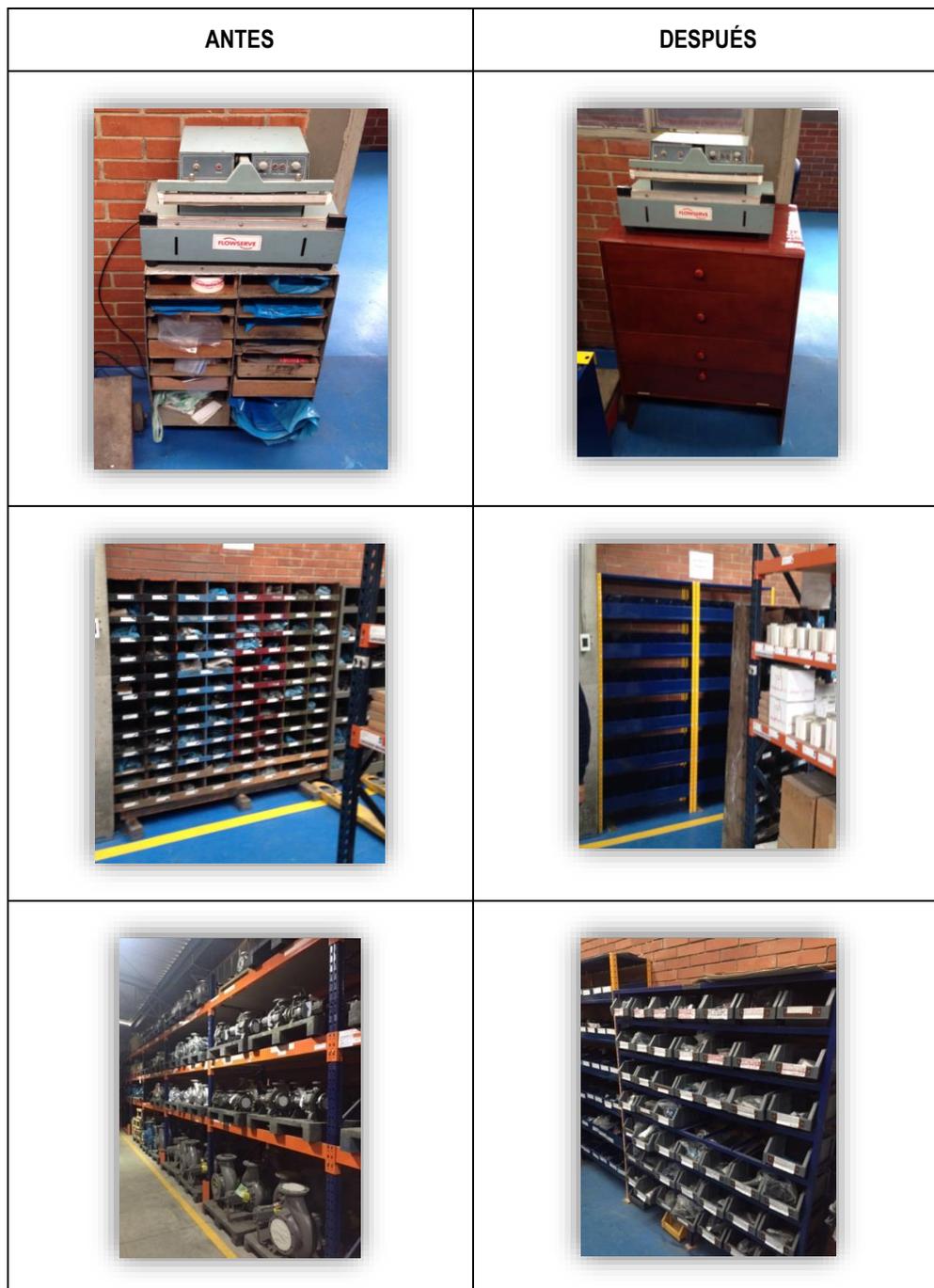
DESPERDICIO	HERRAMIENTA LEAN APLICADA	ACCIONES	IMPACTO	VALORACIÓN DEL IMPACTO	RESULTADO (\$) DE LA MEJORA
			los tiempos de espera para el cliente.		
Esperas	Control visual	Creación del tablero de control de avance de pedidos	Identificación visual del estado de avance de la fabricación de los pedidos. Se identifica rápidamente esperas dentro del proceso.	Se logra una reducción del 56% en el número de horas de retraso del producto	\$ 336.600.000
Movimientos Innesarios	SMED Poka Yoke	Creación de la mesa giratoria con coordenadas	Reducción del número de horas adicionales al estándar de mecanizado y reducción del tiempo de centrado para realizar la operación espejo	Reducción en un 58% de las horas adicionales al estándar de mecanizado	\$160.500.000
Ausencia de calidad	Poka Yoke	Realización de bloque y plantillas patrón para verificación de medidas.	Reducción en el tiempo de inspección. Reducción en el número de piezas defectuosas	Reducción del 75% de las piezas rechazadas con respecto al valor inicial	\$17.808.000

1.14. ACCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE INVENTARIOS

Este desperdicio se trabajó en función del control y la rotación de artículos con base en la demanda de los clientes y se excluyeron las necesidades de producción como un motivador de compra. Cada pedido requiere cierta cantidad de artículos rastreados por el sistema y solamente detecta necesidades cuando no encuentra existencias. Por esta razón se eliminó el pedido de más artículos por si ocurre algún inconveniente durante el desarrollo de la producción. También se reorganizó

todo el almacén a través de la aplicación de las 5'S para identificar con facilidad la ubicación y la cantidad de los artículos. En la siguiente ilustración se muestra la situación antes y después de la aplicación de las 5'S en el control visual en el área de almacén.

Ilustración 7 Antes y después de la aplicación de 5'S y control visual para reducción inventarios.



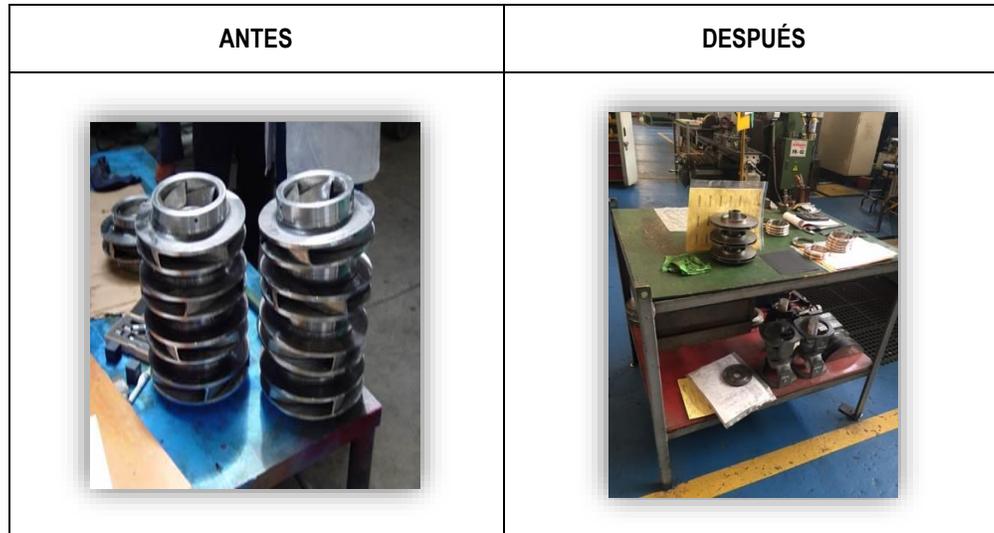
1.15. ACCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE SOBREPRESOS

Con la ayuda del ciclo PHVA se analizó la situación de este desperdicio y se establecieron acciones como la de organizar reuniones con las áreas involucradas de ingeniería y modelos (área encargada de administrar los patrones o modelos para la obtención de las piezas fundidas), producción y control de calidad, con el fin de ajustar los procedimientos de fabricación. Esto permitió detectar que muchas materias primas venían con sobre espesores (hasta 8 mm) lo que implicaba un sobreprocesamiento para retirar material de exceso en el proceso de mecanizado. Por esta razón, se ajustaron las listas de materiales, reduciendo las dimensiones de algunos modelos para tener una medida estándar de 3 mm como máximo de sobre espesor. Se hicieron pruebas de mecanizado y se disminuyó el número de pasadas de corte de la herramienta, de tres pasadas de desbaste a una, antes del corte de terminado.

Adicionalmente, se aplicaron las herramientas de control visual y Kanban, a través de la creación de un código de colores en las mesas de trabajo para identificar fácilmente las piezas listas para su inspección y así evitar que al final del proceso se identificaran piezas que debían recibir un sobreprocesamiento.

En la siguiente ilustración se observa la aplicación de la herramienta de control visual en las mesas de trabajo de cada máquina.

Ilustración 8 Antes y después de la aplicación de control visual y Kanban para reducción del sobreprocesamiento.



En la situación “antes” todas las piezas se apilaban hasta terminarse y ser enviadas a control de calidad para su inspección final. Como resultado se tenían piezas que debían recibir sobreprocesamiento por no cumplir con las especificaciones. En la situación “después” las piezas son organizadas en dos zonas, una roja correspondiente al producto para procesar y otra verde correspondiente al producto procesado listo para inspección en proceso. De esta manera, el inspector de calidad visualmente identifica qué piezas están listas para ser inspeccionadas y liberadas para el siguiente proceso. Así se evita que al final del proceso se identifiquen defectos que pudieron ser eliminado desde el inicio y recurrir a tiempo y costo extra para corregir las no conformidades.

1.16. ACCIONES PARA LA REDUCCIÓN DEL TRANSPORTE INNECESARIO

Las acciones de mejora aplicadas para la reducción de este desperdicio derivaron de la aplicación de las herramientas VSM y Diagrama de Spaghetti. Las acciones de mejora están relacionadas con el rediseño del *layout* de la planta para logra el menor recorrido posible de las piezas, lo cual involucró la búsqueda de medios de transporte alternativos para la movilización de las piezas. Cabe destacar que durante la implementación de las acciones de mejora se fabricó un sistema de rieles para transportar equipos y piezas sueltas a la cabina de pintura desde las áreas de ensamble y reparación disminuyendo el recorrido total a través de las naves de la planta (Ilustración 9).

Ilustración 9 Situación antes y después para reducir transporte innecesario.

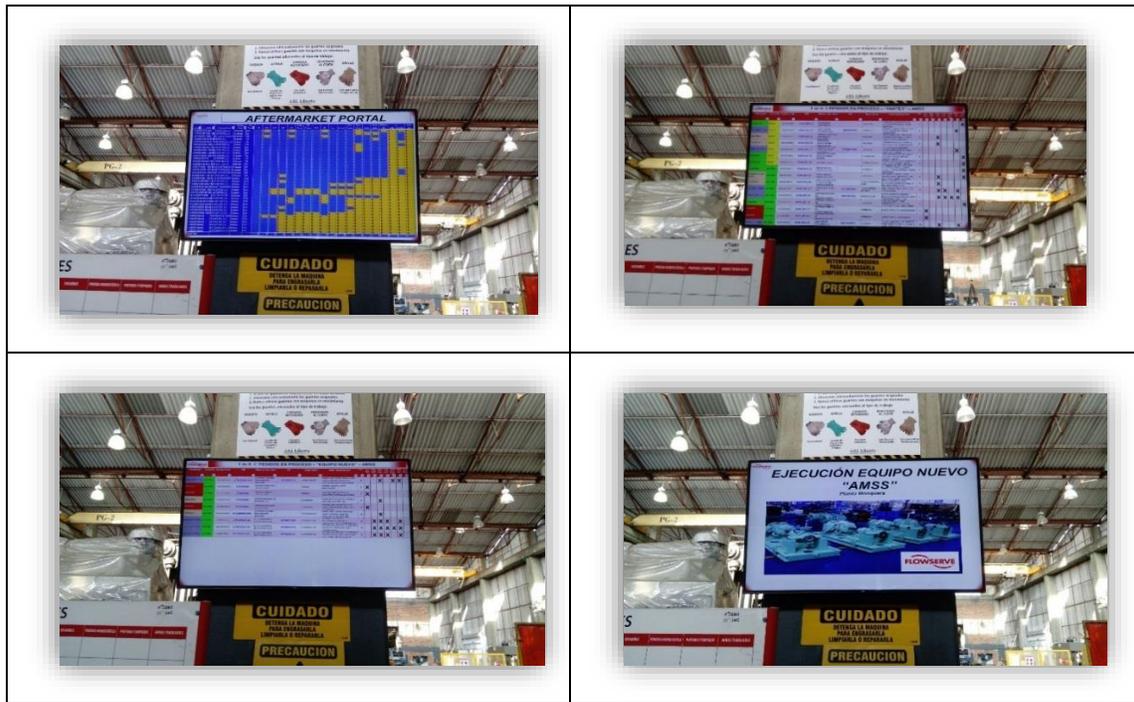


Cabe anotar que, si bien se busca una reducción de los transportes innecesarios, la dirección de la compañía quiere fomentar que el desplazamiento de las cargas se haga de manera segura. Esto ha implicado que dentro de las acciones de mejora se realice la capacitación del personal en temas relacionados con el izaje y transporte de cargas para crear conciencia en los operarios acerca del cuidado que supone el manejo de cargas, más aún cuando se busca una reducción en los tiempos de desplazamiento. Así mismo, para continuar con la reducción de este desperdicio se están ejecutando proyectos de diseño de células de trabajo, lo cual implica la reubicación de las máquinas para reducir distancias entre procesos.

1.17. ACCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE LAS ESPERAS

Para las esperas se implementaron ayudas visuales enfocadas en mostrar las necesidades de entrega de los productos a los clientes, sincronizando los procesos administrativos y productivos. Lo anterior se logró publicando, en pantallas de televisión, información centralizada sobre la programación de entregas haciendo visible las actividades pendientes en cada proceso. De esta manera, el personal permanece informado y agiliza los procesos de fabricación y entrega de los productos. En la (Ilustración 10) se presenta la acción desarrollada.

Ilustración 10 Creación del tablero de control para avance de los pedidos



La aplicación de este tipo de acción implicó la creación de grupos de trabajo para el ingreso de información precisa y en tiempo real. Por ejemplo, el envío de una orden de compra a un proveedor, el ingreso de un material al almacén, la liberación de una lista de materiales o el cargue de horas hombre, entre otras. Estas acciones se implementaron junto con otras que atacan desperdicios como el sobreprocesamiento, en el cual las rutas de trabajo ajustadas se sincronizan con las entregas. Igualmente, se determinó que muchas mediciones no son tan críticas de controlar, lo que trae como consecuencia pérdida de tiempo de inspecciones. Por lo tanto, junto con el área de ingeniería se determinaron las dimensiones críticas que se debían controlar.

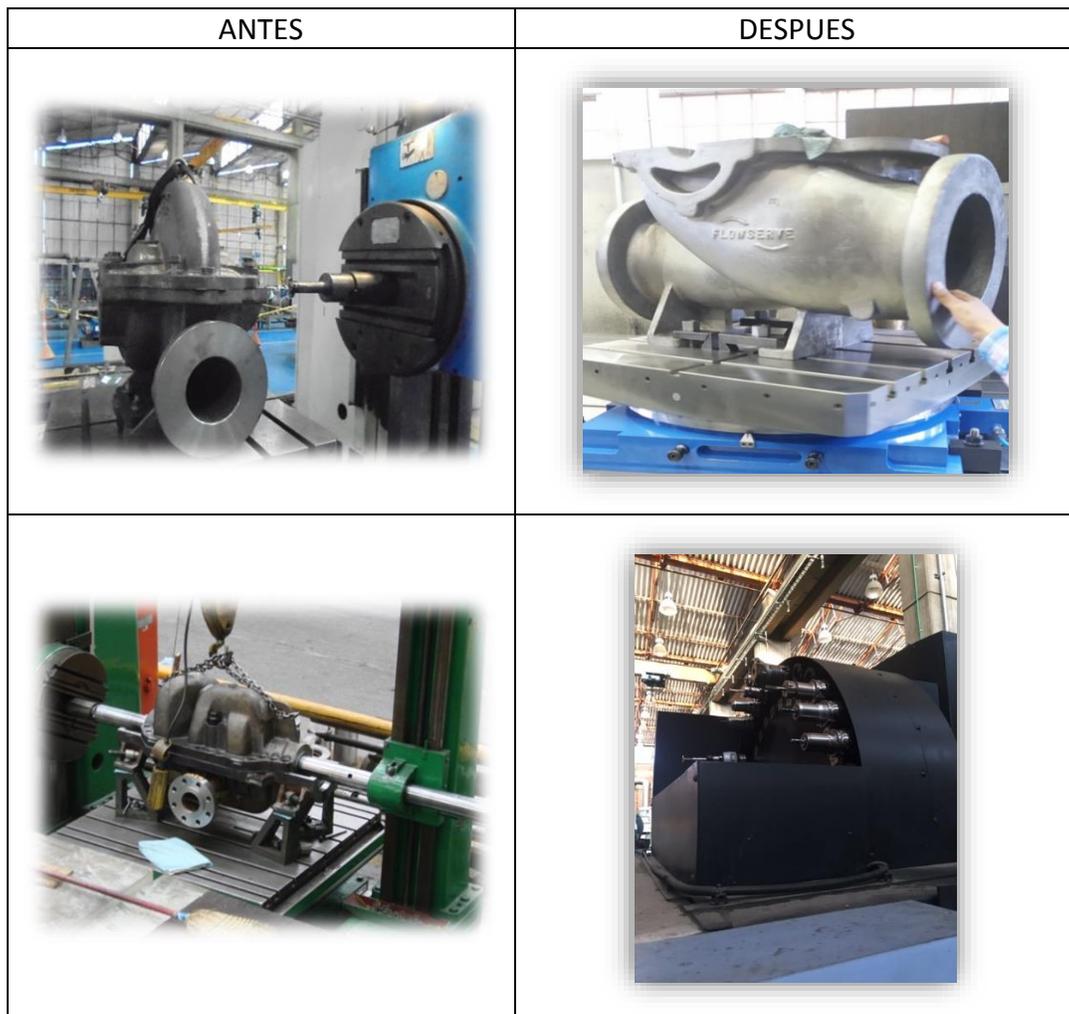
1.18. MOVIMIENTOS INNECESARIOS

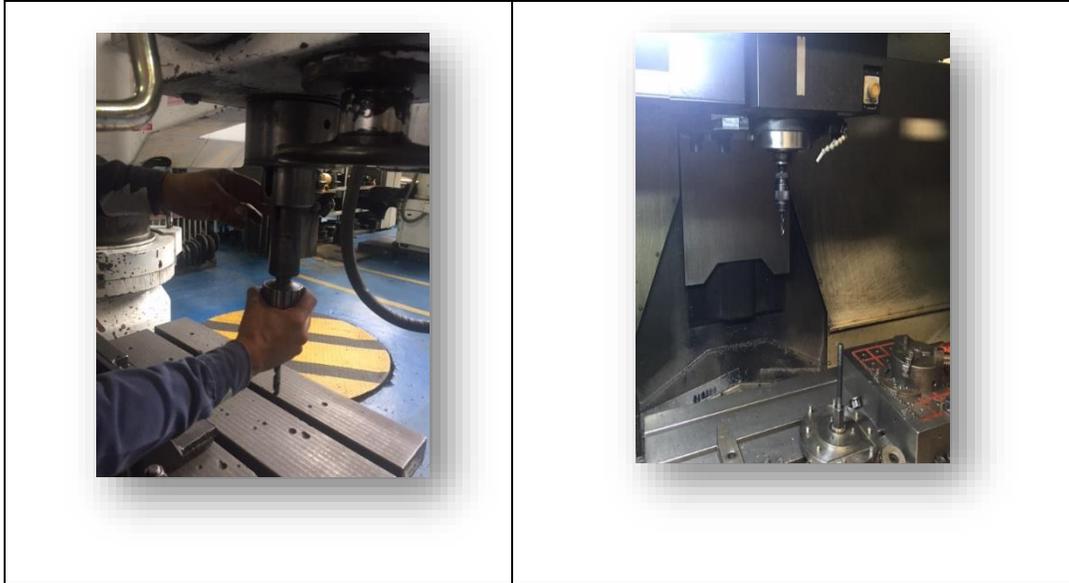
Siguiendo con el mismo ejercicio de aplicación de ciclo PHVA y los resultados del VSM, para este desperdicio se manejó un proyecto puntual, consistente en revisar específicamente uno de los

productos más representativos de la fábrica que es la carcasa de una bomba centrífuga, el cual involucra piezas fundidas. Como resultado se aplicó un cambio rápido de herramienta *SMED* y la mesa de coordenadas como *Poka-Yoke* (ver ilustración 11).

El *SMED* consistió en la habilitación de un carrusel de herramientas el cual es programado directamente desde el monitor de programación de la máquina, eliminando así la instalación manual de la herramienta.

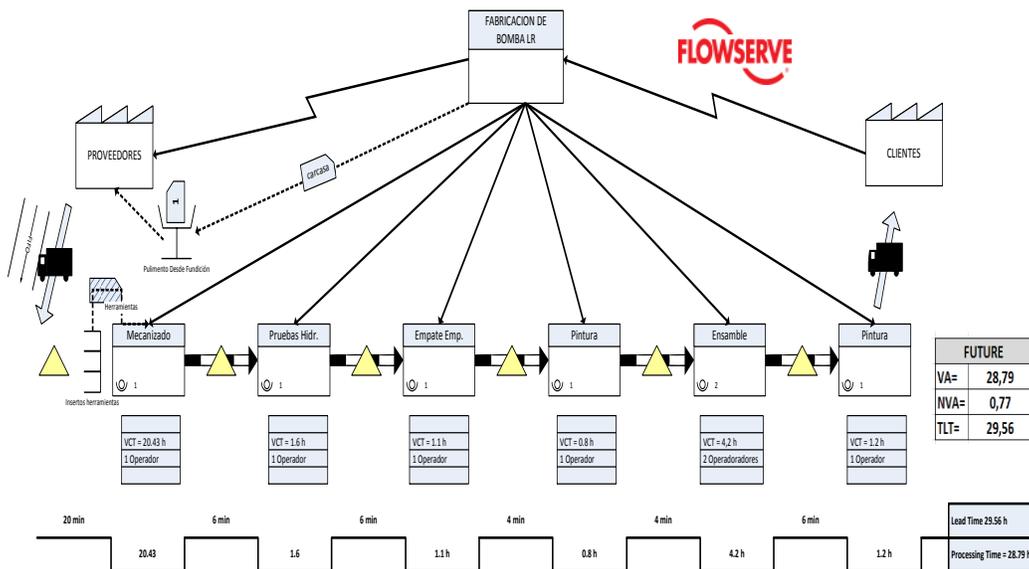
Ilustración 11 Creación del carrusel de herramientas y mesa de coordenadas





Por otra parte, la aplicación de la mesa de coordenadas como Poka-Yoke consistió la adquisición de una mesa giratoria de coordenadas, lo que garantiza la precisión de giro para la nueva operación. Luego de aplicar las herramientas descritas, se logró la reducción en un 50% en el tiempo total de la operación, reflejado principalmente en los movimientos innecesarios y actividades que no agregaban valor. Esto se ve representado en el VSM futuro (ilustración 12).

Ilustración 12 Diagrama VSM futuro



1.19. ARTÍCULOS DEFECTUOSOS

En el análisis de este desperdicio los resultados del indicador evidenciaron un porcentaje de piezas rechazadas menor al 3%, valor permisible para la característica del proceso. No obstante, haciendo el análisis a través del ciclo PHVA se diseñaron plantillas de control a prueba de errores (Poka-Yoke), para taladros de bridas y los bujes de comprobación de ajustes de medidas para ensamble ver (Ilustración 13), logrando así la reducción de errores que generan el rechazo o reproceso de la pieza y menos tiempo en el proceso de fabricación.

Ilustración 13 *Plantillas de control a prueba de errores*

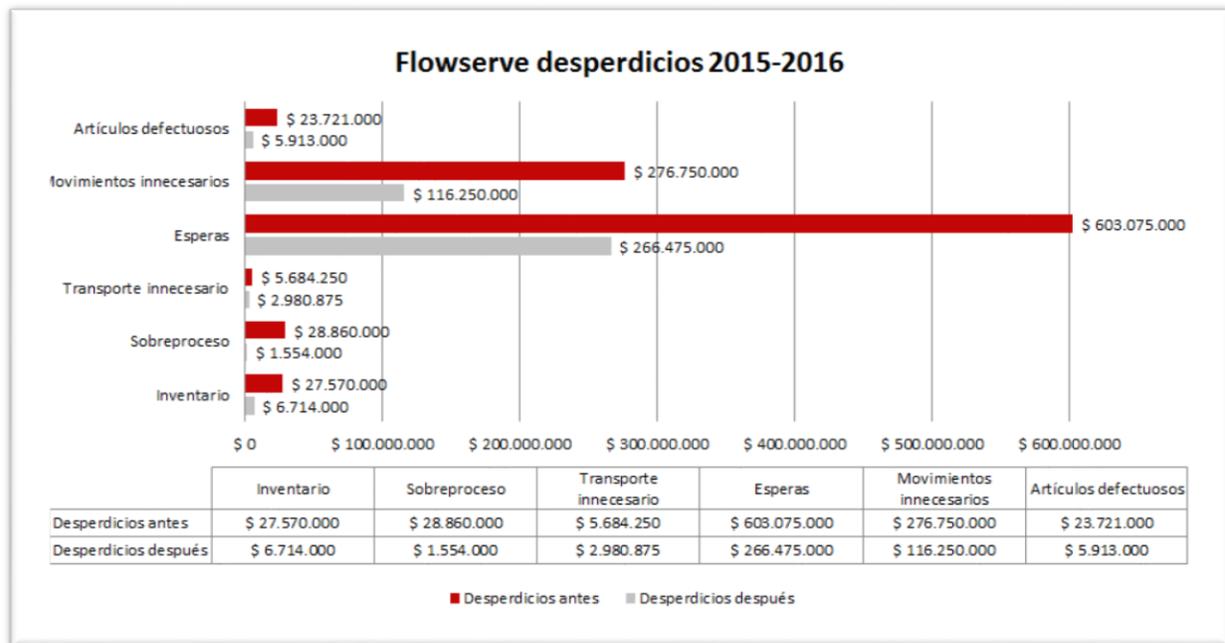


Así mismo, considerando que las materias primas provenientes de la fundición se destacan por ser las más rechazadas, se realizó un trabajo de sensibilización a los proveedores para mejorar internamente sus procesos.

8. EVALUACIÓN DE LAS ACCIONES DE MEJORA

Una vez establecidas las acciones de mejora para cada desperdicio se analizó el comportamiento de los indicadores después de seis meses de seguimiento, obteniéndose ahorros como lo muestra la gráfica 3 y en donde se evidencia el aporte de las acciones para cada desperdicio.

Gráfica 3 Consolidado evaluación de acciones de mejora



El resultado más significativo en ahorros lo representa el desperdicio de esperas con (\$ 336.600.000) con una reducción total del 56%. Luego aparece el desperdicio movimientos innecesarios con un ahorro de (\$160.500.000) representando una reducción del 58%. El desperdicio de sobreprocesos representa un ahorro de (\$ 27.306.000) y una reducción del 95%. Transporte innecesario representa, un ahorro de (\$ 2.703.375) equivalente al 48% de reducción. En el inventario el ahorro es de (\$ 20.856.000), es decir un 76% de reducción. Por último, el desperdicio en artículos defectuosos se tiene un ahorro de (\$ 17.808.000), con una reducción del 75%.

El consolidados durante los seis meses de aplicación de las herramientas es de (\$ **565.773.375**), que representa un ahorro total del **59%**.

Estos resultados indican que la aplicación sistemática y adecuada de herramientas *lean* en la eliminación de desperdicios o mudas permiten obtener incrementos de eficiencia, calidad y reducción de costos de forma representativa e impactante para el beneficio de la empresa.

9. RECOMENDACIONES PARA EL FUTURO

La identificación, medición y aplicación de herramientas *lean* para reducir los desperdicios o mudas en la compañía Flowserve S.A.S., mediante la aplicación de enfoques como el ciclo PHVA de mejora continua, demostró resultados positivos; por lo tanto, se requiere continuar trabajando en la identificación y medición de los desperdicios en todas las áreas de la empresa.

Para continuar reduciendo los desperdicios se sugieren las actividades descritas en la tabla 10.

Tabla 10 *Recomendaciones para el futuro*

DESPERDICIO	RECOMEDACION
Sobreprocesamiento	Seguir ajustando los dibujos de las piezas en las que se pueda ahorrar material de exceso. Continuar con el ajuste de las listas de materiales y el rediseño de modelos de fundición.
Inventario	Revisar detalladamente los materiales para descartar los productos que no rotan Hacer los ajustes puntuales en algunas listas de materiales para dar de baja los artículos obsoletos Seguir trabajando en 5'S para mantener controlados y en orden los artículos Identificar totalmente cada artículo y mantener niveles mínimos de inventarios sin que se afecte el nivel de servicio-.

Transporte innecesario	<p>Continuar elaborando los diagramas de recorrido de todas las piezas y obtener una cobertura total para ajustar los procesos de producción.</p> <p>Realizar la reubicación de maquinaria para mantener los mínimos recorridos posibles entre estaciones de trabajo.</p>
Esperas	<p>Seguir ajustando los tiempos de los procesos de producción para conocer la verdadera capacidad de la fábrica.</p> <p>Continuar la implementación del módulo de capacidad y pedidos en cola para que las órdenes de compra ingresen con fechas de entrega ajustadas a la carga de la planta.</p> <p>Mantener planes de trabajo con mediciones de tiempo en cada área para no incrementar los costos por retrasos y generar trabajo extra para entregar en las fechas comprometidas.</p>
Movimientos innecesarios	<p>Continuar los estudios de tiempos y movimientos en todas las estaciones de trabajo para maximizar la eficiencia de las máquinas y seguir reduciendo actividades que no agregan valor.</p> <p>Trabajar con fabricantes de herramientas para diseñar dispositivos de mecanizado a la medida de las necesidades de la empresa.</p>
Ausencia de calidad	<p>Seguir desarrollando proveedores de fundición con nuevas tecnologías de moldeo en resinas y cerámicos para eliminar defectos ocultos de las piezas como poros rechupes o superficies defectuosas que se convierten en rechazos dentro de la fábrica.</p> <p>Asegurar las operaciones con diversos dispositivos a pruebas de errores humanos como la adecuación de visualizadores en tornos, plantillas, reglas de tope, pastillas de forma y, en el mediano plazo, actualizar las máquinas a control numérico.</p> <p>Abrir la posibilidad de que estudiantes universitarios hagan investigación de tiempo completo en la fábrica trabajando en proyectos de mejora e innovación.</p> <p>Buscar alianzas con universidades para aplicar la teoría de la academia en la industria y adaptar las últimas investigaciones en temas administrativos o productivos.</p>

10. CONCLUSIONES

- La investigación demostró que las implementaciones de indicadores para medir desperdicios permiten detectar pérdidas de dinero implícitas en los procesos.
- Los KPI'S usados para medir desperdicios ahora son parte integral de los indicadores operacionales en la compañía en Colombia y se están empezando a replicar en otros países.
- Que mediante la aplicación sistemática y adecuada de herramientas lean y con una inversión de \$ 41.600.000 se logró obtener una reducción de los desperdicios del 59%, equivalente a \$565.773.375.
- Se logró evidenciar una mejora representativa en los KPI'S que cuantificaron los desperdicios después de aplicar herramientas *Lean* redundando en incrementos de eficiencia, calidad y reducción de costos para el beneficio de la empresa.
- Finalmente, se puede concluir que, basado en el estudio de caso realizado, la organización puede generar todo un sistema de gestión basado en la reducción de los desperdicios y no depender exclusivamente de un tipo de filosofía o metodología, que riesgosamente pueden constituir modas.

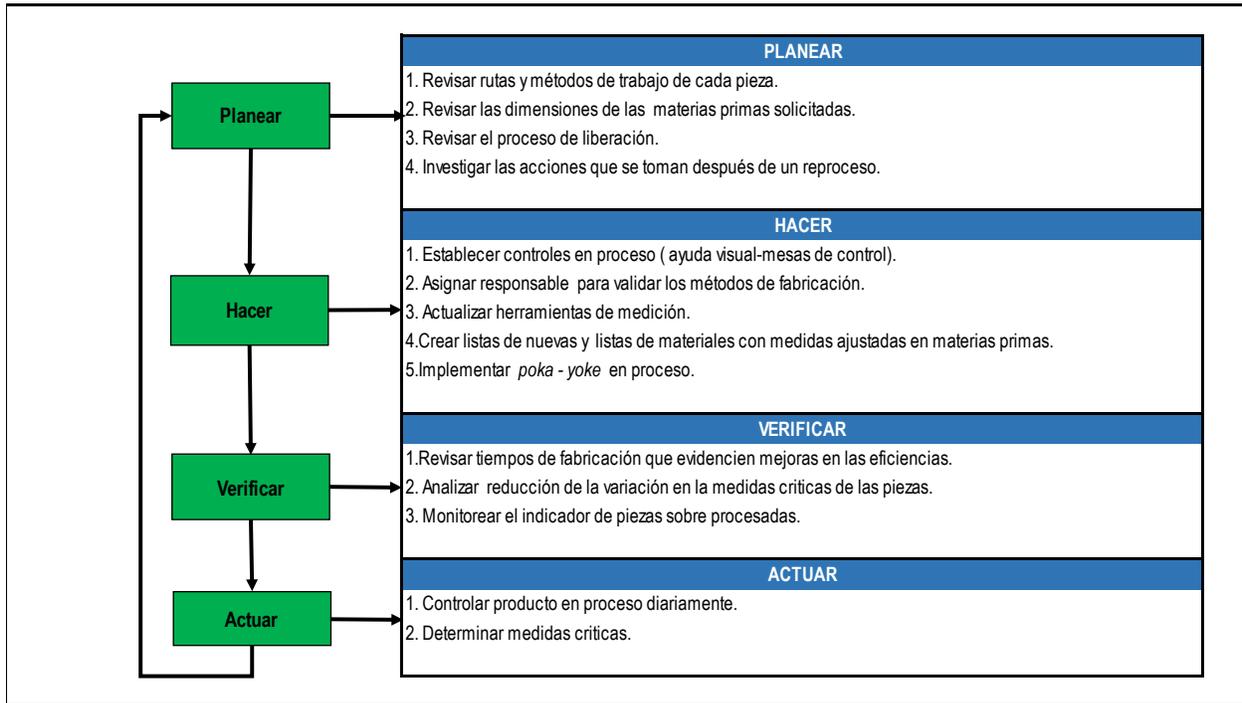
REFERENCIAS

- Alvarez, M. T., Chávez, M. Y., & Moreno, S. A. (s.f.). El Balanced Score Card, una herramienta para la planeación estratégica.
- Arrieta Posada, J. G. (2007). Interacción y conexiones entre las técnicas 5s, SMED y Poka Yoke en procesos de mejoramiento continuo. *Revista Tecnura*, 10(20):139–148.
- Barón, D. I., & Rivera, I. (2014). Cómo una microempresa logró un desarrollo de productos ágil y generador de valor empleando lean. *Estudios Gerenciales*, 30,(130);40-47.
- Bhuiyan, N., Baghel, A., & Wilson, J. (2006). A sustainable continuous improvement methodology at an aerospace company. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 671-687.
- De Treville, S., Shapiro, R. D., & Hameri, A. (2004). From supply chain to demand chain: The role of lead time reduction in improving demand chain performance. *Journal of Operations Management*, 21(6), 613-627.
- Dos Reis Alvarez, R., Antunes, J., & Valle, J. A. (2011). Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção.
- Dudek-Burlikowska, M., & Szewieczek, D. (2009). The poka-yoke method as an improving quality tool of operations in the process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 36(1), 95-102.
- Farris, J. A., Van Aken, E. M., Doolen, T. L., & Worley, J. (2008). Learning from less successful Kaizen events: a case study. *Engineering Management Journal*, 20(3), 10-20.
- Fortuny Santos, J., Cuatrecasas Arbós, L., Cuatrecasas Castellsaques, O., & Olivella Nadal, J. (2008). Metodología de implantación de la gestión lean en plantas industriales. 5(20).
- García, F. C., Partner, P. E., & Director, P. (s.f.). Using Value Stream Mapping to Develop Improved Facility Layouts.
- García, M., Santos, J., Arcelus, M., & Viles, E. (2011). A framework based on OEE and wireless technology for improving overall manufacturing operations. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg: 132-139.
- Garvin, W. (2015). Lean in six steps. *Industrial Engineer*, 47(5), 42-45.
- Gómez, P. B. (2010). Lean Manufacturing: flexibilidad, agilidad y productividad. *Gestión & Sociedad*, 3(2), 75-78.
- Grewal, C. (2008). An initiative to implement lean manufacturing using value stream mapping in a small company. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 15(3-4), 404-417.

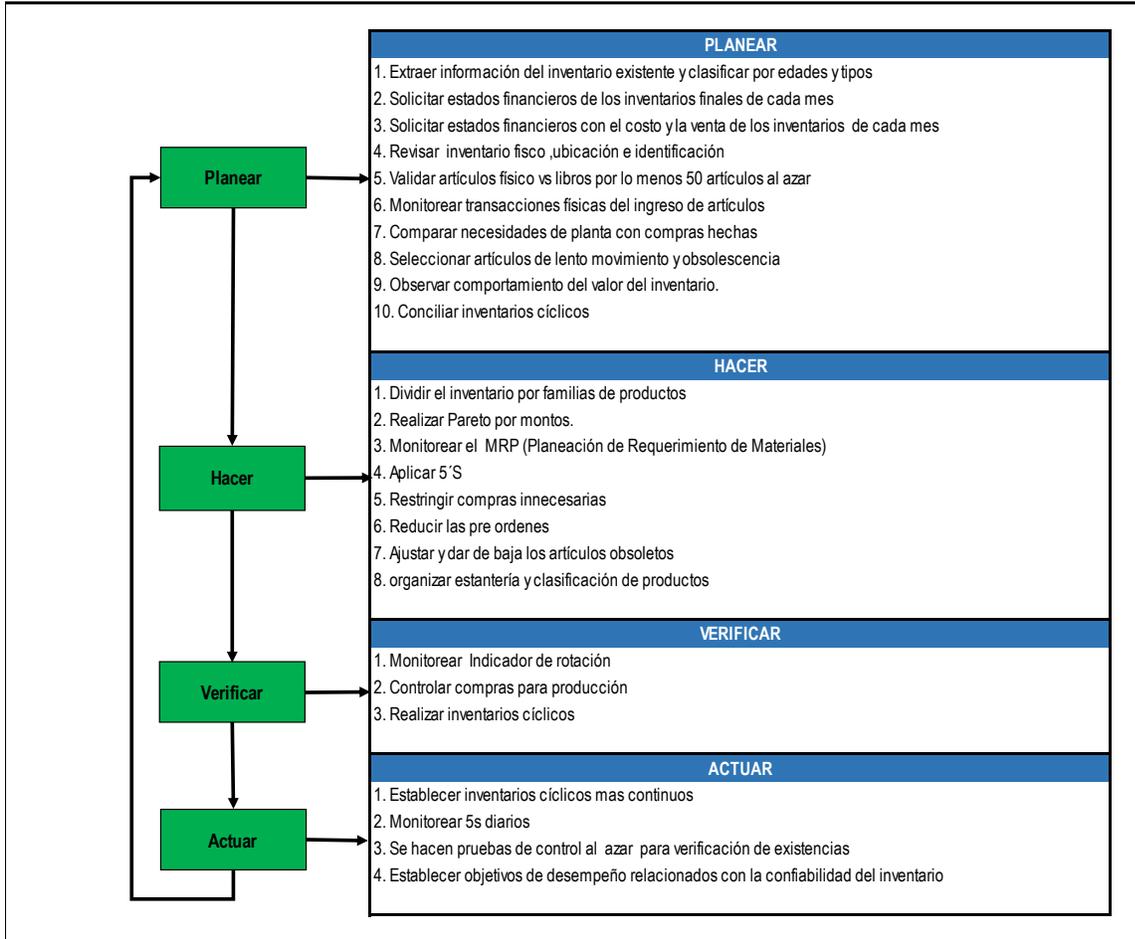
- Husby, P. (2007). Becoming Lean. *Material Handling Management*, 62(8), 42-45.
- Imai, M. (1986). *The key to Japan's competitive success*. New York: McGraw-Hill.
- Jaca, C., Viles, E., Paipa, L., Santos, J., & Mateo, R. (2014). Learning 5S principles from Japanese best practitioners: case studies of five manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 52(15), 4574-4586.
- Jørgensen, F., Boer, H., & Gertsen, F. (2003). Jump-starting continuous improvement through self-assessment. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(10), 1260-1278.
- Kaplan, R., & Norton, D. (2000). Cómo utilizar el Cuadro de Mando Integral: para implantar y gestionar su estrategia (The strategy focused organization).
- Keaton, M. (1995). A new look at the Kanban production control system. *Production and Inventory Management Journal*, 36(3), 71-78.
- Liker, J K. (2006). Las clase del éxito de toyota: 14 principios de gestión del fabricante más grande de mundo. Grupo Planeta (GBS).
- Liker, J. K., & Cuatrecasas, L. (2011). *Toyota: Cómo el fabricante más grande del mundo alcanzo el éxito*. Grupo Editorial Norma.
- Luis, S. (2008). *Lean Manufacturing paso a paso*. México: Grupo Editorial Norma.
- Mahmood, S., Ahmed, S., Panthi, K., & Ishaque Kureshi, N. (2014). Determining the cost of poor quality and its impact on productivity and profitability. *Built Environment Project and Asset Management*, 4 (3), 296-311.
- Martínez, C., Temblador, C., & del Valle, Z. (2013). Waste Analysis for Lean Operation Systems: a Preliminary FRamework. *IIE Annual Conference*. (pág. 951). Proceedings.
- Masaaki, I. (1986). *Kaizen: The key to Japan's competitive success*. New York: McGraw-Hill.
- Mena, S., & Suárez, D. (2011). *Análisis y propuesta de reducción de desperdicio en el proceso de elaboración de aglomerado en Novopan del Ecuador S.A.* Quito:USFQ: Bachelor's thesis 2011.
- Miñon Peña, R. (2013). *Proyecto de mejora continua de una proceso de fabricación en serie para componentes de automovil*.
- Nakajima, T., & Tanaka, M. (1988). Algorithms for radiative intensity calculations in moderately thick atmospheres using a truncation approximation. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 40(1), 51-69.
- Paipa, L., García, M., Santos, J., Viles, E., & Dueñas, R. (2011). Los sistemas de mejora continua y el despilfarro: la continuación de la obra de Taylor. 86(2), 232-240.
- Pérez Rave, J., La Rotta, D., Sánchez, K., Madera, Y., Restrepo, G., Rodriguez, M., . . . Parra, C. (2011). Identificación y caracterización de mudas de transporte, procesos, movimientos y

- tiempos de espera en nueve pymes manufactureras incorporando la perspectiva del nivel operativo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 19(3), 396-408.
- Pérez, J. I. (2011). El avión de la muda: herramienta de apoyo a la enseñanza-aprendizaje práctico de la manufactura esbelta. 173-182.
- Purdum, T. (June de 2007). Kanban Can Make A Difference.
- Raham, N. A., Sharif, S. M., & Esa, M. M. (2013). Lean manufacturing case study with kanban system implementation. *Procedia Economics and Finance*, 7,174-180.
- Ray, S., & Jewkes, E. M. (2004). Customer lead time management when both demand and price are lead time sensitive. *European Journal of operational research*, 153(3), 769-781.
- Rijinders, S., & Boer, H. (2004). A typology of continuous improvement implementation process. *Knowledge and Process Management*, 11(4), 283-296.
- Salah, S., Rahim, A., & Carretero, J. A. (2010). The integration of six sigma and lean management. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(3) 249-274.
- Santos, J. F., Arbós, L. C., Castellsaques, O. C., & Nadal, J. O. (2008). Metodología de implantación de la gestión lean en plantas industriales. *Universia Business Review*, 5(20), 28-40.
- Shook, J., & Rother, M. (1999). Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. Brookline, MA: The Lean Enterprise Institute.
- Socconini, L. (2009). "*Lean manufacturing*" paso a paso. . Grupo Editorial Norma.
- Sohal, A. S., & Terziovski, M. (2000). TQM in Australian manufacturing: factors critical to success. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 17(2), 158-168.
- Tanco, M., Santos, J., Rodriguez, J., & Reich, J. (2013). Applying lean techniques to nougat fabrication: a seasonal case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68 (5-8), 1639-1654.
- Villaseñor Contreras, A., & Galindo, C. (2007). *Manual de Lean Manufacturing*. México: Editorial Limusa.
- Villaseñor, A., & Galindo, E. (2007). *Manual de Lean Manufacturing, guía básica*. México, México: Editorial Limusa.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *Machine that changed the world*. . Simon and Schuster.
- Womack, J., & Jones, D. (2010). *Lean Thinking: Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los desperdicios y crear valor en la empresa*. Traducción Emili Armella. Revisión y adaptación Lluís Cuatrecasas. Gestión 2000.
- Yin, R. K. (2013). *Case study research: Design and methods*. . Sage publications.

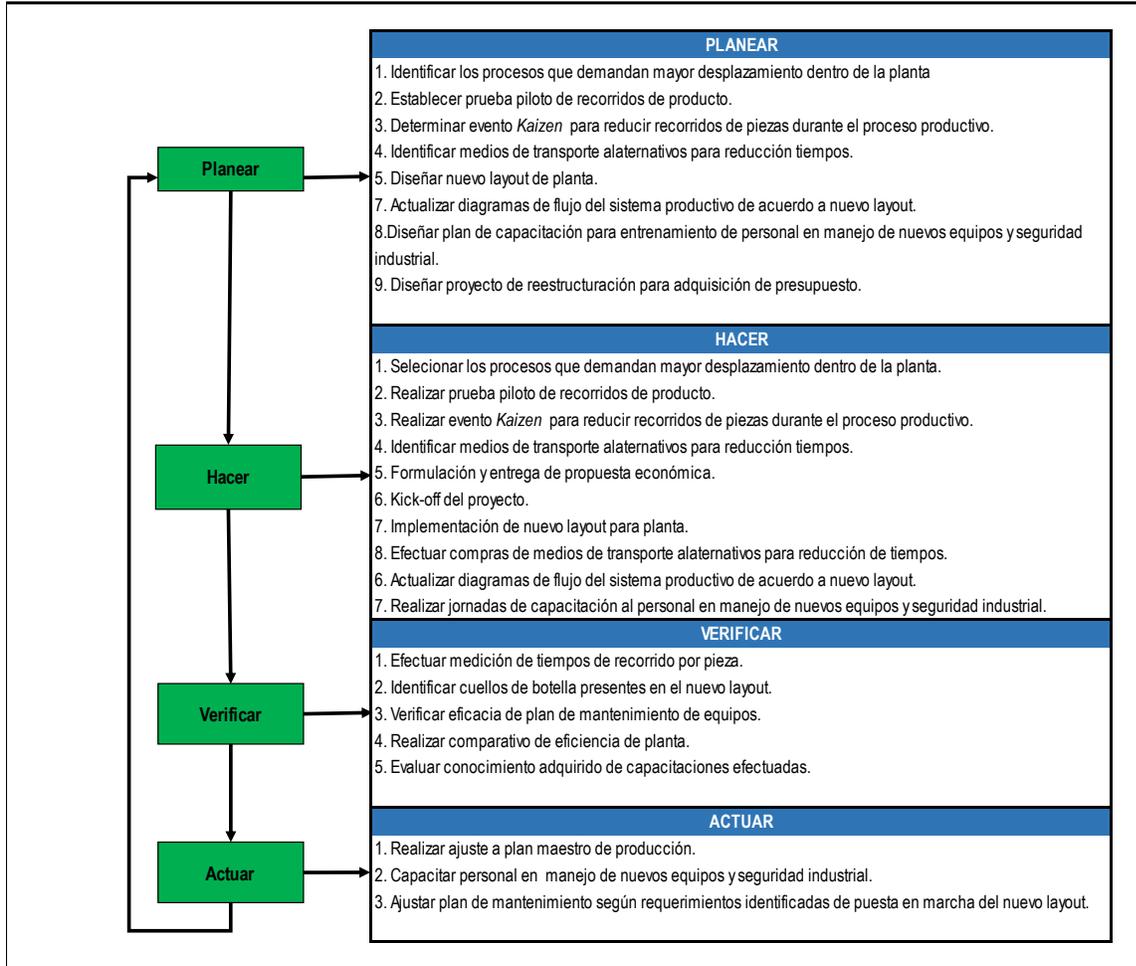
ANEXO A PHVA sobre procesamiento.



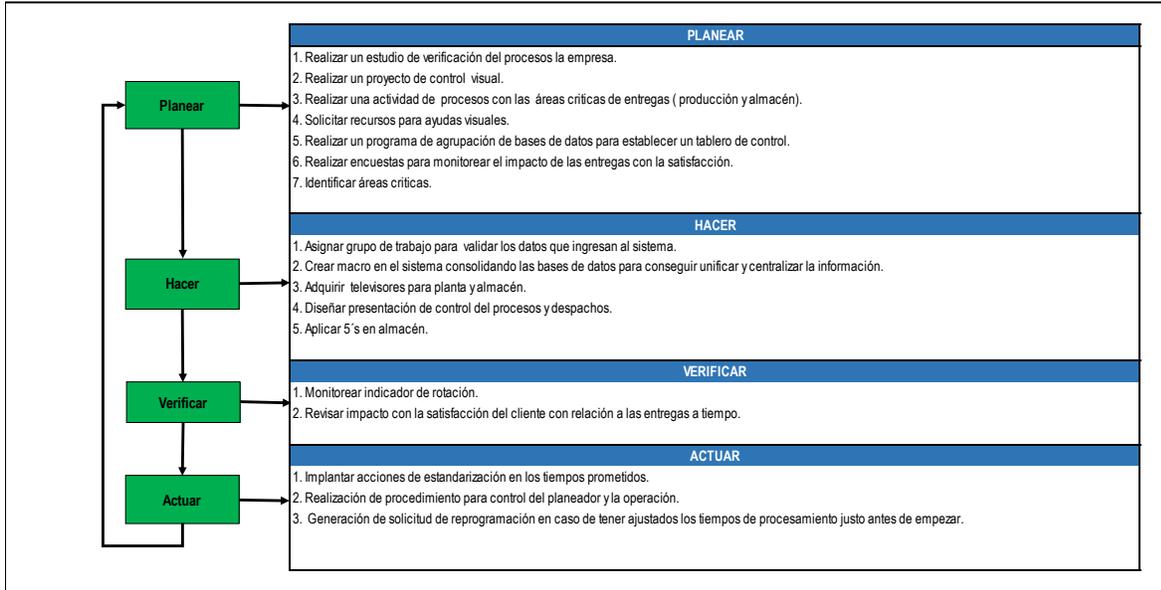
ANEXO B PHVA Inventario



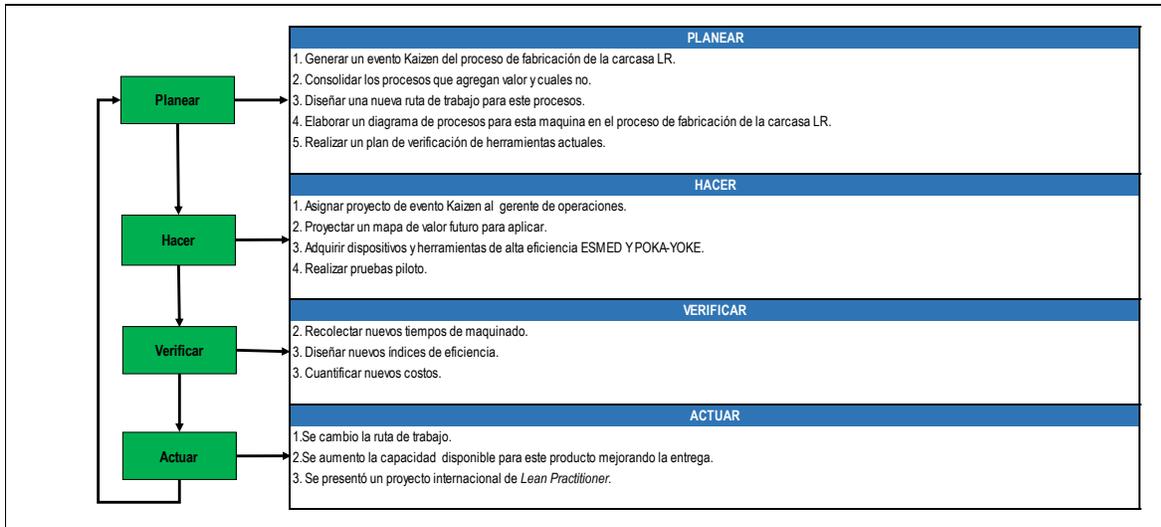
ANEXO C PHVA Transporte Innecesario



ANEXO D PHVA Espera



ANEXO E PHVA Movimientos Innesarios



ANEXO F PHVA Artículos defectuosos

