

DECANATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
FORMATO DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO

Fecha de entrega: 7 de Octubre de 2019

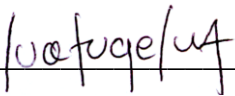
Estudiante: María Catalina Correal Avilán

Director: Ivonne Angélica Castiblanco Jiménez

Codirector:

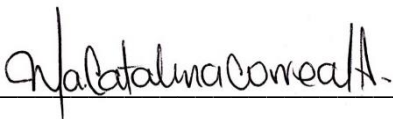
El presente documento avala la entrega del trabajo de grado por parte del director y codirector.

Documentos anexos Copia digital del Trabajo de Grado (1)



Firma Director

Firma Codirector



Firma Estudiante

Reducción del tiempo de abastecimiento del inventario, por medio de la integración de herramientas Lean en una planta de mantenimiento.

Caso de estudio: empresa sector hidrocarburos

María Catalina Correal Avilán

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Decanatura de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2019**

Reducción del tiempo de abastecimiento del inventario, por medio de la integración de herramientas Lean en una planta de mantenimiento.

Caso de estudio: empresa sector hidrocarburos

María Catalina Correal Avilán

Trabajo de grado para optar al título de
Magíster en Ingeniería Industrial

Director
Ivonne Angélica Castiblanco Jiménez
Magister Automatización Industrial

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Decanatura de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2019**

© Únicamente se puede usar el contenido de las publicaciones para propósitos de información. No se debe copiar, enviar, recortar, transmitir o redistribuir este material para propósitos comerciales sin la autorización de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Cuando se use el material de la Escuela se debe incluir la siguiente nota “Derechos reservados a Escuela Colombiana de Ingeniería” en cualquier copia en un lugar visible. Y el material no se debe notificar sin el permiso de la Escuela.

Publicado en 2013 por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Avenida 13 No 205-59 Bogotá, Colombia
TEL: +57 – 1 668 36 00

Reconocimiento o Agradecimientos

A Dios, mi esposo y familia que me apoyaron e impulsaron en este proceso de aprendizaje que requirió de mucha dedicación.

A mi directora, por ser el soporte y guía.

Resumen

El inventario es parte fundamental en las empresas, su adecuada gestión proporcionará exitosos resultados en las actividades siguientes. El proceso de abastecimiento de materiales da inicio al flujo continuo de la producción, al no contar con los insumos y equipos requeridos, empiezan los retrasos, incumplimientos, incrementos de costos e incluso problemas de calidad. Para esto, es imprescindible contar con procesos eficientes y transparentes durante la cadena de valor, proporcionando así un alto rendimiento y productividad, que finalmente se traducen en la rentabilidad de las empresas.

Es por esto que esta investigación parte de la problemática en el proceso de abastecimiento, enfocado en el aumento del tiempo de requisición del inventario y a su vez en los beneficios que Lean ha obtenido en la evolución de los procesos. De esta manera se buscará la integración de herramientas Lean para la generación de una herramienta guía que sirva para el desarrollo del proceso de requisición de insumos y materiales, con el fin de reducir los tiempos de pedido y tener todos los equipos y/o sensores listos para operar en una planta de mantenimiento, particularmente analizando el caso de estudio para una empresa del sector hidrocarburos, ubicada en Cota -Cundinamarca.

Esto se realizará a través de una revisión de la literatura a cerca de las herramientas Lean aplicadas a los procesos de abastecimiento y en plantas de mantenimiento, con el fin de extraer las herramientas Lean más eficientes en dichos procesos. El resultado final será un mapeo del proceso de mantenimiento y abastecimiento que permitirá visualizar la situación y problemática actual de los procesos internos, y a partir de esto integrar las herramientas Lean optimas al proceso de requisición con el fin de reducir el tiempo de abastecimiento, para posteriormente generar una guía que estandarice el proceso de pedido de materiales e insumos en la planta de mantenimiento, evaluando los beneficios para la empresa.

Abstract

Inventory is a fundamental part of companies; their proper management will provide successful results in the following activities. The process of supply of materials starts the continuous flow of production, not having the inputs and equipment required, delays, defaults, cost increases and even quality problems begin. For this, it is essential to have efficient and transparent processes during the value chain, thus providing high performance and productivity, which ultimately translate into the profitability of companies.

This is why this research starts from the problematic in the supply process, focused on the increase of the time of requisition of the inventory and in turn on the benefits that Lean has obtained in the evolution of the processes. In this way, the integration of Lean tools will be sought for the generation of a guiding tool that will serve for the development of the requisition process of materials and supplies, in order to reduce order times and have all equipment and / or sensors ready. To operate in a maintenance plant, particularly analyzing the case study for a company in the hydrocarbons sector, located in Cota -Cundinamarca.

This will be done through a review of the literature about Lean tools applied to supply processes and maintenance plants, in order to extract the most efficient Lean tools in these processes. The final result will be a mapping of the maintenance and supply process that will allow visualizing the current situation and problems of the internal processes, and from this integrate the optimal Lean tools to the requisition process in order to reduce the supply time, for later generate a guide that standardizes the process of ordering materials and supplies in the maintenance plant, evaluating the benefits for the company.

Tabla de contenido

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABLAS.....	12
LISTA DE GRAFICAS.....	13
1 INTRODUCCIÓN	14
1.1 PROBLEMÁTICA (JUSTIFICACIÓN) Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.2 OBJETIVOS Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	17
1.3 ALCANCE Y LIMITACIONES	18
1.4 METODOLOGÍA	19
1.5 DESCRIPCIÓN.....	21
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	23
2.1 PRINCIPIOS LEAN, EL ENFOQUE EN EL CLIENTE	23
2.2 HERRAMIENTAS LEAN, COMO SOPORTE PARA LA GESTIÓN EMPRESARIAL	25
2.3 APLICACIONES DE LEAN EN PROCESOS, REVISIÓN DE LA LITERATURA	28
2.4 SELECCIÓN PRELIMINAR DE HERRAMIENTAS LEAN AL PROCESO DE ABASTECIMIENTO	33
3 CASO DE ESTUDIO: EMPRESA SECTOR HIDROCARBUROS	35
3.1 A CERCA DE LA EMPRESA EN ESTUDIO	35
3.2 MAPEO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE ABASTECIMIENTO	38
3.3 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DEL PROBLEMA DE ABASTECIMIENTO.....	48
3.4 INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN A LOS PROCESOS DE INSPECCIÓN Y ABASTECIMIENTO DE LA PLANTA	54
3.4.1 <i>Proceso de requisición y mantenimiento ineficiente</i>	55
3.4.2 <i>Falta de información entre áreas</i>	73
3.5 DISEÑO Y GENERACIÓN DE LA HERRAMIENTA GUÍA	76
3.5.1 <i>Estructura de la herramienta guía</i>	77
3.5.2 <i>Esquema general herramienta guía</i>	85
3.6 EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	86
3.6.1 <i>Evaluación de la herramienta guía</i>	86
3.6.2 <i>Evaluación de los KPI principales de la investigación</i>	87
3.6.3 <i>VSM del estado futuro</i>	89
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA.....	97

Lista de figuras

Figura 1-1	17
Figura 1-2.	18
Figura 1-3	22
Figura 2-1.....	23
Figura 2-2.	25
Figura 2-3.	26
Figura 3-1.	39
Figura 3-2	43
Figura 3-3	47
Figura 3-4	49
Figura 3-5	52
Figura 3-6.....	55
Figura 3-7.	56
Figura 3-8	57
Figura 3-9.	57
Figura 3-10.	58
Figura 3-11.	59
Figura 3-12.	59
Figura 3-13.	60
Figura 3-14.....	61
Figura 3-15.	62
Figura 3-16.	64
Figura 3-17.	65
Figura 3-18.	67
Figura 3-19.....	67
Figura 3-20.	68
Figura 3-21.	69
Figura 3-22.	71
Figura 3-23.....	72
Figura 3-24.	73
Figura 3-25.	74

Figura 3-26. 74
Figura 3-27. 75
Figura 3-28. 75
Figura 3-29. 79
Figura 3-30. 81
Figura 3-31. 82
Figura 3-32. 88
Figura 3-33. 91

Lista de Tablas

Tabla1-1.	21
Tabla1-2.	22
Tabla 2-1.	31
Tabla 2-2.	33
Tabla 3-1.	37
Tabla 3-2.	39
Tabla 3-3.	41
Tabla 3-4.	48
Tabla. 3-5.	51
Tabla. 3-6.....	53
Tabla 3-7.	56
Tabla 3-8.....	61
Tabla 3-9.....	63
Tabla 3-10..	64
Tabla 3-11.....	65
Tabla 3-12..	70
Tabla 3-13..	78
Tabla 3-14.	82
Tabla 3.15.	83
Tabla 3-16	84
Tabla 3.17.	84
Tabla 3.18.	85
Tabla 3-19.	86
Tabla 3-20.	87

Lista de Graficas

Grafica 2-1. 32
Grafica 2-232
Grafica 3-1. 35
Grafica 3-2. 37
Grafica 3-3. 38
Grafica 3-4..... 52
Grafica 3-5..... 53
Grafica 3-6. 63
Grafica 3-7. 88
Grafica 3-8 89

1 Introducción

Uno de los retos más comunes en las empresas es el balance adecuado del abastecimiento de los materiales e insumos, el nivel del stock del inventario no debe ser tan alto, para que no genere sobrecostos y lucros cesantes, pero tampoco puede ser muy bajo ya que la falta del mismo ocasionaría inconformidades del cliente al no tener los productos o servicios a tiempo.

Así mismo, las organizaciones buscan ser competitivas en el mercado en el que participan, para esto, elevar la calidad de sus productos a los clientes, reducir costos y mejorar los procesos en todos sus departamentos, les permitirá obtener una mayor efectividad y funcionamiento, así como buenos ingresos. La planificación y gestión adecuada del inventario es uno de los procesos que requiere mucha atención ya que tienen un impacto en la productividad de toda empresa, al establecer controles en los procesos de abastecimiento, se podrán minimizar los errores y desperdicios (Sánchez, Ramírez, 2018).

Adicionalmente, las empresas están buscando oportunidades de crecimiento y desarrollo, para ello es indispensable contar con procesos internos eficientes, personal capacitado, maquinaria y facilidades en óptimas condiciones, que puedan adaptarse al cambio y al crecimiento. Los controles, procesos o métodos obsoletos, ocasionan retrasos, pérdida de tiempo, desperdicios, incumplimiento con el cliente y por lo tanto pérdidas financieras (Martínez, 2015).

Por lo anterior, los procesos eficientes son el punto de partida para el éxito de las organizaciones. Y el proceso de abastecimiento no se queda atrás, este es de vital importancia para las empresas, a partir de su correcta administración y control, la producción podrá tener un mejor desempeño al contar con los insumos y repuestos requeridos a tiempo. Por lo que es trascendental que dicho proceso sea evaluado, controlado y mejorado por medio de las herramientas Lean, quienes, mediante el análisis y mapeo permitirán encontrar desperdicios o actividades que no generan valor para el cliente durante el flujo de la cadena de valor de las compañías.

Para esta investigación, el caso de estudio es una empresa del sector hidrocarburos, quien busca ser altamente competitiva, manteniendo un alto estándar de calidad en sus servicios ofrecidos, por lo que requiere una reducción del tiempo de abastecimiento del inventario, para poder cumplir con las exigencias del cliente.

1.1 Problemática (Justificación) y pregunta de investigación

La administración de la cadena de abastecimiento, abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes o inventario, desde la etapa de la materia prima hasta el usuario final (Fajardo, 2019). Este proceso, es uno de los eslabones más importantes en el flujo de la producción, cualquier retraso o pérdida de tiempo, afectará la entrega del producto final al cliente, y por ende, incumplimientos por parte de la empresa.

De acuerdo con Ferenčíková, 2014, existen diversos tipos de problemas derivados de las exigencias de los clientes, tales como entregas más eficientes, innovación del producto, demandas impredecibles y por lo tanto incertidumbre en la planeación y posibles retrasos en las órdenes de compra de insumos. Dichas problemáticas podrían estar asociadas a fallas en la comunicación entre departamentos, ausencia de normas y procedimientos unificados, ausencia de una sistema de gestión de inventarios, o falta de clasificación de productos e insumos dentro de la producción.

Otro punto a considerar en el proceso de abastecimiento, es el *Lead Time* o tiempo de entrega o espera del material requerido, que según Manene (2012), es el “tiempo que transcurre entre la detección de la necesidad de efectuar un pedido por lo que se lanza una orden de compra hasta que esta se recibe en su totalidad en el almacén, instante en que el material correspondiente está a punto para su consumo o uso”. Si en el flujo del inventario algún eslabón se quiebra o retrasa, dicho Lead Time aumenta atrasando todas las actividades posteriores, y a su vez, la producción de la empresa, y por ende incumplimientos con el cliente.

Por otro lado, las organizaciones actualmente se encuentran en la búsqueda de mejorar su desempeño, por lo que están obligadas a realizar mejoras continuas en sus procesos internos que generen resultados positivos y beneficios (Beltrán & Soto, 2017) y una manera de lograrlo, es la integración de herramientas Lean a dichos procesos. Lean definido como una metodología que simplifica los procesos eliminando los desperdicios, mejora la productividad y reduce los costos (Castiblanco, 2018). Lean permite que las compañías ofrezcan diversidad de bienes al menor costo con altos niveles de productividad, rapidez en entrega, niveles mínimos de stock y óptima calidad (Arango, 2017).

Entendiendo las problemáticas en los procesos de abastecimiento en las empresas y los beneficios que Lean ha obtenido en la evolución de los procesos, ésta investigación se enfoca en la reducción del tiempo de abastecimiento del inventario por medio de la integración de herramientas Lean al proceso de requisición del inventario, con el objetivo de generar una herramienta guía que permita desarrollar

dicho proceso eficientemente y sin retrasos, ni desperdicios. Esto se realizará a partir de una revisión de la literatura, a cerca de la aplicación de herramientas Lean en los procesos de abastecimiento, y se propondrá la integración de dichas herramientas con el fin de reducir el tiempo de requisición de materiales para la planta de una empresa del sector de hidrocarburos, ubicada en el Cota – Cundinamarca. Por motivos de confidencialidad no se menciona el nombre de la empresa, sin embargo, la información y datos requeridos para esta investigación, serán extraídos de sus bases de datos.

La línea de producción de la planta, ha presentado un aumento de la operación de perforación de pozos en los últimos dos años, después de la crisis del petróleo durante el 2015-2016, lo que ha provocado un incremento de la capacidad de sus facilidades, equipos y personal. Y, bajo el principio económico que toda demanda genera su propia oferta (Olivera et Al, 2011), la compañía responde a las necesidades y a la demanda del sector petrolero en la etapa de perforación direccional de pozos. Debido a esto, en la planta, el mantenimiento de sensores aumentó un 30% para el 2017 y un 50% para el 2018, lo que desencadenó pérdidas de tiempo en la producción y demoras en la entrega de sensores al cliente, ya que no se cuenta con un proceso de requisición de materiales de inventario eficiente que permitiera tener el máximo de equipos listos para operar.

La empresa se encuentra en un mercado muy variable, y por lo tanto, las necesidades y requerimientos del cliente también lo son. Esto produce más exigencias a cumplir, por un lado mejorar los tiempos de entrega y por otro, incrementar la calidad del servicio, por lo que la necesidad de tener procesos eficientes que no generen retrasos en el flujo de mantenimiento y abastecimiento de los equipos en la planta y su posterior despacho hacia el cliente, se hace imprescindible. Por lo tanto, la justificación de la problemática, radica en necesidad de reducir el tiempo de abastecimiento de insumos de la planta, con el fin de mejorar el desempeño del taller y por lo tanto la respuesta al cliente. Así mismo, esta investigación tiene un valor significativo en la entrega oportuna y eficiente del servicio al cliente, aumentando así, el desempeño de la planta y la competitividad de la empresa.

Para evaluar la pertinencia de la investigación, se medirán los beneficios por medio dos KPI (Key Performance Indicator), el primero y principal, que es reducir el tiempo de abastecimiento actual de materiales de inventario, y el segundo que es disminuir la cantidad de equipos y/o sensores que están en mantenimiento a la espera de repuestos e insumos. En la figura 3, se observa el impacto de los KPI a evaluar en el servicio al cliente, una vez se hayan integrado las herramientas Lean apropiadas al proceso de requisición, se espera observar una reducción del tiempo de abastecimiento y una reducción en la cantidad de sensores esperando materiales, por

lo tanto un aumento del desempeño de la producción de equipos o desempeño, lo que producirá una mejora en el servicio al cliente.

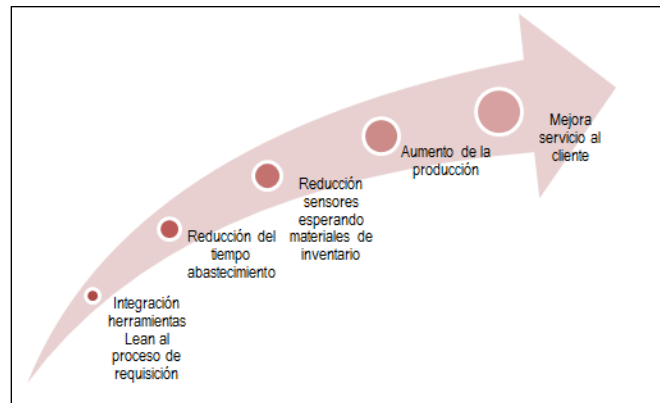


Figura 1-1 Diagrama impacto KPI en el cliente. Fuente propia

Pregunta de investigación

A partir de la problemática descrita anteriormente, la pregunta de investigación que surge es, ¿Cómo a partir de la integración de herramientas Lean, es posible reducir el tiempo de abastecimiento del inventario, en una planta de mantenimiento del sector de hidrocarburos?

1.2 Objetivos y Pregunta de Investigación

Objetivo General:

Reducir el tiempo de abastecimiento del inventario, por medio de la integración de herramientas lean al proceso de requisición de materiales e insumos de los sensores de una planta de mantenimiento de una empresa del sector de hidrocarburos.

Objetivos específicos:

1. Seleccionar herramientas de Lean que se acoplen mejor al problema del abastecimiento, a partir de la revisión de la literatura.
2. Realizar el análisis y mapeo del proceso de abastecimiento para la planta de una empresa del sector de hidrocarburos
3. Analizar e integrar las herramientas lean adecuadas para solucionar los problemas identificados en el punto anterior.
4. Crear una herramienta guía para el proceso de requisición, que facilite a los técnicos de la planta realizar el pedido de materiales a tiempo.

1.3 Alcance y Limitaciones

La presente investigación es un caso de estudio de una planta de mantenimiento de una empresa del sector petrolero, en el que el enfoque es el problema del largo tiempo de abastecimiento de los insumos y materiales requeridos para el mantenimiento y reparación de sensores electrónicos.

Esta empresa cuenta con un departamento de Supply Chain globalmente, quien se encarga del abastecimiento para todas sus líneas de servicio, esta se encarga de la manufactura, compra y logística de todos los materiales e insumos que se requieren para el mantenimiento de los equipos y/o sensores. Para esta investigación el enfoque será la línea de perforación, el cual cuenta con 3 plantas de fabricación de materiales situadas en Houston, Singapur y Canadá. En la figura 1-2, se observa el flujo del abastecimiento del inventario en la compañía, el proceso inicia con “el requerimiento o necesidad” en la línea de perforación - y una vez se ha realizado el proceso de requisición, se envía la solicitud al departamento de Supply Chain para que se procese la compra, se manufacture y se envíe a Colombia. Posteriormente, se realiza su almacenamiento, para luego ser utilizado en la planta para el mantenimiento de los sensores de la línea de perforación.



Figura 1-2. Flujo de la cadena de abastecimiento y línea de perforación. Fuente página empresarial, elaboración propia

Para esta investigación, se realizará el mapeo del flujo de la cadena de abastecimiento mostrado en la figura 1-2, para posteriormente enfocarse en el proceso de requisición del inventario, quien es desarrollado por la línea de perforación, en la planta de mantenimiento en conjunto con el planeador de demanda. Supply Chain es una línea de soporte, no es el “foco” del proceso de abastecimiento, las cantidades, frecuencia, medio de envío y programación de pedidos del inventario son realizados por la línea de perforación, por eso el enfoque de esta investigación está centrado en el proceso de requisición realizado en la planta, con el fin de mejorar la planeación y eliminar desperdicios que afectan directamente el proceso de abastecimiento.

Por lo tanto, el alcance de la investigación es mejorar la eficiencia de la planta por medio de la integración de las herramientas Lean a los procesos de mantenimiento y requisición del inventario, que corresponden a la etapa 1 y 6, mostrada en la figura 1-2, el cual permitirá reducir el tiempo de abastecimiento y la cantidad de sensores esperando mantenimiento.

1.4 Metodología

Esta investigación inicia con una revisión de la literatura, con el fin de analizar las herramientas Lean, que se han utilizado en los procesos de la cadena de abastecimiento, recopilando información sobre las posibles soluciones para mejorar los procesos de suministro en las plantas de producción. Por lo que la información para el desarrollo de esta etapa es el producto de las fuentes como los libros y artículos, explorados en las diferentes bases de datos, tales como Scopus, ScienceDirect, Scielo, Springs, etc.

Adicionalmente, se realiza un caso de estudio en una compañía de servicios petroleros, en la que se mapea del proceso de abastecimiento y mantenimiento, con el fin de resaltar las actividades que no generen valor y los tiempos de proceso, y finalmente elaborar una herramienta guía que sirva para mejorar el proceso de requisición de inventario a partir de herramientas Lean. Para esta etapa, la fuente principal de información son las bases de datos de la empresa en estudio y la experiencia del personal de la planta.

Según Bernal (2016), un diseño metodológico en una investigación contiene primero los instrumentos o técnicas para la recolección de la información, que se refiere a los medios usados para obtener los datos requeridos, tales como encuestas, entrevistas, análisis de contenido, inventarios, análisis de bases de datos etc. Y segundo el procesamiento de los datos por medio de herramientas como Excel. Por lo que a continuación se expone detalladamente la metodología a seguir.

Etapa I – Selección de herramientas Lean al proceso de abastecimiento

En esta etapa se hará la selección de las herramientas más aplicables al proceso de abastecimiento en la planta de mantenimiento, basado en la revisión de la literatura previa, de donde se extraerán las herramientas Lean que han tenido resultados óptimos en los procesos de abastecimiento. Así mismo se profundizará en literatura especializada con el fin de obtener detalles útiles en la aplicabilidad de las herramientas seleccionadas.

Etapa II – Mapeo del proceso de abastecimiento

En esta etapa se realizará el análisis del flujo de abastecimiento, para la planta del sector de hidrocarburos. Por medio de entrevistas al personal del taller y la exploración de las bases de datos de la empresa, se mapeará el proceso con el fin de resaltar las actividades que no generen valor, sus tiempos de duración, así como los desperdicios. Finalmente se analizará la causa raíz del problema del incremento del tiempo de abastecimiento, por medio de herramientas como el Ishikawa y 5W.

Etapa III – Integración herramientas Lean

En esta etapa se integrarán las herramientas Lean seleccionadas al proceso de abastecimiento, asociando los hallazgos encontrados en la revisión de la literatura a la causa raíz del problema de abastecimiento, y así poder dar solución.

Etapa IV – Creación herramienta guía

Finalmente se diseñará y generará una herramienta guía para estandarizar el proceso de requisición que facilite a los técnicos de la planta de mantenimiento realizar el pedido de materiales e insumos a tiempo. Incluyendo las etapas que se deben seguir para realizar el proceso de abastecimiento eficientemente, mejorando el desempeño de la planta.

A continuación, en la siguiente tabla se relacionan los objetivos con el desarrollo de actividades y resultados esperados.

Objetivos	Desarrollo	Resultados
I. Seleccionar preliminarmente herramientas de Lean que se acoplen mejor al problema del abastecimiento, a partir de la revisión de la literatura.	Selección las herramientas más aplicables a la planta.	Obtener las herramientas con mejor aplicabilidad en el estudio de la empresa.
	A través de literatura especializada de Lean profundizar en las herramientas que puedan ser apropiadas en el proceso de abastecimiento.	Obtener información que soporte la selección de herramientas Lean.
II. Realizar el análisis y mapeo del proceso de abastecimiento para la planta de una empresa del sector de hidrocarburos	Realizar entrevistas al personal del taller sobre el proceso de abastecimiento y así mapearlo.	Obtener un mapa del proceso de requisición de inventario, resaltando actividades que no generan valor, desperdicios y tiempos de cada actividad.
	Revisión de las bases de datos y sistema SAP de la empresa, para analizar proceso de requisición. Graficar hallazgos.	Analizar la causa del problema del incremento del tiempo de abastecimiento.
III. Analizar e integrar las herramientas lean adecuadas para solucionar los problemas identificados en el punto anterior.	Asociar los hallazgos y aplicabilidad de las herramientas Lean seleccionadas. Gráficamente mostrar el proceso de requisición de materiales e insumos en la planta.	Encontrar soluciones mediante las herramientas Lean seleccionadas.
IV. Crear una herramienta guía para el proceso de requisición, que facilite a los técnicos de la planta realizar el pedido de materiales a tiempo.	Diseño de una herramienta guía que incluya gráficos, rápida visualización y entendimiento por parte del personal de la planta	Herramienta guía, que incluya las etapas que se deben seguir para realizar el proceso de requisición de materiales eficientemente, mejorando el desempeño de la planta.

Tabla1-1. Desarrollo y resultados esperados de la investigación. Elaboración propia.

1.5 Descripción

El caso de estudio se desarrollará en una empresa estadounidense de servicios en yacimientos petroleros, que tiene sedes en más de 80 países alrededor del mundo, y cuenta con 13 líneas de producción. Esta investigación se enfocará en la línea de perforación, el cual presta el servicio de perforación direccional de pozos, ubicada en la planta de mantenimiento ubicada en Cota-Cundinamarca.

En dicha planta, se realiza el mantenimiento a 9 tipos de sensores, los cuales requieren diferentes tipos de insumos y materiales que son suministrados por las manufacturas mencionadas anteriormente. El proceso de requisición consta de la revisión periódica de los sensores con el fin de establecer sus necesidades para poderlos tener en condiciones operativas para poder trabajar. En la siguiente tabla se listan los diferentes tipos de sensores, sus materiales de inventario requeridos y su manufactura.

Sensor y/o Equipo	Materiales Requeridos	MFG
Presión	Tarjetas electrónicas procesamiento, transductor presión	Houston
Resistividad inductiva	Tarjetas electrónicas procesamiento, antenas transmisión	Singapur
Resistividad lateral	Tarjetas electrónicas procesamiento, toroides de transmisión	Houston
Radiación Gamma	Tubos de gamma, tarjetas electrónicas procesamiento	Houston
Inclinación	Inclinómetros, magnetómetros, conectores eléctricos	Singapur
Porosidad	Tarjetas procesamiento, baterías, sensor H3	Houston
Densidad	Tarjetas procesamiento, baterías, sensor detector	Houston
Porosidad acústica	Transductor acústico, tarjetas procesamiento	Canadá
Presión de formación	Pistón, cámara aceite, transductor presión	Canadá

Tabla1-2. Descripción de materiales para cada sensor y su manufactura. Elaboración propia

Por lo que esta investigación se concentrará en mejorar el proceso de requisición, quien es parte del flujo de abastecimiento de materiales requeridos en la planta de mantenimiento, y así integrar las herramientas Lean con el fin de reducir el tiempo de suministro, logrando tener los sensores listos para operar a tiempo.

La empresa en estudio, se encuentra dentro de las 1000 empresas más grandes del país según la revista semana, ubicándose en la posición 195 durante el 2018, colocando al sector petrolero como gran impulsor de los resultados empresariales. Por lo esta investigación toma aún más valor, ya que su sector impacta positivamente la economía de Colombia.

POSICIÓN 2018	EMPRESA	INGRESOS OP. 2018 (EN MM\$)	VAR %	UTILIDAD OP. 2018 (EN MM\$)	VAR %	UTILIDAD NETA FINAL 2018 (EN MM\$)	VAR %	PATRIMONIO 2018 (EN MM\$)	VAR %	REGIÓN	SECTOR	POSICIÓN SECTOR	POSICIÓN REGIÓN
▲ ▼	▲	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼	▲ ▼
195	HALLIBURTON	790.336	38,8	28.225	199,9	-3.542	92,0	553.414	38,4	BOGOTÁ	PETRÓLEO Y GAS	740	271

Figura 1-3 Ranking de las 1000 empresas más grandes de Colombia. Revista Semana, 2018

2 Fundamentación Teórica

2.1 Principios Lean, el enfoque en el cliente

Las empresas están buscando oportunidades de crecimiento y desarrollo, para ello es indispensable contar con procesos internos eficientes, personal capacitado, maquinaria y facilidades en óptimas condiciones, que puedan adaptarse al cambio y al crecimiento. Los controles, procesos o métodos obsoletos, ocasionan retrasos, pérdida de tiempo, desperdicios, incumplimiento con el cliente y por lo tanto pérdidas financieras (Martínez, 2015). Y para lograr dicha eficiencia Lean ha tenido una alta influencia, Lean se ha enfocado en *el Valor, Flujo del Valor, el Flujo, Pull o Atracción y la Perfección*, dentro de los procesos de las compañías, con el fin de enfocar los esfuerzos del personal en el “core” del negocio, como la producción, dejando de lado actividades que no generan valor para el cliente.

Ahora para reconocer el enfoque de Lean, es preciso esquematizar el ciclo, tal como se muestra en la figura 2-1., con el fin de entender la manera como trabaja Lean dentro de las organizaciones.

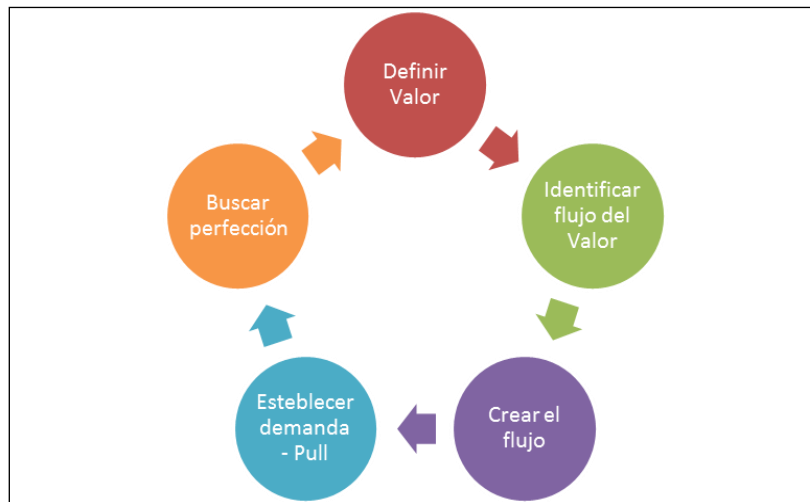


Figura 2-1. Ciclo Lean. Elaboración propia. Fuente Womack y Jones (2003).

Según Womack y Jones (2003), cada etapa tiene las siguientes características:

- Definir Valor: es el punto de partida para el pensamiento Lean, solo puede ser definido por el consumidor final al satisfacer sus necesidades, y lo más importante es creado por el productor, quien lo materializa a través de productos específicos, con capacidades específicas ofrecidos a precios

específicos mediante un dialogo con los clientes. Cada empresa debe precisar que significa valor para ellos, y encaminar sus esfuerzos hacia ello.

- Identificar el Flujo del Valor: es el conjunto de todas las acciones requeridas para pasar un producto o servicio, por las 3 tareas de gestión críticas de cualquier empresa:
 - Solución de problemas: es el diseño de la solución.
 - Gestión de la información: Recepción de pedidos y programación.
 - Transformación física: modificación de la materia prima en producto o servicio final.
- Creación del Flujo: una vez definido el valor y su flujo, es hora de que las actividades y procesos “fluyan continuamente”, sin tropiezos, ni perdidas de tiempos que demoren la entrega final al cliente.
- Establecer demanda - Pull: es decir dejar que los productos o servicios sean “atraídos” o generados por el cliente, de acuerdo con sus necesidades.
- Buscar la Perfección: una vez establecidos los 4 puntos anteriores, el desempeño de las empresas es cada vez mejor, llevando consigo el acercamiento a la perfección, y por ende a la entrega eficiente de productos y servicios al cliente.

La combinación anterior y el establecimiento de estos principios dentro de las organizaciones proporcionarán un antídoto potente contra los llamados “Mudas” o desperdicios ocasionados durante la cadena de valor. Según Dennis (2007), Muda es lo opuesto de valor, éste definido como lo que el cliente está dispuesto a pagar, y describe que hay 8 diferentes tipos de Muda, y que la tasa de Valor / Muda corresponde a un 5/95, que representa que el 5% del total de las actividades tienen un valor agregado para el cliente, y el 95% restante son desperdicio o Muda, tal como se muestra en la Figura 2-2. Lo que indica que del tiempo total de las actividades, 5% son realmente útiles. Lo que representa una oportunidad para mejorar los procesos existentes en las empresas.

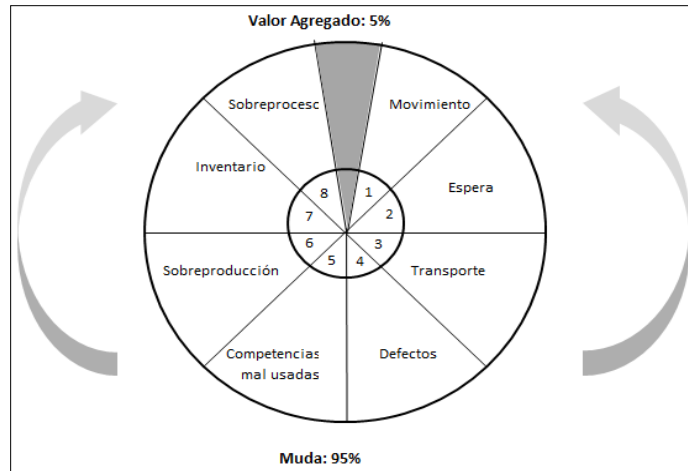


Figura 2-2. Representación Muda. Fuente: Lean Production Simplified, Dennis (2009)

Para combatir los mudas, es necesario buscar la mejora continua, y para ello la transparencia en los procesos es fundamental, haciendo participe a todo el personal involucrado en dicho proceso, dando visibilidad total, de tal manera que sea más fácil descubrir mejores metodologías para la creación de valor. Además, aquella metodología creará un feedback prácticamente instantáneo y altamente positivo para los empleados que hacen mejoras, un rasgo clave del trabajo lean y un estímulo poderoso para seguir haciendo esfuerzos por mejorar (Womack y Jones, 2003).

Por lo anterior, una empresa *Lean* puede llegar a conseguir los resultados esperados en menor tiempo, que una que no lo sea. El Valor y del Flujo son principios fundamentales a la hora de entregar satisfactoriamente los servicios y/o productos al cliente. Al no reconocer las necesidades y requerimientos del consumidor correctamente, y por ende, no saber por cuales actividades el cliente está dispuesto a pagar, se gastarán recursos innecesariamente y se incrementarán los desperdicios en la producción.

2.2 Herramientas Lean, como soporte para la gestión empresarial

Con el fin de lograr buenos ingresos siendo eficientes en la entrega del servicio o producto, se establecen ciertas herramientas que ayudan a alinear la producción con las necesidades y/o requerimientos del cliente. Tales herramientas se estructuraron en “La casa de la producción Lean”, en la que la base es la estabilidad y estandarización del trabajo, las columnas son la entrega a tiempo de partes o productos y la automatización con una mente humana, el techo, que es el objetivo o el enfoque en el cliente, entregando alta calidad a bajo costo en el menor tiempo posible, y por último, el corazón de la casa, involucramiento o participación, enfocado en contar con un

equipo flexible y motivado que continuamente está buscando la mejor manera de hacer las cosas. En la figura 2-3, se observa claramente los pilares y herramientas.

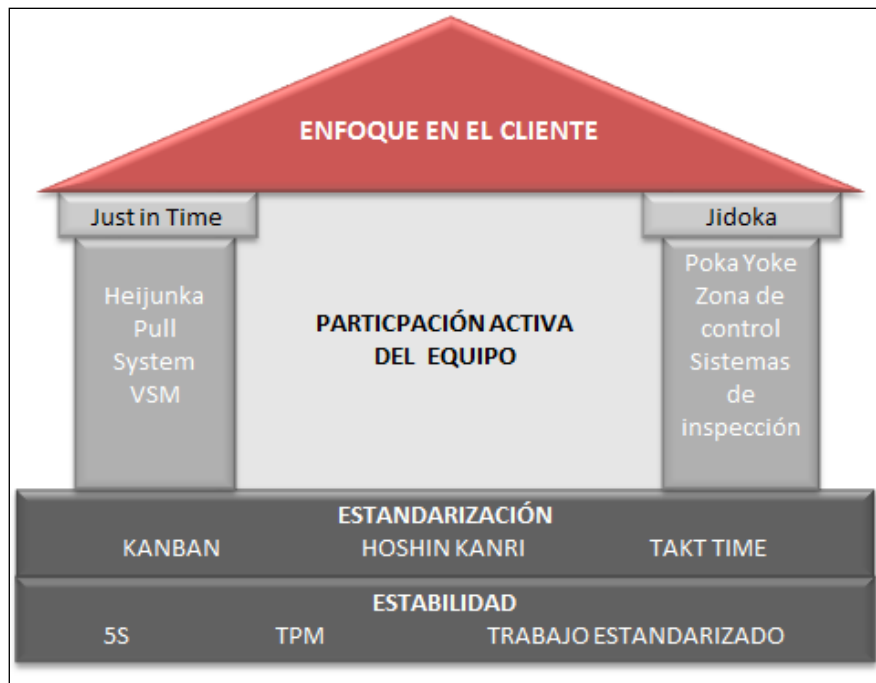


Figura 2-3. “The House of Lean Production”. Elaboración propia. Fuente Dennis 2009.

Según Dennis (2009), la estructura de la casa, tiene las siguientes características:

En la base de la casa, el primer pilar es la estabilidad, sin ella era imposible concebir la mejora en los procesos, y para ello, se requería estabilidad en las llamadas 4M, por sus nombres en inglés: Man, Machine, Material, Method. Para poder lograr un flujo constante en la producción, se requiere que no haya desconocimiento o ausencia del personal, averías en maquinaria, retardos por materiales inexistentes y carencia o poca eficacia en las metodologías. Y para ello, el sistema 5S y el TPM (Total productive Maintenance) son herramientas que soportarán la estandarización del trabajo.

El primero de ellos, el sistema 5S está diseñado para crear un ambiente de trabajo visual, es decir, es explicado, ordenado y mejorado por el mismo, cualquier anomalía que se observe en el sistema es posible detectarlo inmediatamente, corrigiéndolo fácilmente. Su objetivo es clasificar, ordenar, limpiar e inspeccionar, estandarizar y mantener, de esta manera las áreas de trabajo crearán un entorno óptimo de trabajo, al no desperdiciar tiempo buscando los implementos requeridos para la actividad a realizar. Y por el otro lado, el mantenimiento productivo total (TPM), es la clave para la estabilidad y eficacia de las máquinas, ya que consiste en establecer mantenimientos

preventivos y predictivos, con una participación activa del personal, por medio de mediciones de control de las maquinas. Esto proporcionará un mejor desempeño de las mismas, alargando su vida útil y evitando las paradas inexplicables de la producción a causa de las averías inesperadas de los equipos.

La segunda base de la casa, es la estandarización del trabajo, es la guía para hacer las cosas de manera segura, fácil y más eficiente de lo que habitualmente se conoce. Su propósito es proveer la base para el mejoramiento, enfocado en los movimientos del personal. La estandarización tiene 3 elementos, frecuencia de la demanda o *Takt Time*, secuencia de trabajo, y existencias en proceso, el cual una vez medidas podrán evidenciar la mejor manera para llevar a cabo los procesos, pudiéndose plasmar visualmente en tableros de producción cuyo alcance es facilitar la labor de la producción y por ende mejorar su desempeño. En esta etapa, las herramientas como *Kaizen* o mejora continua, y el *Hoshin Kanri* o planeación estratégica y táctica son las más utilizadas.

Una de las estructuras verticales de la casa de Lean está constituidas por *JIT Just in Time*, el cual consiste en producir el ítem correcto en el tiempo correcto en la cantidad correcta, según Imai (1997), una producción basada en JIT tiene el objetivo de eliminar las actividades de todo tipo que no agregan valor logrando un sistema flexible capaz de responder a las fluctuaciones de cliente. Esta herramienta está basada en el sistema *Pull*, que enlaza los procesos a la demanda del cliente por medio de la herramienta visual *Kanban* o sincronización y aprovisionamiento de insumos y *Heijunka* o producción por lote en un tiempo determinado.

Así mismo, aparece en esta columna, el *VSM Value Stream Mapping*, herramienta invaluable, que ayuda a comprender la situación o condición actual, ayudando a identificar oportunidades de mejora. Para Rother y Shook (2009), el VSM permite ver y entender el flujo del material y la información de cómo hace, un producto o servicio, su recorrido a través de la cadena de valor de la empresa, para ello se sigue detalladamente el camino de la producción desde cliente al proveedor, representándolo gráficamente, con el fin crear la imagen de situación actual y encaminándolo a plasmar cual sería el estado futuro.

La segunda estructura, *Jikoda*, definida como la automatización con mente humana, lo que implica tener empleados capacitados con máquinas que identifican errores, con el fin de conseguir “cero errores” en la producción. Para ello, herramientas como *Poka Yoka* o técnica visual a prueba de errores, sistemas de inspección y zonas de control para minimizar la posibilidad de fallos durante el flujo de la producción, son la base de la columna.

Finalmente, la participación activa del equipo de trabajo es el corazón de la casa de la producción Lean. El desarrollo de la capacidad de cada empleado, mejorará a largo plazo los propósitos creados, para esto es importante contar con supervisores, gerentes comprometidos, el cual juegan un papel muy importante en la sostenibilidad de la participación del personal, ya que a partir de ellos se impulsará la cultura de la mejora continua y las actividades razonables y motivadoras que permitirán tener procesos eficientes y libre de fallos.

Lean se ha enfocado en mejorar la manera como se hacen las cosas, implica un cambio de conceptos y cultura empresarial. Para facilitar su implementación, se diseñaron herramientas que proporcionan un desarrollo fácil y un objetivo específico de acuerdo a las necesidades, haciendo cumplir la premisa de “hacer más más con menos menos (Ohono, 1988)”.

2.3 Aplicaciones de Lean en procesos, revisión de la literatura

Se realizó una revisión de la literatura en diferentes bases de datos, con el fin de exponer los artículos que analizan las herramientas Lean integradas a procesos de abastecimiento y en plantas de producción de diferentes áreas, buscando optimizar recursos, y disminuir desperdicios. En la siguiente tabla se observan los autores junto con las herramientas utilizadas.

Autor	Año	Artículo	Herramientas Lean utilizadas
Bryan Gardner	2008	Lean Transformation in Supply Chain, the Autocatalytic Nature of Lean Principles, and Tactics for Implementing Lean Tools	VSM
Fawaz A. Abdulmalek, Jayant Rajgopal	2007	Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study	VSM, Cell manufacturing, 5S, TPM, Kanban, Pull and Push system
Herrera Peñata Anibal, Morales Angulo Gustavo	2007	Propuesta de mejora para el sistema de control de inventarios para la materia prima e insumos especial de la empresa Turbocaribe	Ciclo PHVA
G. Anand, Rambabu Kodali	2008	A conceptual framework for lean supply chain and its implementation	JIT, PULL System, VSM,
James C. Green; Jim Lee; Theodore A. Kozman	2009	Managing lean manufacturing in material handling operations	VSM, Cell layout, 5S, TPM, Kanban, Pull system
Bo Li	2009	Making a High-Mix Make-to-Order Production System Lean	Cell Layout, VSM

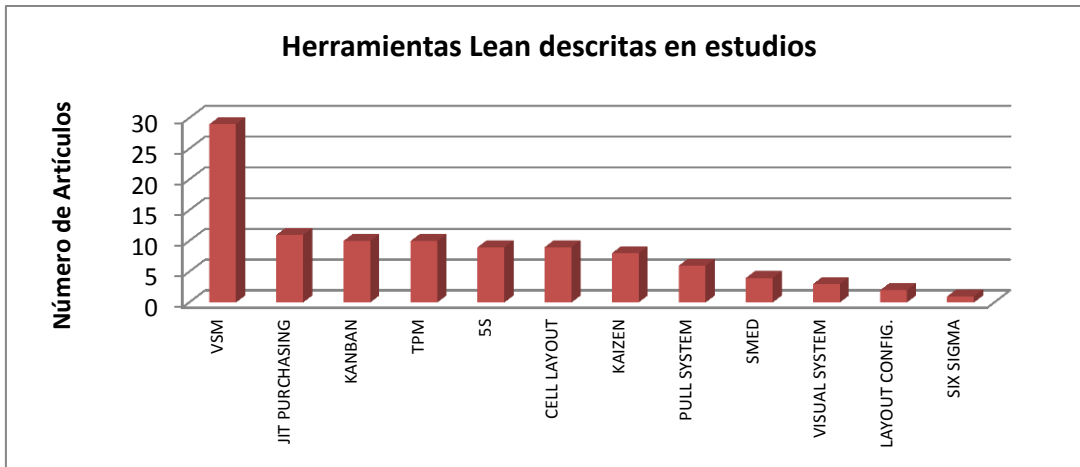
Ryan Douglas Taylor	2010	Exploring the Impact of Lean Design and Lean Supply Chain Management on an Organization's Innovation Capability	JIT, 5S, Kanban, VSM, NVAA
Shams Rahman, Tritos Laosirihongthong, Amrik S. Sohal	2010	Impact of Lean Strategy on Operational Performance: A Study of Thai Manufacturing Companies	JIT, Poka Yoke, Kanban,
Rohan Sakhardande	2011	Lean Manufacturing in the Oil and Gas Industry	Kanban, 5S, Poka Yoke, TPM, Kaizen, Cell Manufacturing, SMED, VSM, Standard Work
P. Kuhlant, T. Edtmayr, W. Sihn	2011	Methodical approach to increase productivity and reduce lead time in assembly and production-logistic processes	VSM, MTM
S. Vinodh, K. R. Arvind, M. Somanaathan	2011	Tools and techniques for enabling sustainability through lean initiatives	Kaizen, VSM, 5S
José Moyano-Fuentes, Macarena Sacristán-Díaz	2012	Learning on lean: A review of thinking and research	JIT, TPM, 5S, Visual Systems
Jan Olhager, Daniell.Prajogo	2012	The impact of manufacturing and supply chain improvement initiatives: A survey comparing make-to-order and make-to-stock firms	Kanban - Pull System, Layout set-up, Heijunka
Pedro José Martínez-Jurado, José Moyano-Fuentes	2014	Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review	VSM, Pulls System, JIT
J. A. Jiménez-García, S. Téllez-Vázquez, J. M. Medina-Flores, H. H. Rodríguez-Santoyo and J. Cuevas-Ortuño	2014	Materials Supply System Analysis Under Simulation Scenarios in a Lean Manufacturing Environment	Layout Cells, Pull System, SMED
Ioannis Belekoukias, Jose Arturo Garza-Reyes, and Vikas Kumar	2014	The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organizations	JIT, Kanban, VSM, TPM
KennethW.GreenJr, R.AnthonyInman, LauraM.Birou, WayneWhitten	2014	Total JIT and its impact on supply chain competency and organizational performance	Total JIT
Wenchi, S. and Wang, J. and Wang, X. and Chong, H.Y.	2015	An application of value stream mapping for Turnaround maintenance in oil and gas Industry: case study and lessons learned	VSM
José Luis Martínez-Flores, Ezequiel Arvizu-Barrón, Rodolfo Rodríguez-Méndez, Diana Sánchez-Partida,	2015	A case study: SMED & JIT methodologies to develop continuous flow of stamped parts into AC disconnect assembly line in Schneider Electric Tlaxcala plant	JIT, SMED, Kanban

Amir Azizia, Thulasi a/p Manoharanb	2015	Designing a Future Value Stream Mapping to Reduce Lead Time using SMED-A Case Study	VSM, SMED, Kaizen
Yoshua Hartono, Ririn Diar Astanti, The Jin Ai	2015	Enabler to successful implementation of lean supply chain in a book publisher	Kanban, Standarized process
Nurulzulaiha Sa'udah Suhadak, Norani Amit, Mohammad Nazri Ali	2015	Facility Layout for SME Food industry via Value Stream Mapping and Simulation	VSM
Praveen Saraswat, Deepak Kumar and Manoj Kumar Sain	2015	Reduction of work in process inventory and production lead time in a bearing industry using Value Stream Mapping Tool	VSM
Friedrich Morlock, Horst Meier	2015	Service Value Stream Mapping in Industrial Product-Service System Performance Management	PDCA, VSM
Sri Hartinia, Udisubakti Ciptomulyonob	2015	The relationship between lean and sustainable manufacturing on performance: literature review	VSM, 5S, Cell manufacturing, SMED, TPM.
Satish Tyagi, Alok Choudhary, Xianming Cai, Kai Yang	2015	Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process	VSM
Bong Keun Jeong, Tom E Yoon	2016	Improving it process management through Value Stream Mapping approach: a Case Study	VSM
Siri Adolpha; Patrick Kübler; Joachim Metternich; Eberhard Abele	2016	Overall commissioning effectiveness: systematic identification of value-added shares in material supply	TPM, Value added identification
Onyeizugbe Chinedu Uzochukwu and Ike Felix Ossai	2016	Lean Production: A Frontier for Improving Performance of Oil and Gas Companies in Nigeria	Cell production layout
Andrés Mauricio Paredes Rodríguez	2017	Aplicación de la herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio	VSM
C.J. Fourie & N.E. Umeh	2017	Application of Lean tools in the supply chain of maintenance environment	VSM, Gemba, 5S, Kaizen, Análisis causa raíz, FMEA, Waste Análisis
Barbara Resta, Stefano Dotti, Paolo Gaiardelli, Albachiara Boffelli.	2017	How Lean Manufacturing affects the creation of Sustainable Value: An Integrated Model	JIT, TQM, TPM
Andre Luís Helleno, Aroldo Jose Isaias de Moraes, Alexandre Tadeu Simon	2017	Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case studies in Brazilian industry	VSM, Kaizen

Tomcy Thomas, Steven R. Sherman, Rapinder S. Sawhney	2018	Application of lean manufacturing principles to improve a conceptual 238Pu supply process	VSM
Adwait Deshkar, Saily Kamle, Jayant Giri, Vivek Korde	2018	Design and evaluation of a Lean Manufacturing framework using Value Stream Mapping (VSM) for a plastic bag manufacturing unit.	VSM, Takt Time
Kanchan Das	2018	Integrating lean systems in the design of a sustainable supply chain model	VSM, JIT, PULL System, KAIZEN, TPM, 5S,
Daniel Enrique Sánchez Pineda, Natalia Ramírez Torres	2018	Inventory management model design in a strawberry crop, based on the model order for a single period and six sigma metrics.	Six Sigma
Harpreet Singh ¹ , Ankur Bahl, Anil Kumar, Guravtar Singh Mann	2018	Materials and Information Flow Analysis and Optimization of Manufacturing Processes in MSMEs by the Application of Value Stream Mapping (VSM) Technique	VSM
Jo W. Strandhagen, Logan R. Vallandingham, Erlend Alfnes, Jan Ola Strandhagen	2018	Operationalizing lean principles for lead time reduction in engineer-to-order (ETO) operations: A case Study	VSM
L. Avelar-Sosa ¹ , M. Mataveli & J.L. García-Alcaraz	2018	Structural model to assess the relationship of manufacturing practices to delivery time in Supply Chains	JIT, TPM, TQM
T. Munyai ¹ , O.A. Makinde, C. Mbohwa & B. Ramatsetse	2019	Simulation-aided Value Stream Mapping for productivity progression in a Steel Shaft Manufacturing environment	VSM, Takt Time, Layout configuration

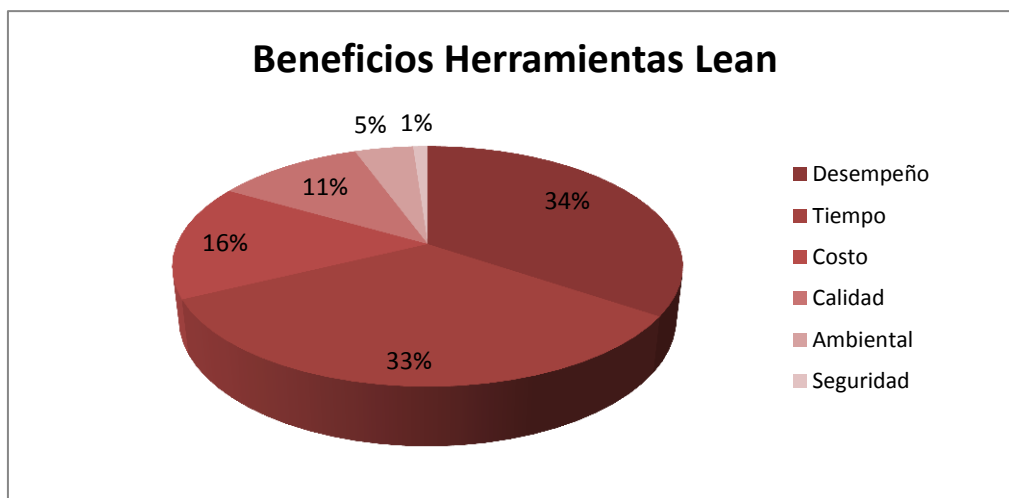
Tabla 2-1. Herramientas Lean más utilizadas en investigaciones relacionadas con procesos de producción y abastecimiento. Elaboración propia. Fuente bases de datos científicas.

En la revisión realizada se puede observar que VSM Value Stream Mapping es una de las herramientas Lean más utilizadas para crear flujo continuo en los procesos, proporcionando una imagen visual del estado actual y ofreciendo la posibilidad de crear un estado futuro que favorezca los beneficios de la empresa. Sigue la herramienta JIT Purchasing, el cual proporciona beneficios en la compra y planeación del inventario, reduciendo tiempos de abastecimiento. Posteriormente, se encuentra el Kanban, y TPM el cual ofrecen rapidez, estandarización, y eficiencia durante el desarrollo de la producción favoreciendo el desempeño de las empresas ante el cliente. En la gráfica 2-1 se puede observar las herramientas más destacadas en los artículos.



Gráfica 2-1. Representación gráfica de las herramientas descritas por los autores en los artículos seleccionados. Elaboración propia.

En cuanto a los beneficios arrojados por lo estudios, se destaca la mejora o eficiencia en el desempeño, seguido de la reducción del tiempo en proceso, estos dos puntos favorecen a las organizaciones, ya que pueden satisfacer las necesidades del cliente rápidamente, y sin tropiezos. Adicionalmente está el beneficio financiero a partir de la disminución de los costos y la mejora de la calidad el cual proporciona un posicionamiento en el mercado importante, y finalmente el impacto ambiental y de seguridad. Todo ello, proviene de la detección y eliminación de desperdicios de movilidad, esperas, transporte, sobre-producción, exceso o escases de inventario, sobre-proceso y fallos. En la siguiente grafica se puede observar el impacto de las herramientas Lean en las organizaciones, los dos más nombrados por los autores de los artículos son el desempeño y el tiempo en proceso, con un 34% y 33% respectivamente.



Grafica 2-2. Beneficios herramientas Lean en estudios. Elaboración propia.

2.4 Selección preliminar de herramientas Lean al proceso de abastecimiento

Basado en la revisión de la literatura especializada y de artículos sobre estudios al respecto, se escogen las siguientes herramientas, que por sus beneficios y características podrían acoplarse al proceso de abastecimiento y mantenimiento en estudio.

Herramienta Lean	Objetivo	Beneficios
Value Stream Mapping	Detección de actividades que no generan valor para cliente conociendo el flujo del proceso	<ul style="list-style-type: none"> * Reducción del tiempo en proceso. * Eficiencia en el desarrollo de actividades. * Personal enfocado en las actividades que generan valor.
Kanban	Comunicar las necesidades de la producción	<ul style="list-style-type: none"> * Manejo correcto del inventario * Incremento de calidad al contar con insumos requeridos para la producción
5S	Mejorar y mantener las condiciones de organización, orden y limpieza en el lugar de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> * Aumento en la calidad de la producción * Aumento seguridad en áreas de trabajo * Reducción de costos
Gestión Visual	Estandarización de políticas y procesos	<ul style="list-style-type: none"> * Control de calidad y producción * Aumento seguridad áreas de trabajo
Layout configuration	Asegurar un flujo ordenado y eficiente de la producción	<ul style="list-style-type: none"> * Aumento calidad de la producción * Reducción tiempo en proceso y costos

Tabla 2-2. Selección de herramientas que se pueden acoplar al tema en estudio.
Elaboración propia.

Hay otras herramientas que no se mencionaron en los artículos, pero pueden ser útiles en la reducción de mudas en la empresa son la estandarización, el Genchi Genbutsu o “ir a ver”, y la participación activa del equipo. Ya que son parte importante dentro de la casa de Lean y su implementación podría proporcionar mejores resultados.

Por lo investigado en la revisión de la literatura, se pueden observar la utilidad y beneficios de los diferentes tipos de herramientas Lean aplicados en plantas de producción y procesos de abastecimiento. Lo que da el soporte y guía para poder realizar la integración en los procesos de la etapa 1 y 6 mencionados en la gráfica 1.2.

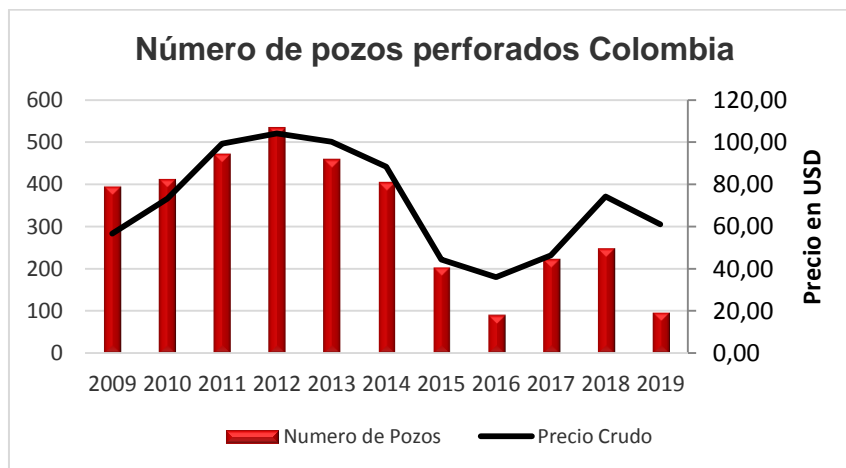
3 Caso de estudio: Empresa sector Hidrocarburos

3.1 A cerca de la empresa en estudio

La empresa en estudio pertenece al sector de hidrocarburos, cumplió recientemente 100 años en el mercado de prestación de servicios petroleros. Este sector es el encargado de proveer los productos, servicios y sistemas que permiten a las compañías del sector petrolero (privadas, públicas y mixtas) desarrollar las etapas de la cadena productiva, desde la exploración de reservas y construcción de pozos hasta la producción y distribución de petróleo y gas (Olivera et Al, 2011).

La multinacional prestadora de servicios tiene sede en 85 países alrededor del mundo con una fuerza laboral de 70.000 empleados, y en Colombia opera hace 65 años con 1300 empleados, ubicados en 5 bases ubicadas en Bogotá, Cota, Neiva, Villavicencio y Barrancabermeja. Adicionalmente, cuenta con 13 líneas de servicio, una de ellas es la de perforación direccional, línea de producción el cual será la base del estudio.

La actividad petrolera está ligada al precio del crudo, y por ende las operaciones en las empresas del sector. A continuación, se presenta el precio del crudo en los últimos 10 años, relacionado con la actividad de la perforación de pozos, se observa el mismo comportamiento.



Grafica 3-1. Pozos perforados en Colombia vs Precio del crudo. Elaboración propia.
Fuente: Asociación Nacional de Hidrocarburos.

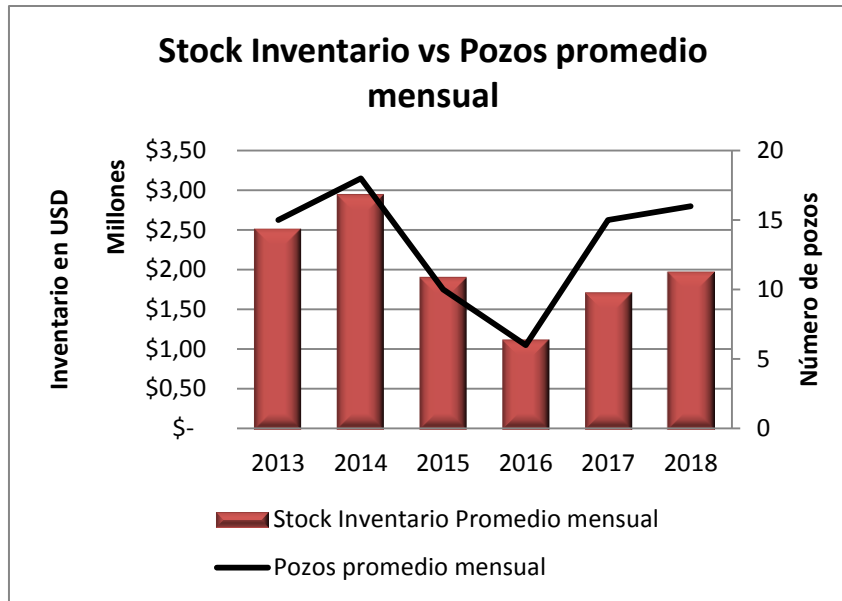
En la gráfica 3-1. se puede observar el decaimiento de la actividad durante el 2015, 2016, esto provocó una reducción de costos debido a la baja producción y demanda de las empresas del sector, generando un impacto negativo en la economía por la ausencia de servicios e insumos requeridos por estas organizaciones, además del

desempleo ocasionado. Con la caída de la actividad en el 2015 y 2016, la empresa en estudio sufrió muchos cambios, se redujo la fuerza laboral en un 70%, hubo una reducción de activos de un 35%, se congelaron los pedidos de insumos y materiales de inventario, y los mantenimientos se redujeron a su mínima producción, estrategias internas establecidas con el fin de disminuir el impacto de la pérdida de dinero de los inversionistas.

En el 2017, el precio del crudo incrementa, y con ello las operaciones de perforación, para finales de ese año la demanda ocasiona que se requiera más empleados, una planta robusta que soporte el mantenimiento de los equipos, así como un aumento en el pedido de inventario para poder satisfacer las nuevas necesidades del cliente. Y para poder cumplir con los nuevos requerimientos del cliente, se hace indispensable contar con procesos eficientes que soporten la variabilidad de la demanda sin causar retrasos en la producción.

Para los clientes, uno de los pilares del “Valor” creado por las organizaciones de servicios petroleros, es la calidad del servicio, no generar tiempo perdido a causa de incidentes de confiabilidad de los equipos que se envían a los pozos a realizar el trabajo. Un alto estándar de calidad permite a las empresas ser escogidas por los clientes, dejando buen margen de utilidad. Y la empresa en estudio no es la excepción, esta busca ser líder en calidad, y para ello requiere contar con procesos eficientes, facilidades robustas y personal competente que le ayude a conseguir tal objetivo: “ser el asesor de confianza”.

En la planta de producción de la empresa en estudio, se observa un problema en la entrega de equipos y/o herramientas a tiempo, debido a la carencia del inventario de materiales e insumos requeridos para el mantenimiento, que se plasma en un bajo rendimiento de la planta. El desencadenamiento de las nuevas necesidades de los clientes sumado a la implementación de nuevas tecnologías produce un desbalance entre la demanda y el stock de insumos de inventario, y por lo tanto un desequilibrio en el mantenimiento de equipos. Dicho desbalance se muestra a continuación donde se muestra el stock del inventario vs el número de pozos. El inventario promedio anual no ha sido suficiente para la actividad que se ha alcanzado durante los últimos 2 años.



Grafica 3-2. Relación de inventario promedio con pozos promedio perforados. Elaboración propia. Fuente: base de datos empresarial.

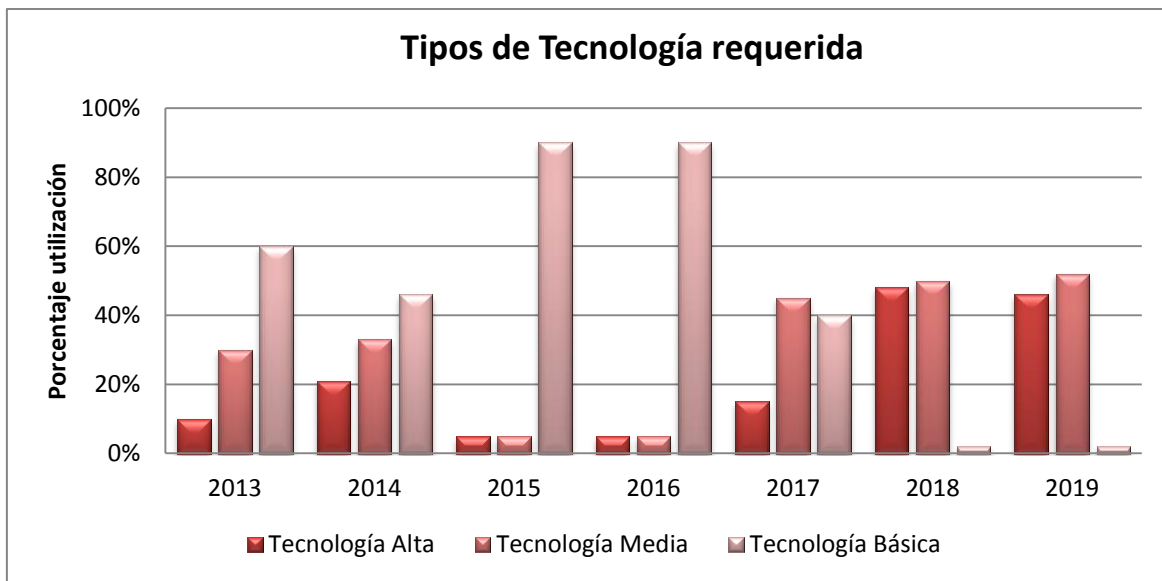
Pero el único inconveniente no es el incremento de la demanda, sino el tipo de demanda que ha aumentado. La empresa en estudio presta 3 tipos de servicio con las siguientes características:

Tecnología	Tipo servicio	Características	Ingreso por pozo - USD
Básica	Direccional básico	Solo medición direccional	\$30.000 - \$60.000
Media	Registros de formación mientras se perfora	Medición y Registro Radiación Gamma y Resistividad formación	\$100.000 - \$130.000
Alta	Registros complementarios de formación mientras se perfora	Registro densidad, porosidad y resistividad azimutal de formación	\$180.000 - \$250.000

Tabla 3-1. Tipos de servicios prestados por la empresa en estudio. Elaboración propia. Fuente: base de datos empresarial.

Después de la crisis del 2016, el cliente empezó a optimizar sus operaciones por medio de la tecnología ofrecida ya que le permitía la maximización del yacimiento petrolero. Por lo que la demanda de alta y media tecnología creció para el 2017, 2018 y con ello el mantenimiento e inventario requerido, así como, una planta con una más infraestructura que le permitiera obtener los resultados requeridos por los clientes. La

siguiente grafica muestra en porcentaje de la operación total la cantidad de tipo de tecnología durante los últimos 7 años.



Grafica 3-3. Tecnologías requeridas durante los últimos 7 años. Elaboración propia.
Fuente: base de datos empresarial

Con el fin de poder cumplir los requerimientos cada vez más exigentes del cliente, es necesario contar con una planta eficiente que entregue equipos a tiempo con el enfoque siempre en la calidad. De aquí parte la necesidad de evaluar los procedimientos al interior de planta, con el fin de evaluar donde pueden estar las causas del desbalance de la demanda y el stock del inventario, buscando así la solución y abriendo paso hacia la mejora continua en el taller de mantenimiento.

3.2 Mapeo de la situación actual del proceso de abastecimiento

En la planta se realiza el mantenimiento de los equipos o sensores requeridos para realizar el trabajo de la perforación direccionada. Para ello se requiere de personal capacitado en las diferentes áreas, y un stock de materiales de inventario determinado dependiendo de la necesidad y tipo de mantenimiento. Para poder establecer el estado actual de todo el proceso, se aplicará una de las herramientas más utilizadas durante la revisión de la literatura por los autores, VSM, Value Stream Mapping el cual permite visualizar las actividades que no generan valor, los tiempos de proceso, y los desperdicios.

Para poder entender primero cómo funciona la empresa, se realizaron entrevistas individuales a personal seleccionado de planta con el fin de obtener un esquema general, en el que se muestra como es el flujo de la información desde que se obtiene

la solicitud por parte del cliente hasta la entrega del servicio. Las entrevistas se realizaron durante varios días de trabajo en el que se podía tomar tiempos, y observar el desempeño diario, los cuestionamientos realizados se plantean al detalle en el Anexo 1.

Personal entrevistado	1	Supervisor del área de medición
	2	Líderes de área de ensamble e inspección
	2	Técnicos de ensamble
	1	Planeador Técnico
	1	Planeador de Demanda
	1	Líder bodega materiales
	1	Líder de Compras
	1	Líder Logística

Tabla 3-2. Personal entrevistado. Elaboración propia.

El resultado de las entrevistas fue la obtención del siguiente esquema general donde se observa cada área con sus respectivas actividades y el flujo del proceso. Todo inicia desde la solicitud del servicio por parte del cliente, quien es recibido por el área de operaciones de la línea de producción, posteriormente la notificación es enviada por medio de una solicitud electrónica al área de mantenimiento, quienes se encargan de seleccionar y hacer mantenimiento a los sensores requeridos, esto implica la verificación de stock y pedido de inventario esto se visualiza con el soporte del área de supply chain. Finalmente una vez se cuenta con los materiales e insumos, se termina la inspección de sensores para su envío al cliente en pozo.

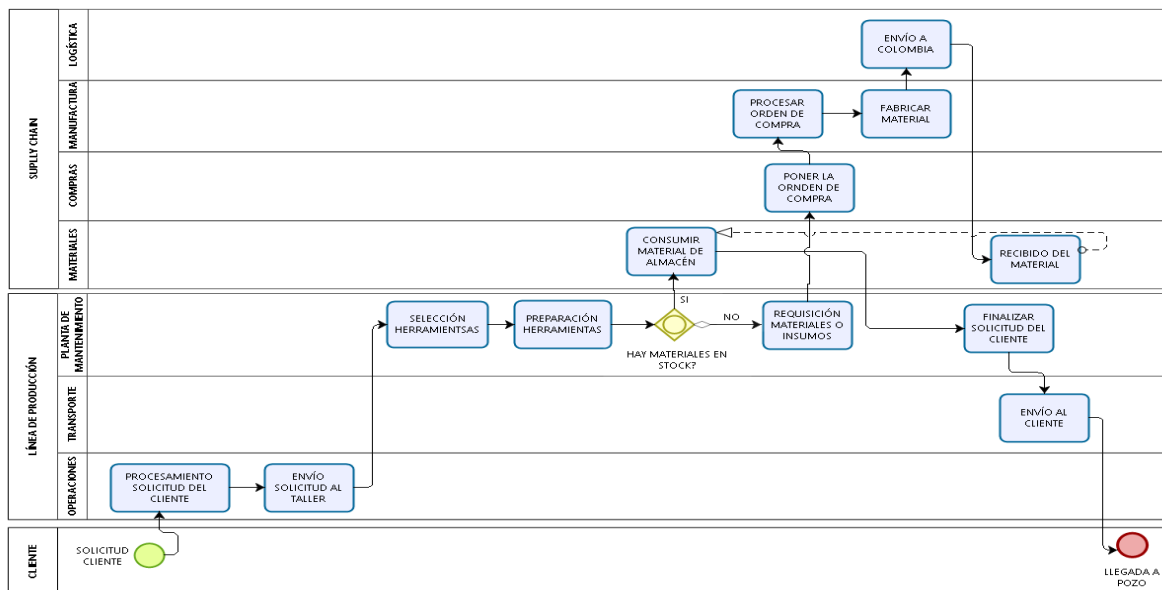


Figura 3-1. Esquema general de la empresa en estudio. Elaboración propia.

Posteriormente, se realizó una entrevista enfocada en el grupo descrito en la tabla 3.1. en el que tenía el objetivo de realizar el VSM de todo el proceso en conjunto, con el fin de obtener todos los detalles que hay detrás de las actividades a analizar. Durante la reunión se pudieron evidenciar desconocimiento de algunas etapas del proceso, ausencia de habilidades en el sistema SAP, tiempos de espera injustificados, re-procesos, movilizaciones repetitivas, falta de estandarización de algunas actividades y de entrenamiento de algunos técnicos.

El VSM incluye el aprovisionamiento desde las manufacturas ubicadas en Canadá, Estados Unidos o Singapur, proceso realizado por el área de Supply Chain, pero demandado por la solicitud del cliente a la línea de producción, pasando por el proceso de mantenimiento y ensamble de la planta, hasta la entrega del servicio al cliente. Para poder diagramar el VSM, era importante no solo contar con el personal de experiencia de la planta y de Supply Chain, sino también poder extraer información relevante de las bases de datos.

Para entender correctamente el VSM, se explican las convenciones de los símbolos del mismo a continuación.

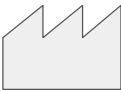











SÍMBOLO	SIGNIFICADO	SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Manufactura y Cliente		Almacén
	Línea de Tiempo de la línea de producción		Flujo comunicación
	Envío Inventario a Colombia		Envío al cliente
	Envío Aéreo		Envío terrestre
	Pull de Inventario		Push de herramientas
	Procesos		Comentarios

Tabla 3-3. Convenciones del símbolos usados en el VSM.

Value Stream Mapping del proceso de abastecimiento en la planta de producción y en el área de Supply Chain

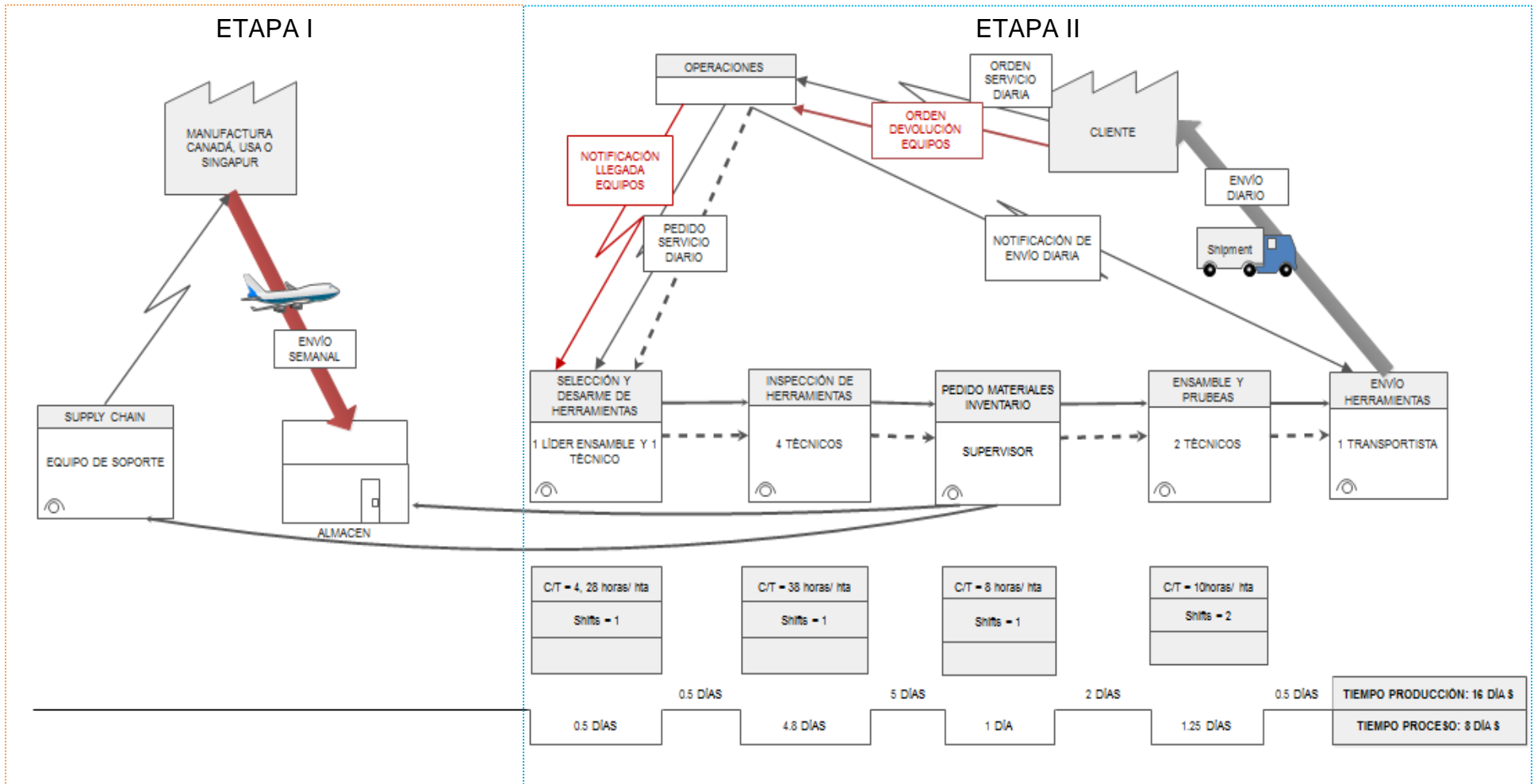


Figura 3-2 Diagrama VSM de la situación actual. Elaboración propia.

Para poder entender completamente el VSM, se procede a realizar la explicación dividiendo el VSM en dos etapas. La primera de ellas, la etapa realizada por el área de Supply Chain y la segunda realizada por la línea de producción:

Etapa I: Desarrollada por el área de Supply Chain

El proceso inicia cuando la línea de soporte notifica la necesidad de los materiales al planeador de la demanda, quien se encarga de procesar el pedido y revisar la disponibilidad del material en las plantas de manufactureras, posteriormente el pedido es enviado al área de compras quien se encarga de direccionar la orden de compra a la manufactura indicada, después la manufactura procesa la orden y notifica al comprador y al planeador de demanda el lead time del material final, en promedio 90 días, o si hay algún inconveniente con el pedido realizado.

Una vez se culmina el lead time de manufactura y el material se encuentra listo para envío, se procede a notificar al departamento de logística para realizar el trámite de importación y de aduana. Cuando el material llega a Colombia, el área de logística lo nacionaliza y lo envía a la planta donde se encuentra el lugar de almacenamiento de inventario. Allí se revisa el material enviado para luego actualizar el stock en el sistema SAP, quedando listo para su consumo, por la planta de producción.

Etapa II: Desarrollada por la Línea de producción

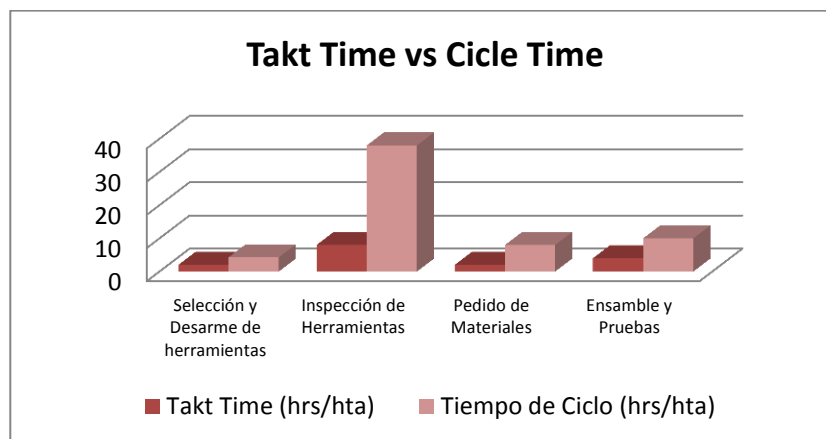
El inicio de esta etapa, es la solicitud del servicio por parte del cliente hacia el área de operaciones quien se encarga diariamente de notificar a la planta el requerimiento formal de los sensores requeridos con la fecha de envío. Posteriormente, la planta realiza una selección previa de los sensores a ensamblar, para luego ser llevados al área de inspección donde se realizan las pruebas eléctricas y mecánicas de cada sensor.

Allí se debe verificar que los sensores se encuentren en buenas condiciones para trabajar, pero el inconveniente surge cuando los sensores no poseen materiales o insumos para realizar el mantenimiento, y se requiere revisar el sistema SAP para revisar si se encuentran los materiales en stock en bodega. Al no contar con los materiales adecuados se procede a realizar la requisición de materiales, pero el sensor debe quedar en “espera” y seleccionar nuevamente otro sensor que cuente con lo necesario para operar, esto puede suceder varias veces lo que acarrea realizar el mismo proceso varias veces sin éxito. Una vez se encuentren los sensores adecuados para operar se llevan a la zona de ensamble donde son armados según el requerimiento, para finalmente realizar pruebas de integridad finales y llenar la documentación respectiva. El proceso finaliza cuando se

entregan las herramientas listas al área de transporte para el envío a pozo donde el cliente lo solicitó.

En el VSM se calcularon los tiempos de producción que corresponde al tiempo que transcurre desde que inicia el proceso de selección de herramientas hasta el proceso de envío; así mismo se calcula el tiempo de proceso o tiempo de ciclo C/T para cada etapa, que es el tiempo disponible para cada actividad sobre las unidades producidas. Por lo tanto el tiempo de producción total de la planta corresponde a 16 días y el tiempo de proceso o de ciclo corresponde a 8 días.

Con el fin de poder establecer de manera efectiva donde se encontraba el cuello de botella del proceso total de la planta, se plantea la evaluación del takt time de cada proceso, esto, debido a que la demanda de cada área es diferente, esto se debe a que el requerimiento de cada cliente cambia de acuerdo a la necesidad. Por ejemplo, para el área de ensamble la demanda es 1 herramienta, ésta está compuesta por 3 sensores, por lo que para el área de inspección la demanda es 3. Además por medio de la visualización del Takt Time por área, se podría fácilmente ver la deficiencia en la entrega de sensores reparados. Los cálculos del Takt Time y Tiempo de Ciclo, se realizaron a partir del muestreo diario del proceso durante dos meses, cada vez que una orden de trabajo era enviada al taller y como los requerimientos de los clientes siempre varían, se realizó un promedio con las herramientas de mayor demanda.



Gráfica 3-4. Takt time y tiempo de ciclo por proceso

Por lo anterior se observa que la planta no está siendo eficiente, ya que no alcanza a cumplir con la demanda presupuestada, en cada uno de los procesos. Por lo que se debe analizar la causa de la ineficiencia, buscando las actividades que no generen valor dentro a lo largo de todo el proceso de mantenimiento en la planta. Y como el objetivo de esta investigación es reducir el tiempo de

abastecimiento del inventario en la planta, es indispensable conocer como es el proceso de inspección ya que es el cuello de botella y es donde nace la necesidad de materiales para su posterior compra.

Como se mencionó en el capítulo 1, el Lead Time es “tiempo que transcurre entre la detección de la necesidad de efectuar un pedido por lo que se lanza una orden de compra hasta que esta se recibe en su totalidad en el almacén, instante en que el material correspondiente está a punto para su consumo o uso” (Manene, 2012), por lo que el VSM, ayudará a detectar cual es lead time promedio de un material. En la línea de tiempo plasmada en el gráfico de VSM, se observa el tiempo total de proceso de 8 días, adicionalmente el área de Supply Chain, toma 90 días promedio de fabricación del material por parte de manufactura, 2 días de procesos de importación, 15 días de tránsito y un día de almacenamiento. Por lo que el Lead time total corresponde a 118 días, teóricos, tal como se muestra en la figura 3-3.



Figura 3-3 Diagramación del Lead Time promedio total. Elaboración propia

Los mayores tiempos dentro del lead time total, corresponden a la fabricación, seguido del tránsito y la requisición de la planta. Los dos primeros son tiempos estandarizados establecidos por el área de manufactura y supply chain respectivamente, en el que no se tiene ninguna influencia. Por lo que el enfoque del estudio, como se mencionó en el capítulo 1, es el proceso de requisición en la planta de producción, el cual se analizará detalladamente con el fin de obtener la razón por la cual hay demora en el pedido de materiales e insumos.

Para iniciar con el análisis, se revisaron las áreas y actividades individualmente, con el fin de poder detectar aquellas actividades que no generan valor y los desperdicios de gran impacto en la producción, dentro de la planta.

PROCESO	ACTIVIDADES NVA	MUDAS	DESCRIPCIÓN
SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS	Recorrer varias veces la planta buscando sensores	Movimientos	Repetitivas movilizaciones en la planta para buscar equipos y/o herramientas
	Comparación física y con el sistema SAP el stock de sensores	Re-proceso	Verificación repetitiva del estado de los equipos
INSPECCIÓN DE HERRAMIENTAS	Verificación varias veces de los sensores hasta encontrar el que tenga los materiales para el mantenimiento	Re-proceso	Más de una inspección por equipo
	Verificación del sistema SAP varias veces para buscar materiales en stock	Re-proceso	Verificación repetitiva del stock de materiales
	Búsqueda de materiales al almacén varias veces al día	Movimientos	Repetitivas movilizaciones de la planta al almacén por materiales
	Dejar equipos que no tienen materiales de lado hasta que lleguen para poderlos ensamblar	Espera	Sensores esperando materiales de inventario para ser reparados
PEDIDO MATERIALES DE INVENTARIO	Realizar pedidos de materiales individuales varias veces al día	Re-proceso	Repetidos pedidos de materiales diarios, y a destiempo
ENSAMBLE Y TEST	Recorrer varias veces la planta para trasladar sensores del laboratorio de inspección a la zona de ensamble	Movimientos	Repetitivas movilizaciones para transportar sensores de un área a otra

Tabla 3-4. Actividades que no generan valor y sus desperdicios en el proceso.
Elaboración propia.

Lo anterior sugiere que los procesos de mantenimiento y requisición en la planta, están rodeados de desperdicios que producen pérdidas de tiempo alargando el tiempo de la producción, haciéndola ineficiente. Cuando no se cuenta con procesos eficientes y personal concentrado en el mantenimiento, las distracciones, errores e interrupciones son latentes y dejan consecuencias económicas considerables.

3.3 Análisis causa raíz del problema de abastecimiento

Con el fin de entender la razón por la cual el proceso de mantenimiento y requisición de la planta produce un aumento en el lead time de los materiales de

inventario, se analiza la causa raíz por medio de un diagrama de Ishikawa. Para el planteamiento del diagrama de Ishikawa, se contó con la participación del personal del taller únicamente, el supervisor del área de sensores, el líder de ensamble e inspección, 2 técnicos y el planeador técnico. Y a partir del problema se empezaron a descartar las causas generales, para dejar las posibles causas, desglosándolas posteriormente cada una por medio de la herramienta de los 5 por qué.

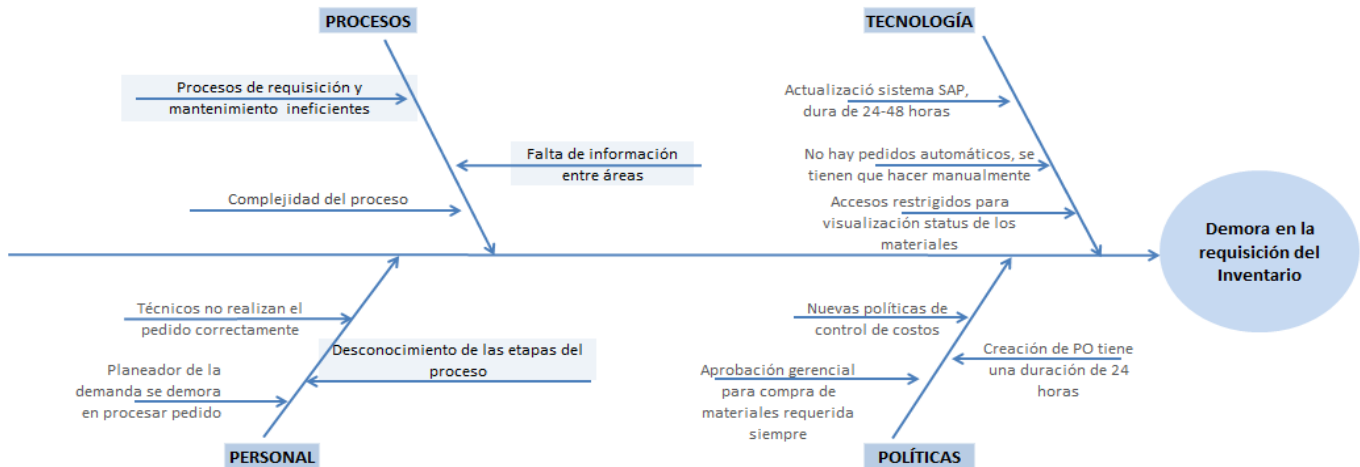


Figura 3-4 Diagrama de Ishikawa realizado en la planta. Elaboración propia

El diagrama arrojó los siguientes resultados:

- Se descartó la tecnología, ya que, a pesar de que el Sistema SAP utilizado no es amigable, cuenta con toda la información requerida para que se realicen los pedidos a tiempo. No se encontraron evidencias de demoras a causa del sistema, cuando se realizaron las verificaciones de los materiales la información estaba actualizada, y era correcta.
- Se descartaron las nuevas políticas debido a que son puntos de control establecidos por la gerencia de la línea de producción y Supply Chain, y no representan tiempos “extra” considerables en la demora del pedido de materiales de inventario.
- En cuanto al personal, se encontró que hay un problema de desconocimiento de algunas de las etapas del proceso, esto comprende la utilización del sistema SAP para realizar el pedido de materiales de inventario y la manera de realizar la compra a manufactura por parte de Supply Chain, y la retroalimentación a la planta. Esto representa retrasos de tiempo en el pedido de materiales.

- Respecto a los procesos, a pesar de tener claro el proceso de mantenimiento e inspección de sensores, y el de requisición de materiales de inventario, hay grandes desperdicios de tiempo o esperas, movimientos y re-procesos. Lo que los hace procesos ineficientes con etapas por mejorar. Al no contar con una estructura formalizada en el taller, no habrá un flujo continuo sin interrupciones, lo que ocasiona el aumento en el lead time de los materiales de inventario.
- Así mismo, en los procesos no se cuenta con la información suficiente que proporcione una ayuda rápida para realizar fácilmente la requisición y compra de materiales de inventario, proporcionando más demoras y estancamiento del flujo de la producción.

Por medio del método de los 5 *¿Por qué?* se analizaron las causas que el diagrama de Ishikawa arrojó, "Procesos y Personal", obteniendo los siguientes resultados:

PROCESOS				
<i>¿Por qué?</i>	<i>¿Por qué?</i>	<i>¿Por qué?</i>	<i>¿Por qué?</i>	<i>¿Por qué?</i>
Procesos de requisición y de mantenimiento ineficientes	Procesos con grandes desperdicios, esperas, re-procesos, movimientos.	Falta de re-organización y programación de la planta y visualización general de todo el proceso.	No hay estandarización de procesos en todos los niveles de mantenimiento	No hay un proceso definido para el manejo de los equipos disponibles, que requieren mantenimiento y materiales de inventario
				No hay un proceso definido para los equipos a la espera de mantenimiento y materiales de inventario
Falta de información entre áreas	Procesos no contemplan interacción con otras áreas			No hay proceso definido para la requisición de materiales de inventario
				No existe un protocolo de comunicación entre la línea de producción y el área de Supply Chain, que permita dar a conocer el lead time de los materiales, el tiempo en tránsito, ni las necesidades futuras de la planta

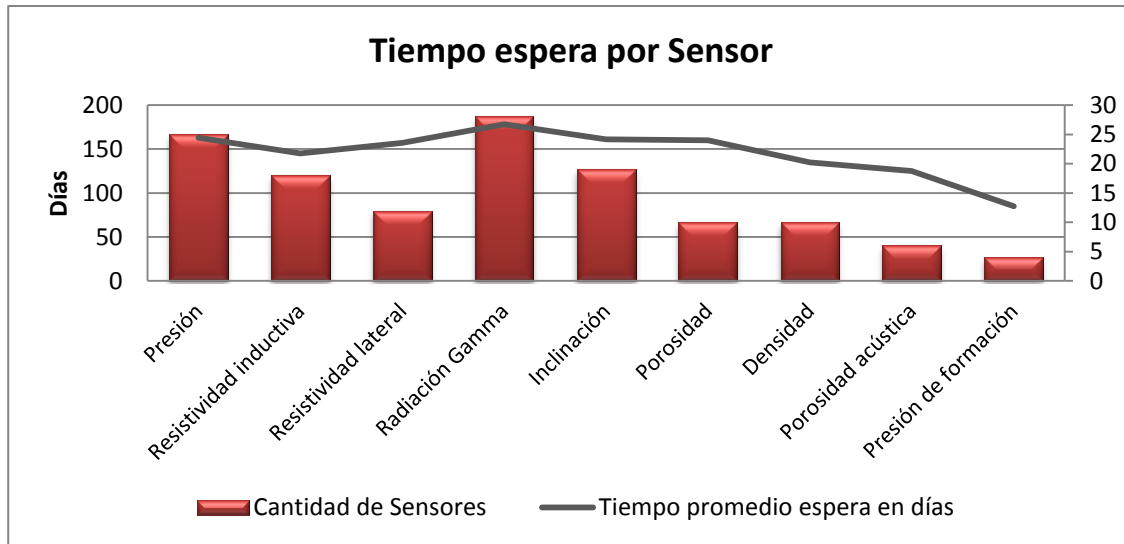
PERSONAL				
<i>¿Por qué?</i>	<i>¿Por qué?</i>	<i>¿Por qué?</i>	<i>¿Por qué?</i>	<i>¿Por qué?</i>
Desconocimiento de algunas de las etapas del proceso	No hay traslado completo de la información entre el personal	Falta de entrenamiento del personal en el proceso	No hay estandarización del proceso	No se tiene definido cómo y quién realiza el pedido de materiales

Tabla. 3-5. Análisis de causa raíz por medio del método 5 por qué. Elaboración propia.

Para el caso de los procesos, el análisis de los 5 ¿Por qué?, deja como conclusión 4 causas principales, que se resumen en la falta de procesos definidos en la planta, estos son derivadas de la ausencia de estandarización del proceso de la planta y la cantidad de desperdicios presente en ellos. Por otro lado, para el caso del personal la causa raíz se encontró el desconocimiento de cómo y quién realiza el pedido de materiales. Tales causas están ocasionando re-procesos, demoras y estancamientos en la requisición de materiales de inventario.

Y con el fin de comprender a fondo las causas raíz del problema del aumento del tiempo de abastecimiento en la planta, se realizó una búsqueda en las bases de datos, que permitiera, primero visualizar el impacto de tal demora en la planta, así como entender la manera cómo opera el taller y segundo, confirmar el tiempo de abastecimiento calculado en la sección 3.2 figura 3-3.

En la siguiente grafica se puede observar el tiempo promedio de espera “real” de cada sensor, es decir, que tantos días quedan los equipos en “Stand by”, esperando que los materiales de inventario requeridos para su mantenimiento lleguen y se pueda hacer la inspección, para su posterior ensamble. Realizando una búsqueda en las bases de datos para verificar el tiempo promedio de espera de los sensores, se encontró que es de 145 días, que descontando los 90 días promedio de fabricación de material y los 15 días de tránsito, y 5 días de compra, arroja 35 días de espera en la planta, a pesar de que el tiempo de proceso arrojó 8 días. También se observa, que la cantidad de sensores es proporcional al tiempo de espera, esto se debe a que cuantos más equipos hay, más es la demora en realizar el mantenimiento.



Gráfica 3-4. Tiempo de espera promedio por Sensor. Base de datos empresarial. Elaboración propia.

Por lo que la gráfica del Lead time ajustado a la realidad según el análisis de las bases de datos, será la siguiente:



Figura 3-5 Lead Time promedio real del tiempo de materiales de inventario. Elaboración propia.

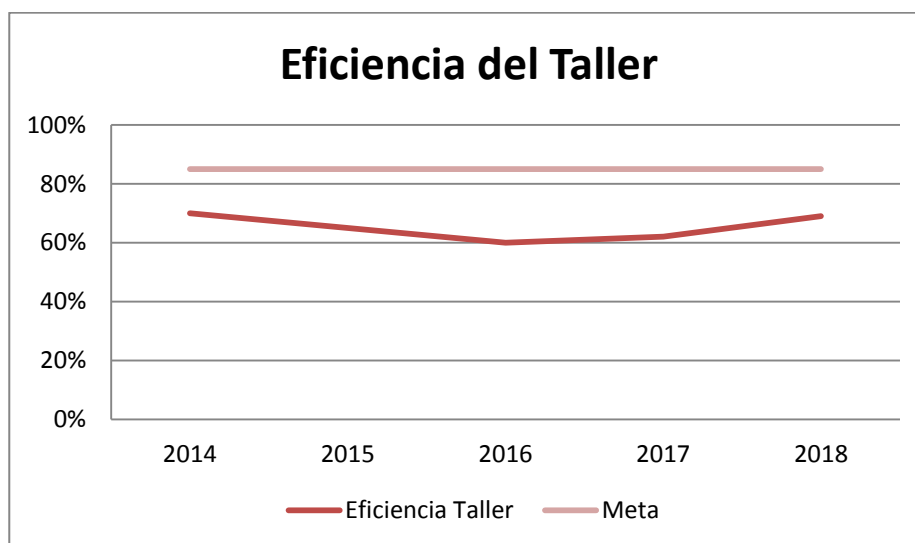
Este impacto en la empresa es muy importante, ya que los sensores son activos del alto costo, que quedan temporalmente sin uso, al no encontrarse operativos para trabajar. Por lo que se tendría un lucro cesante, pagando costos de depreciación, sin generar retorno de la inversión. En la siguiente tabla, se puede detallar el valor de adquisición de cada sensor, con su respectiva depreciación a 6 años. Se obtiene un valor total de 20 millones de dólares para el total de sensores de medición en la planta.

Sensor	Valor Adquisición promedio USD	Depreciación mensual USD	Cantidad	Total
Presión	\$75.500,00	\$1.048,61	25	\$1.887.500,00
Resistividad inductiva	\$275.000,00	\$3.819,44	18	\$4.950.000,00
Resistividad lateral	\$312.700,00	\$4.343,06	12	\$3.752.400,00

Radiación Gamma	\$62.100,00	\$862,50	28	\$1.738.800,00
Inclinación	\$21.400,00	\$297,22	19	\$406.600,00
Porosidad	\$225.000,00	\$3.125,00	10	\$2.250.000,00
Densidad	\$246.900,00	\$3.429,17	10	\$2.469.000,00
Porosidad acústica	\$336.000,00	\$4.666,67	6	\$2.016.000,00
Presión de formación	\$354.800,00	\$4.927,78	4	\$1.419.200,00
				\$20.889.500,00

Tabla. 3-6. Valor de adquisición de sensores junto con el valor de depreciación mensual. Elaboración propia. Fuente: Base de datos empresarial.

Adicionalmente, otro aspecto que se ve afectado es el desempeño de la planta, cuando los sensores tienen largas esperas, la cantidad de mantenimientos mensuales es menor, por lo que la eficiencia se reducirá, indicador que es medido mensualmente y que actualmente se encuentra por debajo de la meta establecida del 85% por políticas de mantenimiento del global de la compañía. Con una eficiencia del 65% y un valor de capital de USD\$20'890.000, se tiene un costo de capital cesante promedio mensual de USD\$5'850.000, rubro considerable a tener en cuenta.



Grafica 3-5 Eficiencia mensual de la planta, promedio 65%. Base de dato empresarial. Elaboración propia

Lo anterior conduce a concluir que la planta requiere una estandarización en sus procesos con el fin de planear y programar de manera adecuada la producción, mostrando fácilmente las prioridades, clasificando los mantenimientos y encaminando el taller hacia la eficiencia y mejoramiento del desempeño. Si no se cuenta con el inventario requerido a tiempo, se presentan retrasos en el

mantenimiento, y como consecuencia no es posible enviar los equipos a realizar el trabajo, pudiendo causar incumplimientos con el cliente y déficit en la rentabilidad.

La planeación oportuna con la integración de conocimiento, recurso humano y físico y las herramientas Lean, proporcionará a la planta tomar acciones rápidamente, evitando sobre-costos, y mala calidad en la entrega del servicio. Además de la baja eficiencia de la planta y su impacto financiero respecto a la no utilización de los activos por ausencia de materiales de inventario.

3.4 Integración de herramientas Lean a los procesos de inspección y abastecimiento de la planta

De acuerdo con lo visto en el numeral 3.3. acerca de las causas que ocasionan el retraso de la llegada de materiales de inventario en la planta, y con base en la revisión de la literatura donde se observan las herramientas más usadas para el mejoramiento de los procesos, se realizará la integración de herramientas Lean al proceso de abastecimiento e inspección en el taller, con el fin de eliminar los desperdicios encontrados, y así reducir los tiempos ociosos y por lo tanto reducir el tiempo de abastecimiento, quien está afectado por dichos Mudras.

Como el enfoque de esta investigación es la etapa 2 del VSM descrito en el numeral 3.2, que es el proceso en la planta y de acuerdo al diagrama de Ishikawa del numeral 3.3 en el que se plantearon las posibles causas del retraso en la llegada de los materiales de inventario en la planta, se destacaron 3 causas raíces:

1. Proceso de requisición y mantenimientos ineficientes
2. Falta de información en las áreas
3. Desconocimiento de algunas etapas del proceso

En los siguientes numerales: 3.4.1, 3.4.2 y 3.4.3, se desglosará cada problemática con su respectiva herramienta Lean propuesta, basada en la revisión de la literatura y que se espera pueda ayudar a reducir los Muda presentes en los procesos de la planta. Así mismo, se realizará la aplicación para evaluar posteriormente los beneficios.

3.4.1 Proceso de requisición y mantenimiento ineficiente

Dentro de la rama de procesos en diagrama de Ishikawa realizado en el numeral 3.3 se observó que no se cuenta con procesos eficientes dentro de la planta, esto causado por 3 principales problemas que ocasionan que el tiempo de abastecimiento del inventario haya aumentado, y por lo tanto no se tenga el stock de insumos requeridos para el mantenimiento. Tales causas son descritas en el diagrama que se muestra a continuación, en el que se asocia el desperdicio, la herramienta lean seleccionada, basado en los beneficios encontrados en los artículos de la revisión de la literatura.

Factor Causal 1	No hay un flujo y proceso definido para el manejo de los equipos disponibles, que requieren mantenimiento y materiales de inventario
Efecto	No hay equipos disponibles y operativos para ensamble a tiempo
Mudas	Espera, re-procesos, Movilizaciones
Herramienta Lean	Layout configuration, 5S, Estandarización
Artículos relacionados	10
Beneficios según el análisis de la literatura	Reducción tiempo de producción. Estandarización de procesos

Descripción

- No existe un flujo constante para la inspección de sensores.
- No existen zonas de almacenamiento establecidas para cada sensor y no se encuentra la información requerida de la necesidad cada uno de ellos. Las fotos muestran diferentes tipos de sensores revueltos en los estantes, pero no es posible descifrar rápidamente su estado.



Figura 3-6. Fotos del taller en donde se observan los sensores sin rack ni área definida.

- Muchas movilizaciones en el taller en busca de sensores operativos o para realizar la inspección. En el plano de la planta se puede observar en color azul las movilizaciones que

el personal debe hacer para buscar los sensores repetidas veces al día en un área de 875mts cuadrados.

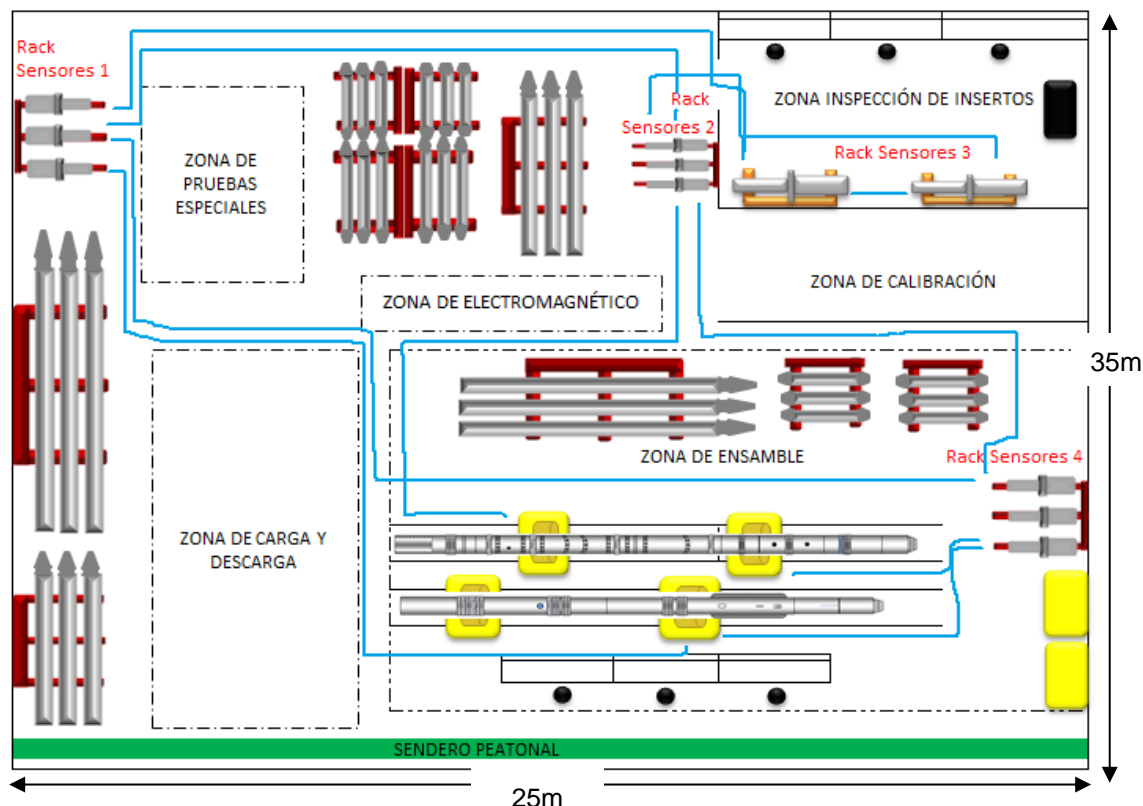


Figura 3-7. Layout del taller, se observa en azul las movilizaciones del personal durante el día buscando los equipos. Elaboración propia.

El número de movilizaciones diarias desde cada rack hacia otro rack buscando o acomodando los sensores, se muestra en la siguiente tabla, el tiempo total en movilizaciones es de 20 minutos por día.

Origen	Destino	Tiempo (sg)	Núm. de veces prom. por día	Tiempo total (sg)
Rack Sensores 1	Rack Sensores 2	22	7	154
Rack Sensores 1	Rack Sensores 3	25	8	200
Rack Sensores 1	Rack Sensores 4	34	6	204
Rack Sensores 2	Rack Sensores 3	6	11	66
Rack Sensores 2	Rack Sensores 4	24	10	240
Rack Sensores 3	Rack Sensores 4	34	10	340
TOTAL		145	52	1204

Tabla 3-7. Movilizaciones diarias por técnico en el taller. Medidas tomadas durante dos semanas. Elaboración propia

Propuesta de Solución

1. Integración metodología de las 5S en el área de inspección:

- Seleccionar una única área para el almacenamiento de los sensores, que puede ser el área de inspección. En donde estén todos los rack de señores agrupados y así no perder tiempo en movilizaciones.
- Clasificar los sensores de acuerdo a su tipo, con el fin de identificarlos rápidamente.

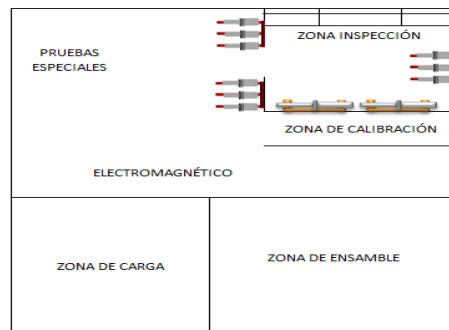


Figura 3-8 Propuesta de asignación de áreas en el taller. Se agrupan los Rack en una sola área. Elaboración propia

- Organizar los sensores en los 3 colores establecidos, verde para operativo, naranja en inspección y rojo fallado o a la espera de materiales, y así poder visualizar rápidamente su estado preliminar, señalar FIFO por medio de flechas.

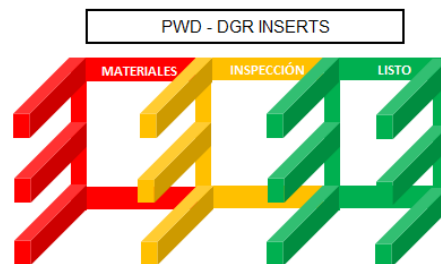


Figura 3-9. Diseño de Rack propuesto, en el que me podrán organizar los sensores de acuerdo a su estado; Rojo: esperando materiales, Naranja: Esperando inspección, Verde: Listo. Elaboración propia.

2. Layout configuration:

- Implementar un nuevo diseño para ubicar de una manera óptima el taller, en el que se reduzcan las movilizaciones, y los tiempos de espera entre actividades. Para ello, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:
 - El flujo que deben seguir los sensores dentro de la planta, desde su llegada de trabajar hasta su ensamble final para regresar al trabajo.
 - Las pruebas y requisitos que se deben seguir para cada sensor, de acuerdo con las políticas de mantenimiento de la empresa.
 - Aspectos de seguridad en las movilizaciones y recorridos de los sensores.
 - Lograr integración adecuada entre las demás áreas de la planta, ya que se comparten recursos.

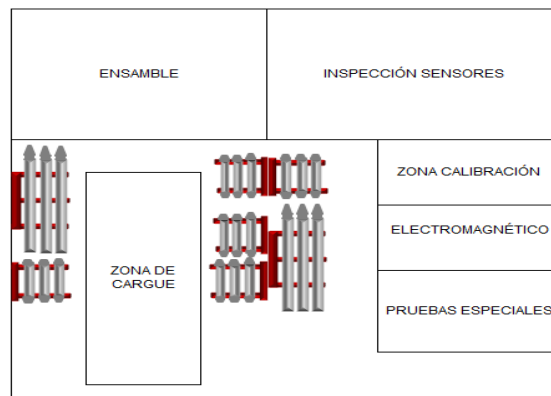


Figura 3-10. Propuesta de nuevo Layout para el taller. Zona de ensamble cerca de la zona de inspección. Elaboración propia.

3. Estandarización:

- Definir la manera clara y sencilla cómo se va a realizar el flujo para el manejo de los sensores desde que llegan a la planta hasta dejarlos operativos.

Resultados obtenidos

1. Integración de la metodología de las 5S en el área de inspección de sensores:

- Se procedió a aplicar la metodología 5S en las áreas para desechar lo que no sirve, organizar, limpiar, colocar lugares específicos para cada elemento, etiquetar y estandarizar el lugar de acuerdo a la inspección requerida por los sensores. El resultado se muestra en la siguiente foto, en la que se puede observar cada cosa en su lugar, y un lugar para cada cosa.



Figura 3-11. Fotos de la zona de inspección de sensores. Limpia, ordenada, etiquetada y clasificada

- Se asignaron lugares específicos para los sensores, clasificándolos en los 3 colores estandarizados, rojo para herramientas a la espera de materiales, naranja para herramientas esperando inspección y verde para herramientas listas u operativas. Por medio de la regla de los 30 segundos, es posible identificar el estado y lugar de los sensores.
- El rack de la foto de la izquierda es el rack de llegada, y el de la derecha es el rack de salida, el flujo de los sensores se rige bajo la regla FIFO demarcada con las flechas blancas, sin embargo debido a las políticas de la empresa, se deben tener en cuenta ciertos parámetros de calidad, condiciones operaciones y requisitos de los clientes antes de realizar el ensamble de cada sensor, por lo que la priorización puede variar.



Figura 3-12. Fotos de asignación de sensores en Racks clasificados por los colores estándar

- Cabe aclarar que esta empresa es de servicios NO de manufactura. El servicio prestado es una combinación de sensores según las necesidades del cliente, por lo que las variaciones al ensamblar y reparar sensores cambia constantemente.

2. Layout configuration:

- Se realizó un nuevo diseño para la acomodación de la planta, en el que se minimizarán las movilizaciones del personal a lo largo de la base buscando equipos, herramientas o sensores. Se instaló el área de inspección, en frente del área de ensamble y seguido del área de pruebas especiales. El recorrido señalado en azul, muestra los movimientos realizados después de la modificación. Se señalaron las áreas para que el flujo de la planta se visualizara de manera sencilla y rápida.



Figura 3-13. Foto de la ubicación actual de la planta. Zonas de inspección y ensamble cercanas

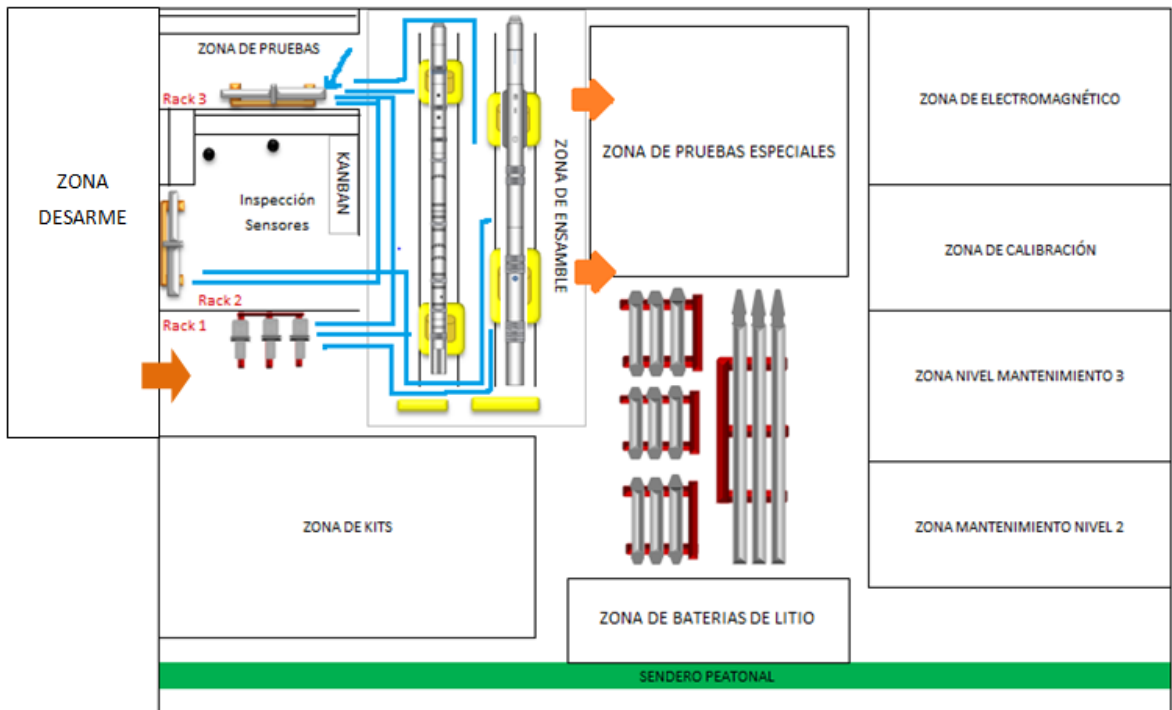


Figura 3-14. Layout del taller con movilizaciones actuales. Se eliminó el rack No.4. Elaboración propia

El acercamiento de las áreas y racks de sensores permitió reducir el tiempo gastado en movilizaciones a 2 minutos, una reducción del 90% comparado con el tiempo inicial.

Origen	Destino	Tiempo (sg)	Número de veces por día	Tiempo total (sg)
Rack Sensores 1	Rack Sensores 2	5	4	20
Rack Sensores 1	Rack Sensores 3	10	5	50
Rack Sensores 2	Rack Sensores 3	10	5	50
TOTAL		25	11	120

Tabla 3-8. Movilizaciones del personal en el taller, después de la modificación. Elaboración propia

3. Estandarización:

- Se diseñó una herramienta guía, el cual permitirá dar conocer el flujo de sensores en la planta a los técnicos. Tiene el esquema mostrado a continuación, y se detallará en la sección 3.5.

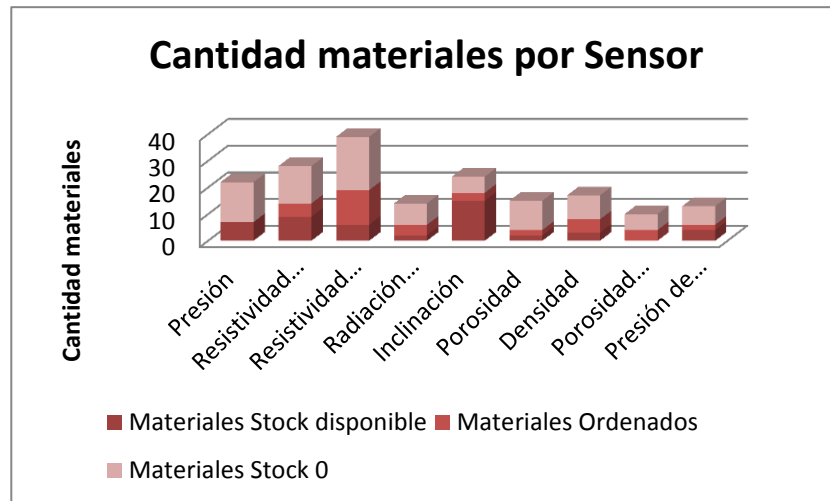


Figura 3-15. Esquema general de la herramienta guía diseñada.

Factor Causal 2	No hay un proceso definido para los equipos a la espera de mantenimiento y materiales de inventario
Efecto	Hay equipos esperando que los materiales lleguen para poder finalizar el mantenimiento.
Mudas	Espera, Movilizaciones
Herramienta Lean	Kanban System, Visual System, Estandarización
Artículos relacionados	11
Beneficios según el análisis de la literatura	Reducción tiempo de producción. Control de calidad y producción. Estandarización

Detalle

- No hay stock suficiente para realizar el mantenimiento de sensores. Por lo que los sensores deben quedarse esperando mientras llegan los materiales de inventario. En la siguiente grafica se puede observar la cantidad de materiales con stock disponible, con materiales ordenados, y materiales sin stock por cada sensor. Y un total de 53% de materiales sin stock, 21% materiales ordenados y 26% con stock disponible.



Grafica 3-6. Cantidad de materiales que tienen stock disponible, no disponible y ordenados o pedidos, por tipo de sensor. Elaboración propia.

En la siguiente tabla se observa el tiempo de espera de los sensores llamado "DaysInRepair", se tienen un sensor esperando materiales por 1 año, mes y medio y 20 días con cero existencias.

OPEN RESERVATIONS FOR CURRENT ASSETS IN REPAIR								
Equipment	Description	Plant	DaysInRepair	Material	Material Description	On Hand	Reserved	Stock Level
10507438	INSRT ASY 6.75X8` ` PWD/SWRO (QQ)	Bogota	361	120171243	ASSY BLADDER SYST II QDYNE PWD	0	2	Zero Stock
11991746	INSR ASSY,9-1/2 HCIM/DDSR/ECMB,25 KSI,NO	Bogota	50	101413012	PCB ASSY TESTED 100MB ECMB	0	1	Zero Stock
11991746	INSR ASSY,9-1/2 HCIM/DDSR/ECMB,25 KSI,NO	Bogota	50	102830300	PCB ASSY,TSTD,HCIM 2,TEKMOS REV2	0	1	Zero Stock
12006126	CLR ASSY 6-3/4 IN CTN,30 KSI,175C	Bogota	24	101625306	BHD ASSY,6-3/4 IN CTN,30 KSI	0	1	Zero Stock

Tabla 3-9. Tiempo de espera de algunos sensores, sin materiales disponibles para inspección. Fuente: base de datos empresarial.

De igual manera se observa en la siguiente tabla, el detalle de sensores que no tienen insumos solicitados.

OPEN RESERVATIONS FOR CURRENT ASSETS IN REPAIR								
Equipment	Description	Plant	DaysInRepair	Material	Material Description	On Hand	Reserved	Stock Level
12692382	INSR ASSY,4-3/4 IN PWD,SOLAR 175,25 KSI	Bogota	274	-	-	-	-	Not Requested
12812279	INSR ASSY,4-3/4 IN PWD,SOLAR 175,25 KSI	Bogota	263	-	-	-	-	Not Requested
11160938	ASSY,PULSER,MK10,SOLAR,BOOTLESS	Bogota	114	-	-	-	-	Not Requested
10916991	ASSY,PULSER,MK10,SS,BOOTED,4WAY ROTARY	Bogota	58	-	-	-	-	Not Requested
12636165	ASSY INS 25KSI BATT HI-FLO 22V	Bogota	50	-	-	-	-	Not Requested
11291653	CLR ASSY PISTON UP BORE MOD 6-3/4 GEOTAP	Bogota	47	-	-	-	-	Not Requested
11058254	GeoSpan Assembly	Bogota	47	-	-	-	-	Not Requested
11162365	COLLAR ASSY 6-3/4` CTN	Bogota	24	-	-	-	-	Not Requested
12412102	ASSY,PULSER,MK10,SOLAR,BOOTLESS	Bogota	23	-	-	-	-	Not Requested
13206547	ASSY INS 25KSI BATT HI-FLO 22V	Bogota	16	-	-	-	-	Not Requested
11861517	Sperry-Drill Mud Motor 8	Bogota	2	-	-	-	-	Not Requested

Tabla 3-10. Sensores sin tener materiales ordenados. Fuente: base de datos empresarial

- Búsqueda de materiales en el almacén repetidas veces. No se cuenta con un proceso estandarizado para realizar la inspección de sensores, por lo que se hacen repetidos viajes al almacén en búsqueda de materiales. Se recorren diariamente una distancia aproximada de 100 metros, ida y vuelta, desde el área de sensores hasta el almacén de inventario por técnico. Al menos cada uno de ellos hace un recorrido hasta el almacén para verificar los materiales necesarios. Total de distancia recorrida de 400 metros, tiempo total aproximado de 24 minutos para 4 técnicos, por día.

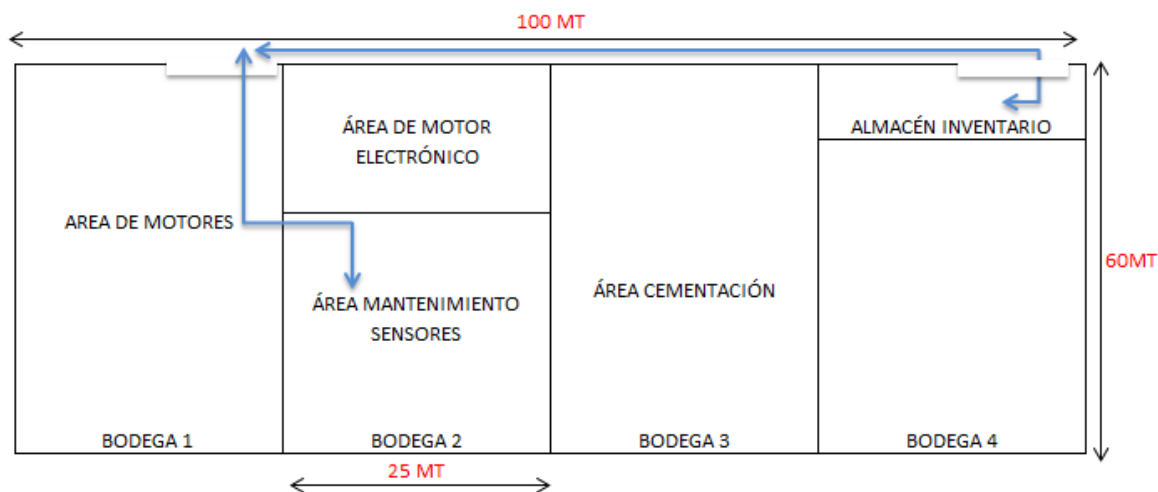


Figura 3-16. Distribución de la planta. Se observa el recorrido en azul que debe realizar el técnico hasta el almacén por materiales, varias veces al día. Elaboración propia.

- No se sabe cuándo llegan los materiales a la planta de manufactura. No existen alertas que permitan saber la llegada de insumos, y tampoco verificación periódica del stock. En la

siguiente tabla se observa que ya llegaron los insumos para los sensores, sin embargo NO se han consumido del inventario y los sensores siguen esperando a ser reparados.

OPEN RESERVATIONS FOR CURRENT ASSETS IN REPAIR									
Equipment	Description	Plant	DaysInRepair	Material	Material Description	On Hand	Reserved	Stock Level	
11375601	INS DGR,DDSR ASSY 6-3/4" & 8", 17-4	Bogota	354	101434683	PCB ASSY TSTD, DDSR-RAILMOUNT W/GYRO	1	1	Stock Available	
11192676	Collar Assy, TwinPin, AFR6 Hi Res 8.32	Bogota	56	101647711	TRANSFORMER, BUTTON CURRENT, AFR-6	5	6	Stock Available	
11967525	ASSY,PULSER,MK10,SOLAR,BOOTLESS	Bogota	16	102094	CASE,CTD,MEAT GRINDER,REPLACEABLE W	2	1	Stock Available	
11967525	ASSY,PULSER,MK10,SOLAR,BOOTLESS	Bogota	16	120154715	TWO-INCH CASE, POSITIVE PULSER	2	2	Stock Available	
11967525	ASSY,PULSER,MK10,SOLAR,BOOTLESS	Bogota	16	120158128	ASSY MAGNET PLATE ENCLOSED	5	1	Stock Available	
11967525	ASSY,PULSER,MK10,SOLAR,BOOTLESS	Bogota	16	120171842	MEATGRINDER WIRE	7	7	Stock Available	
11041682	GP-12.25 Hole 8.00 OD - ASSET	Bogota	15	292161	RS 9600,BELLEVILLE SPR,FOCAL BRG	6	2	Stock Available	
11041682	GP-12.25 Hole 8.00 OD - ASSET	Bogota	15	292910	SPEC ROLL COV 4" X 4	12	12	Stock Available	
11041682	GP-12.25 Hole 8.00 OD - ASSET	Bogota	15	314984	RS 7600,LWR BRG SLV,REPLACES SS.075728	4	4	Stock Available	
11041682	GP-12.25 Hole 8.00 OD - ASSET	Bogota	15	101700855	BRG SLV,CTR BRG,FOCAL,RS 9600	2	2	Stock Available	

Tabla 3-11. Sensores con materiales con stock. Fuente: base de datos empresarial.

Propuesta de solución

1. Integración del Kanban y Visual System:

- Asignar lugares de almacenamiento para los insumos de inventario de los sensores.
- Colocar información visible de cada material, como numero de parte y nombre.
- Clasificar los materiales de acuerdo con el tipo de sensor.
- Colocar alertas visuales para re-abastecer cada material sin dejar que se acabe el stock.
- Crear una manera visual para poder revisar que equipos requieren materiales.
- Aplicar el sistema FIFO en la acomodación de los equipos para disminuir el tiempo de espera.

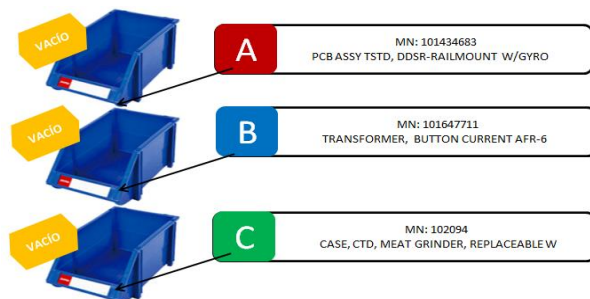


Figura 3-17. Ejemplo que como podría realizarse el Kanban, usando gavetas de almacenamiento etiquetadas. Elaboración propia.

2. Estandarización

- Diseño de una herramienta guía que permita definir el proceso para los sensores que están a la espera de materiales de inventario.

- Crear una programación semanal de los recorridos que se deben realizar hasta el almacén para comprar los materiales de inventario. Con ello se puede realizar un sólo recorrido por todas las áreas para compilar los pedidos y abastecer los Kanban diseñados. Así, también se podrá revisar que materiales han llegado, y se podrá realizar el mantenimiento a los sensores a tiempo.

Resultados obtenidos

1. Integración del Kanban y Visual System:

- Se implementó el sistema Kanban en las áreas para poder establecer en menos de 30 segundos que materiales no hay disponibles y cuales sí. Se clasificaron los materiales para cada tipo de sensor, identificando el número de parte, el nombre y la cantidad mínima a pedir, el color de cada etiqueta significa el sensor al que pertenecen, las letras y números son para poder identificarlos rápidamente en el stand. El objetivo es poder contar con un sistema que permita la visualización rápida que materiales se deben ordenar y de cuales no de manera eficiente, por lo tanto los sensores tendrán sus insumos requeridos para el mantenimiento a tiempo. El aprovisionamiento de materiales es “halado” por la demanda de cada sensor (Pull system), de esta manera se tendrán los sensores listos para el trabajo que los requiera de manera oportuna.

Para poder abastecer el Kanban, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- La cantidad de materiales por sensor que se requieren.
- La probabilidad de cambio de cada material, de acuerdo con las políticas de mantenimiento de la empresa.
- El lead time desde que se realiza la compra del material.
- La demanda mensual de cada sensor.
- Abastecimiento semanal a la planta, por parte de Supply Chain.

Por lo tanto, la cantidad del Kanban por contenedor está dada por:

$$\text{Cantidad por contenedor} = \text{Demanda} \times \text{leadtime}$$

$$\text{Demanda} = \text{Cantidad sensores requerida} \times \text{cantidad del material por sensor} \\ \times \text{frecuencia cambio}$$

Se utiliza un Kanban de dos contenedores, y una alerta de cambio cuando el primer contenedor está vacío.



Figura 3-18. Fotos donde se observa el almacenamiento del inventario y el diseño del Kanban de dos cajas en el área de inspección. Las etiquetas rojas muestran los materiales que NO tienen stock.

2. Estandarización

- Diseño de una herramienta guía el cual expondrá el flujo para los equipos a la espera de mantenimiento, bajo el siguiente esquema. Se detallará en la sección 3.5.



Figura 3-19. Esquema de la herramienta guía. Elaboración propia.

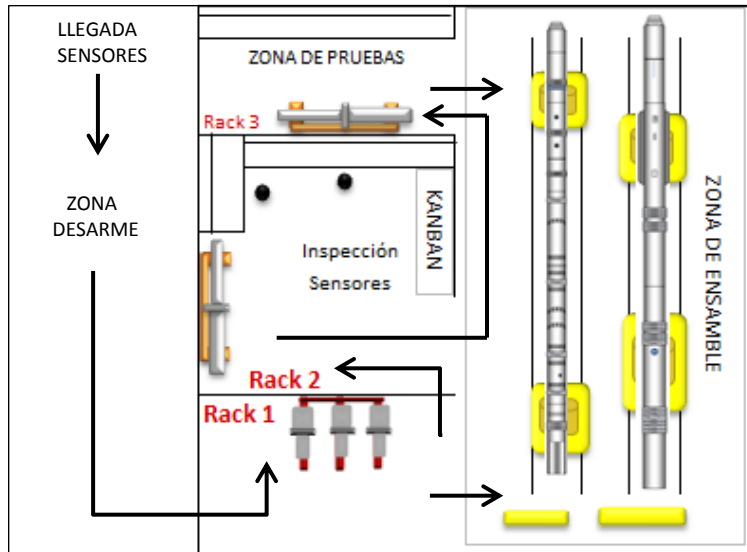


Figura 3-20. Layout final de la planta, se observa la ubicación del Kanban y los Rack de los sensores. Elaboración propia.

- Adicionalmente, se realiza una programación semanal para el abastecimiento de los Kanban, y la verificación del rack de sensores esperando por falta de materiales, con el fin de siempre los técnicos siempre estuvieran enfocados en el mantenimiento y la calidad teniendo todos los insumos y equipos a la mano, sin desperdiciar tiempo y movimientos. El objetivo es que el supervisor diariamente realice el recorrido hasta el almacén para abastecer todos los Kanban de la planta, por lo que el tiempo se reduce un 75% del inicial, que corresponden a 6 minutos diarios.

La evaluación final detallada de los beneficios se expondrá en la sección 3.6.

Causa Raíz 3	No hay proceso definido para la requisición de materiales de inventario
Efecto	Re-procesos en el pedido de materiales al no saber la necesidad rápidamente
Mudas	Re-procesos
Herramienta Lean	Visual System, Estandarización
Artículos relacionados	2
Beneficios según la revisión de la literatura	Reducción tiempo de producción. Control calidad y producción

Detalle

- No hay visualización rápida de las necesidades de cada sensor, las herramientas se encuentran en estantes, pero no se sabe el estado de cada una y en los estantes de insumos de inventario no se sabe que hay disponible, ni que hace falta. Por lo que es necesario buscar la información en las bases de datos y físicamente para poder realizar el pedido. Así mismo, los pedidos se están haciendo para un equipo puntual, sin considerar el lead time ni la demanda futura, ya que se desconocen. Tampoco existe continuidad ni flujo establecido para realizar el proceso de requisición de materiales de inventario. En las fotos se observa el almacenamiento de los sensores e insumos, no se sabe su necesidad ni que tipos de materiales hay.



Figura 3-21. Foto izquierda, almacenamiento de materiales de inventario. Foto derecha, almacenamiento de sensores, no es posible saber su necesidad fácilmente.

Propuesta de solución

1. Integración de un sistema visual:
 - Diseñar una ayuda visual en la que se pueda visualizar la demanda de sensores, y el estado de las etapas del proceso.




ZONA DE DESARME		
CONFIGURACION SENSORES	DESTINO	FECHA
ZONA DE DESARME		
CONFIGURACION SENSORES	DESTINO	FECHA
STATUS SENSORES		
 LISTOS		
 EN PROCESO		
 INSPECCIÓN		

Tabla 3-12. Ejemplo de tablero de control de la producción. Elaboración propia.

2. Estandarización:

- Diseñar una herramienta guía en el que se estandarice el proceso de requisición de materiales de inventario, el objetivo es crear un listado de materiales (BOM) de cada sensor con la cantidad requerida, el porcentaje de cambio en cada mantenimiento, la demanda con el fin de poder realizar el pedido teniendo en cuenta toda la flota de sensores y no uno individualmente, también incluir el lead time de manufactura y tiempo en tránsito desde el origen de cada material.

Resultados Obtenidos

1. Integración de un sistema visual:

- Se asignó en un rack especial en el área de inspección para los sensores a la espera de materiales, con el listado de insumos requeridos, esto incluye el número de la orden, cantidades, y tiempo de llegada. El encargado del área es quien se encarga de verificar la llegada de materiales faltantes para la inspección y reparación final y así poder tener los equipos listos para operar en menor tiempo. Cada nivel tiene asignado una letra, para poder identificar fácilmente que materiales está esperando. En la parte superior se encuentra categorizado la necesidad del sensor, las letras A y E, significan que los materiales ya llegaron y el sensor está listo para inspección y reparación, las letras B, C, D significan que los materiales aún no han llegado.
- El sistema usado para realizar el mantenimiento es FIFO señalado con las flechas que indican cual es el siguiente, sin embargo, por políticas de calidad y condiciones operaciones del cliente puede tener diferente priorización, por eso en ocasiones no se colocan las

flechas.



Figura 3-22. Foto izquierda, almacenamiento de materiales que necesitan inventario. Foto derecha, estantes donde se encuentra el detalle de materiales requerido para cada sensor.

- Se creó un tablero de control de la producción para poder visualizar los equipos que necesitan mantenimiento o materiales, y los que están operativos. El encargado del área diariamente actualiza la información, así la información es visible y clara para todo el personal. El tablero permite ver si hay interrupciones o retrasos en el proceso. En la zona verde se encuentra lo que esta ensamblado y operativo, lo que está en amarillo representan los sensores a la espera de materiales de inventario, y lo que está en verde claro es lo recién reparado.
- En la parte superior se encuentra la configuración de sensores a desarmar diariamente, con su respectiva fecha de llegada y el trabajo del que llegan las herramientas. Así mismo en la parte inferior, está la configuración de sensores que se requiere diariamente con su respectivo destino y personal de calidad que certifica la herramienta. Esto permite programar la producción de la planta de manera oportuna de acuerdo con la variabilidad de la demanda del cliente.

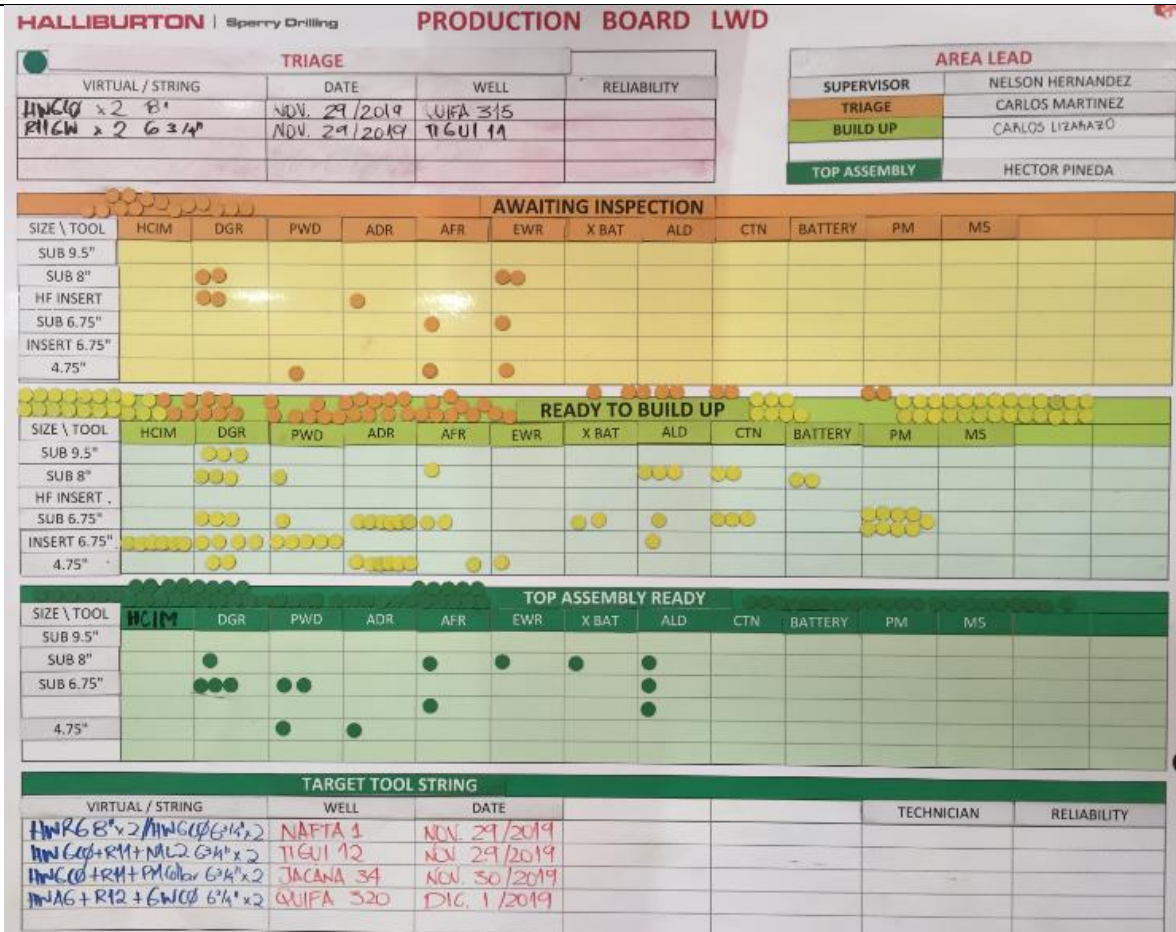


Figura 3-23. Tablero de control de la producción de la planta.

2. Estandarización:

- Por medio del diseño de un listado de materiales por sensor, que recopile la información técnica de cada mantenimiento como el BOM, la frecuencia de cambio y cantidad requerida, se podrá realizar el pedido de materiales adecuado y a tiempo para cada sensor, tal como se muestra en el esquema de la figura 3-24. Por medio del Kanban elaborado se podrá unir la información para categorizar los materiales según la necesidad. La estandarización se mostrará a detalle en la sección 3.5.

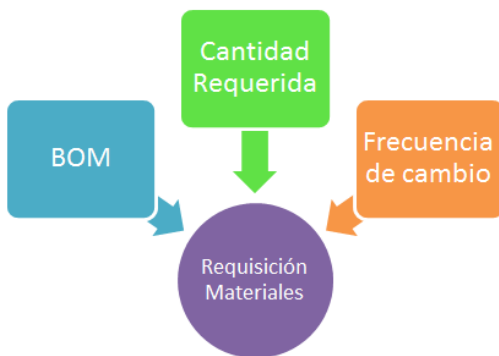


Figura 3-24. Esquema del archivo creado para solicitar materiales. Elaboración propia.

Y la evaluación final de los beneficios se expondrá en la sección 3.6.

Por lo anterior, basado en la integración de las herramientas lean al proceso desarrollado en la planta, se espera poder reducir los mudas que ocasionan un tiempo de proceso elevado que se ve reflejado en el bajo rendimiento de la planta, así como el aumento del tiempo de abastecimiento de los materiales de inventario, dejando a los sensores en espera y con baja utilización. La evaluación de los KPI y profundización de los resultados obtenidos se hará en la sección 3.6.

3.4.2 Falta de información entre áreas

Respecto al segundo aspecto relacionado con procesos, está la falta de comunicación entre las áreas, esto ocasiona que se tengan retrasos en los pedidos, por desconocimiento del lead time, actualización de números de parte, llegada de los insumos, entre otros. Por lo que se requiere de una herramienta que permita integrar la información requerida entre ambas áreas.

Causa Raíz	No existe un protocolo de comunicación entre la línea de producción y el área de Supply Chain, que permita dar a conocer el lead time de los materiales, el tiempo en tránsito, ni las necesidades futuras de la planta
Efecto	Retraso en el pedido de materiales de inventario
Mudas	Re-procesos
Herramienta Lean	Estandarización, JIT
Artículos relacionados	10
Beneficios según la revisión de la literatura	Reducción tiempo de producción. Manejo correcto del inventario
Detalle	

Los materiales de inventario no llegan oportunamente, y otro factor que lo produce es que no hay traspaso de la información entre el personal de la planta y tampoco con el personal de Supply Chain. Así mismo, no existe un diagrama que establezca el flujo de la comunicación entre las áreas. Por lo tanto hay que revisar repetidamente los materiales para verificar si están ordenados, si ya llegaron, adicionalmente, se colocan las órdenes varias veces sin necesidad, o no se realizan la compra en la cantidad justa en el tiempo justo. En las siguientes imágenes del sistema SAP usado en la empresa, se puede observar que hay materiales sin ordenar, otros pedidos pero no comprados, otros comprados pero se desconoce el tiempo de llegada. Desafortunadamente el sistema no arroja toda información requerida en un solo enlace, es necesario realizar varios movimientos y contar con accesos de mayor nivel para que el técnico pueda acceder a toda la información completa.

Client/Company Code/Plant/Storage Location/Batch/Special Stock	RecValSt	Unrestricted use	Qual. inspection	Reserved	Rcpt reservation	On-Order Stock
Full	0.000					
6070 Hall Latin America SRL	0.000					
1650 Bogota, Colombia	0.000					

Figura 3-25. Pantallazo del sistema SAP para verificación del stock de materiales. Este material no tiene stock. Fuente: Base de datos empresarial

Client/Company Code/Plant/Storage Location/Batch/Special Stock	RecValSt	Unrestricted use	Qual. inspection	Reserved	Rcpt reservation	On-Order Stock
Full	0.000			12.000		12.000
6070 Hall Latin America SRL	0.000			12.000		12.000
1650 Bogota, Colombia	0.000			12.000		12.000
1117 Sperry A018030602	0.000			12.000		12.000

Figura 3-26. Pantallazo del sistema SAP para verificación del stock de materiales. Material tiene ordenado a manufactura 12 unidades. Fuente: Base de datos empresarial.

Selection					
Material	120162023	CB ASSY, TSTD, EWR-P4 4.75 RCVR BD			
Material Type	ZCSS	Critical Service Spares			
Unit of Measure	EA	Base Unit of Measure	EA		
Stock Overview					
Client/Company Code/Plant/Storage Location/Batch/Special Stock	RecVal/Sit	Unrestricted use	Qual. inspection	Reserved	Rcpt reservation
Full	0.000			2.000	
6070 Hall Latin America SRL	0.000			2.000	
1650 Bogota, Colombia	0.000			2.000	
1117 Sperry A01B0503	0.000				

Figura 3-27. Pantallazo del sistema SAP para verificación del stock de materiales. Material tiene solicitado 2, pero no se ha efectuado la compra a manufactura. Fuente: Base de datos empresarial.

Propuesta de Solución

Según Belekoukias et Al, (2014) una herramienta de la metodología JIT, es la *JIT purchasing*, el cual permite realizar la compra de insumos a los proveedores de manera oportuna y en la cantidad precisa, dejando como consecuencia una reducción del inventario y del lead time. Basado en esto, se diseña un herramienta guía, el cual permite la estandarización del proceso de requisición de materiales y la integración de la información técnica de los sensores, con la demanda de cada sensor proporcionada por el área de operaciones, y con los tiempos de despacho y fabricación suministrada por Supply Chain; todo ello, con el fin de realizar la compra de materiales a tiempo, y ayudar a reducir el tiempo de ciclo que estaba presentando en este proceso.



Figura 3-28. Esquema para la estandarización del proceso de requisición.

Resultados Obtenidos

La herramienta guía diseñada especifica la manera como se debe realizar el pedido de materiales de inventario, el cual se detallará en el numeral 3.5.

Se espera que la herramienta diseñada sea una guía para el personal de la planta, en el que se detallará el paso a paso para lograr eficientemente el pedido de materiales, sin retrasos, logrando una reducción del lead time.

3.4.3. Desconocimiento de algunas de las etapas del proceso

Debido al incremento de operación en los dos últimos años en la empresa, se ha tenido que aumentar la fuerza laboral en la planta, pero los entrenamientos desarrollados al personal se enfocaron en el mantenimiento, y no en el proceso de requisición de materiales. Se pensaba que se había realizado completa y correctamente la transferencia de posiciones con su respectiva capacitación, pero al realizar las entrevistas se observaron los vacíos durante dicho proceso. El desconocimiento de las etapas del proceso de requisición, fue producido por no establecer los responsables de realizar el pedido de materiales, por lo que se produjo desorden y reprocesos en los pedidos. Al no tener establecida la estandarización del proceso de requisición, cada técnico realizaba los pedidos individualmente sin contar con la información necesaria para realizarlo eficientemente.

Para dar solución a este tipo de inconveniente, la herramienta mencionada en el numeral 3.4.2 será la guía para poder realizar el pedido de materiales de manera correcta, cumpliendo todos los requisitos de la planta, incluyendo los responsables de cada área.

Por lo tanto, se espera que la integración de las herramientas Lean a los procesos de la planta favorezca a la eficiencia del taller así como la reducción del tiempo de abastecimiento del inventario. Al contar con procesos eficientes, se eliminan los desperdicios que generan pérdidas de tiempo, y permite que los técnicos estén enfocados en el mantenimiento, calidad y la producción. En la siguiente sección, se expondrá en detalle la elaboración de la herramienta guía el cual fue la propuesta de solución en la estandarización del manejo de los sensores en la planta y del proceso de requisición expuestos en esta sección.

3.5 Diseño y generación de la herramienta guía

Partiendo de las problemáticas y hallazgos de la sección 3.4, se expone a continuación el diseño de la herramienta guía completa, diseñada para la integración de herramientas Lean en planta de la empresa en estudio, así como para la estandarización de proceso de requisición de inventario y el flujo de los sensores que requieren mantenimiento.

3.5.1 Estructura de la herramienta guía

Una herramienta guía se describe como unos lineamientos a seguir de manera sistemática y exhaustiva por parte de una organización; esta herramienta debe contar con unos criterios fáciles de entender, simples y claros, capaces de responder preguntas como ¿Cómo se hace?, ¿Qué es?, ¿Qué pasos seguir? (Rose et Al, 2010). El objetivo de la herramienta es dar a conocer la metodología estandarizada del proceso al personal de la planta, que pueda ser seguida fácilmente, y lo suficientemente clara como para no requerir soporte adicional, una vez sea socializada.

Así mismo, el objetivo de cada iniciativa de implementación Lean proporciona pautas o discute los pasos necesarios para una transición ajustada. Cada iniciativa consiste en algunos elementos o componentes que una organización necesita seguir para lograr el proceso de transformación Lean (Mostafa et Al, 2013). Por ello es de gran importancia que dicha herramienta guía, tenga un esquema general de como es el paso a paso para poder conseguir un proceso eficiente a través de la integración de herramientas Lean, y posteriormente detallar cada uno de los pasos y con su respectivo objetivo.

Según Mostafa et Al (2013), hay 9 factores que impactan la implementación de Lean, descritos en la tabla 3-12, y que fueron tenidos en cuenta en la elaboración de la herramienta guía.

Impactos Implementación	Detalle
Equipo de Expertos	Los expertos en Lean son un nodo importante, facilitan y promueven el cambio. Brinda capacitación y soporte al personal
Análisis de la situación actual	La evaluación interna analiza todos los atributos de la organización, como el personal, instalaciones, ubicación, productos y servicios, para identificar debilidades y poder aplicar Lean
Planificación de comunicación Lean	La comunicación adecuada entre los empleados facilita el proceso de implementación de Lean.
Proceso de entrenamiento	Las organizaciones deberían enfatizar en la educación y la capacitación eficaces relacionadas lean y medir el impacto del entrenamiento en los resultados

Herramientas Lean	Las herramientas necesitan integrarse en la práctica para ofrecer un proceso de transformación racionalizado y de alta calidad. Además, la selección adecuada de herramientas lean contribuye a mejores decisiones de eliminación de residuos. No todas las herramientas lean pueden resolver el mismo problema, y no todos los problemas pueden resolverse con una sola herramienta.
Value Stream Mapping	El mapeo de procesos apoya la transformación eficiente mediante la identificación de oportunidades para la eliminación de residuos. VSM se emplea para identificar las áreas que necesita ser mejoradas y decidir los desechos que se eliminarán.
Revisión de Lecciones aprendidas	Documentación de lecciones aprendidas mantiene datos, información y conocimiento para futuras revisiones.
Evaluación Lean	La evaluación lean proporciona un índice general de puntaje de rendimiento lean de una organización y facilita la toma de decisiones posteriores.
Monitoreo, control y sostenibilidad	El proceso recomienda tener acciones preventivas para cualquier situación imprevista. Además, permite identificar cualquier factor influyente en la implementación lean. Establecer mecanismos de monitoreo y control asegura la sostenibilidad del rendimiento eficiente a largo plazo.

Tabla 3-13. Impactos para implementación Lean. Elaboración propia. Fuente Mostafa, 2013

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores, en el siguiente gráfico se presenta el esquema general de la herramienta guía, en el cual se identifican claramente los pasos a seguir para la integración de herramientas Lean para la planta de la empresa en estudio, la estandarización del proceso de requisición y el flujo de los sensores.

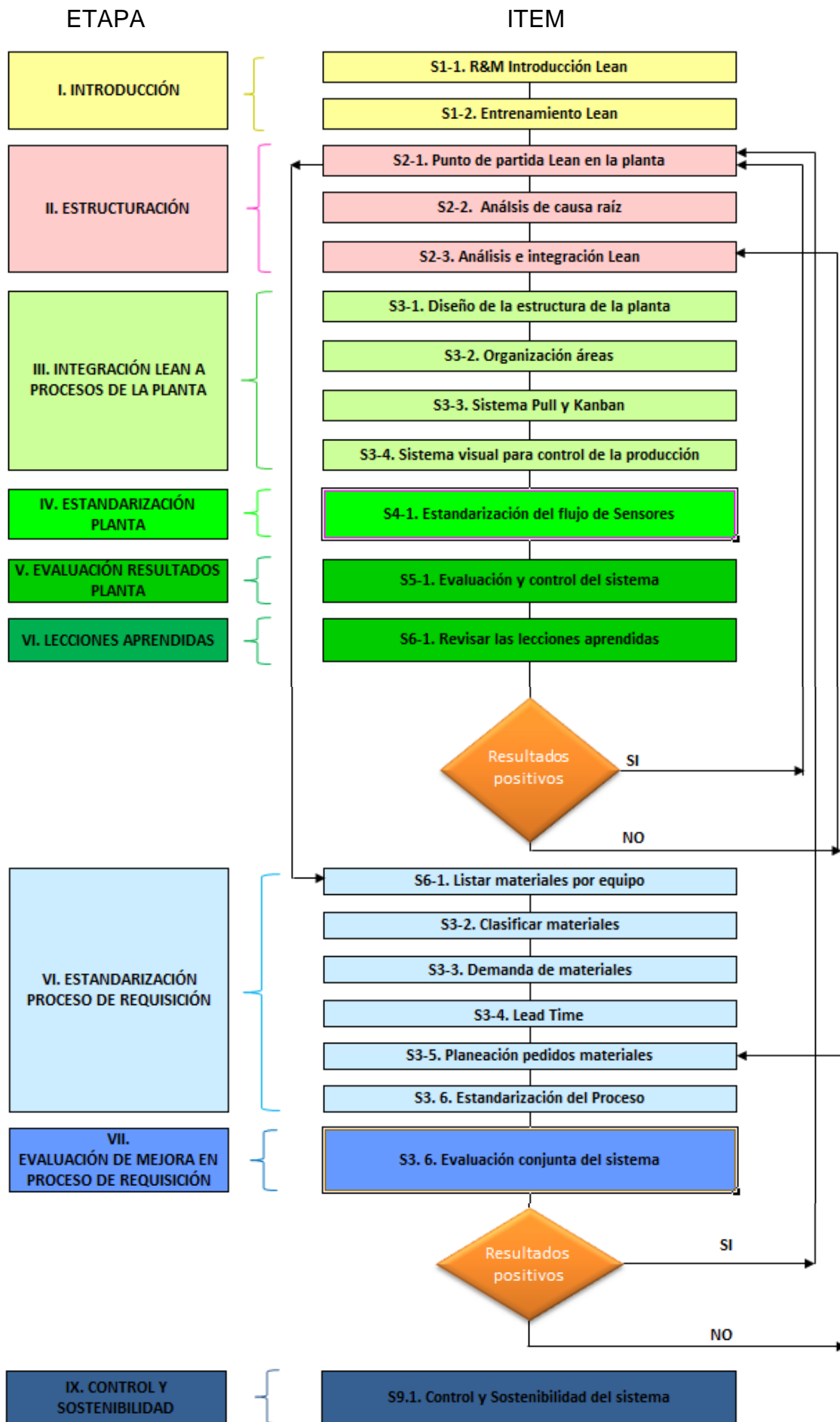


Figura 3-29. Diagrama general de la herramienta guía para la planta.
Elaboración propia

El esquema general comprende 9 etapas, las cuales brindan la información inicial necesaria de cómo integrar las herramientas Lean a los procesos de la planta de la empresa en estudio, así como la estandarización del proceso de requisición de materiales de inventario y manejo de sensores que requieren mantenimiento. El objetivo es orientar al personal de forma clara con el fin de estructurar cada paso a seguir dentro de la organización. Cada etapa de la herramienta guía, contiene las acciones requeridas, los objetivos a conseguir y los ejemplos de cómo debe ser implementado. Cuenta también con la documentación requerida como soporte.

ETAPA I: Introducción

En esta fase se debe realizar la introducción al personal de la planta de la metodología Lean, se conforma el equipo líder con el perfil adecuado y se plantean las capacitaciones requeridas para lograr habituar a todo el personal en dicha metodología. Es importante medir los conocimientos del personal, para asegurar el éxito de la integración de las herramientas Lean en la planta.

ETAPA II: Estructuración

Es el punto de partida para poder integrar las herramientas Lean a la planta, se inicia con el análisis del flujo de la producción, detección de mudas y de actividades que no generan valor, por medio de un VSM (Value Stream Mapping). Los participantes del análisis serán el personal involucrado y se deben incluir todas las áreas del proceso en estudio. Se realiza también un análisis de causa raíz de las interrupciones o inconvenientes de planta, por medio de metodologías como Ishikawa y 5 porque. Y finalmente, se combinan los resultados del VSM, de la causa raíz, con la meta establecida en la planta, para poder integrar las herramientas Lean que se adecuen a los procesos de cada área y logren reducir los Mudras o desperdicios encontrados.

ETAPA III: Integración de herramientas Lean

Con los problemas de la planta claros y establecidos, plantear las diferentes opciones de herramientas Lean disponibles para reducir los Mudras encontrados. Diseñar una nueva estructura de planta con el fin de conseguir un flujo constante sin interrupciones, establecer áreas fijas de trabajo y de almacenamiento. Organizar, clasificar los equipos por medio de metodologías como las 5S, implementar el sistema Pull por medio del Kanban, con el fin de visualizar las necesidades de los equipos en tiempos menores a 30 segundos. Finalmente, diseñar ayudas visuales que ayuden al control de la producción, permitiendo la visualización del estado de los equipos, la eficiencia y producción a todo el de la planta.

FASE IV: Estandarización del flujo de sensores en la planta

Establecer el flujo de sensores desde su llegada a la planta, mediante la estandarización del proceso, con el objetivo de que personal conozca el proceso completamente, tal como se muestra en la figura 3-25.

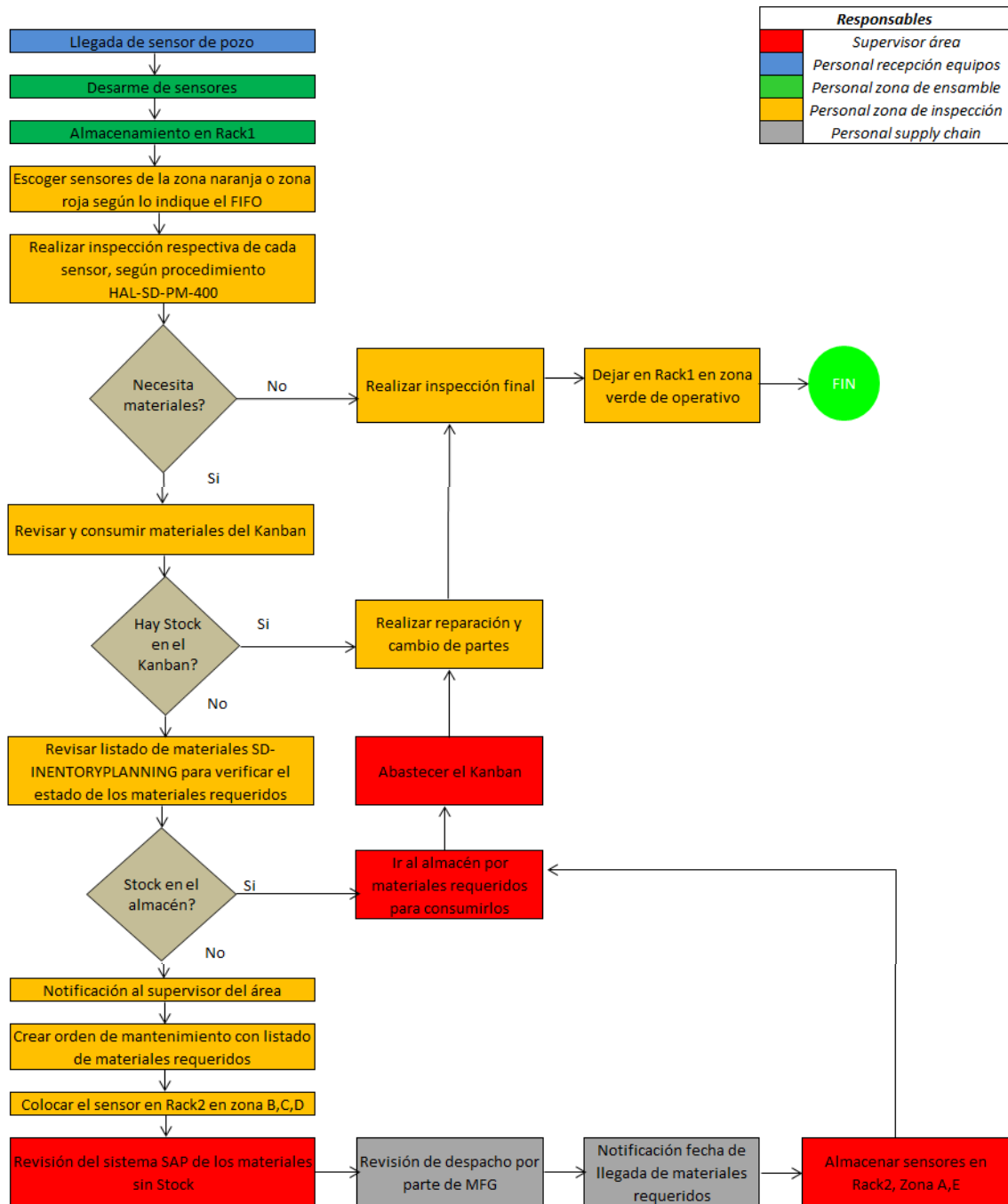


Figura 3-30. Esquema de estandarización del proceso. Elaboración propia

FASE V: Evaluación de resultados

Bajo los parámetros establecidos en la Tabla 3-14, evaluar el flujo de la planta después de la integración de las herramientas Lean, comparando el rendimiento de cada área, buscando siempre como poder seguir mejorando. Compartir cómo se siente el equipo con las mejoras.

DESCRIPCIÓN	EVALUACIÓN
Medir el tiempo Takt y de ciclo del proceso total de la planta	Demanda > Unidades producidas

Tabla 3-14. Evaluación de resultados de la integración Lean en la planta en a herramienta guía. Elaboración propia.

FASE VI: Lecciones aprendidas

Consiste en compilar los aspectos negativos y problemáticas obtenidas durante la integración de las herramientas Lean en la planta, plantear planes de acción para cada uno de ellos, establecer responsables y fechas para su correcta ejecución. Adicionalmente, llevar control de su ejecución.

FASE VII: Estandarización del proceso requisición

Para estandarizar el proceso se plantea el siguiente esquema de trabajo, en el que se parte de la información de la planta, posteriormente el área de supply chain la complementa para poder realizar una planeación conjunta de la requisición de materiales de inventario.

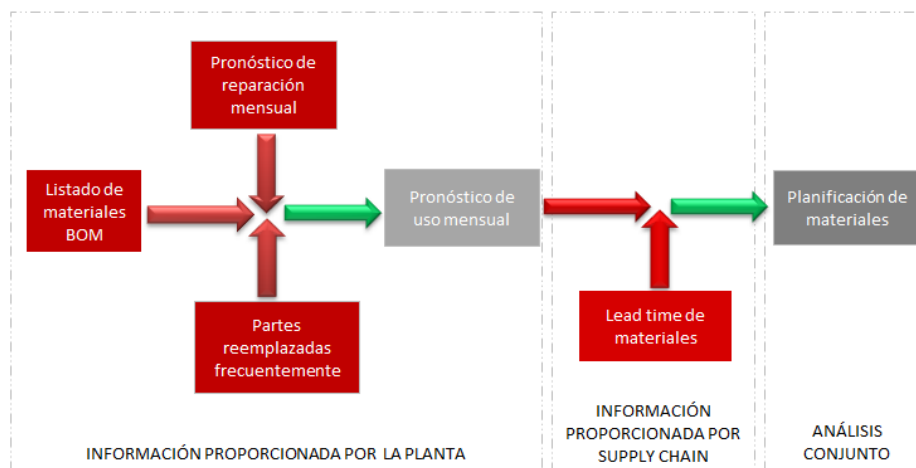


Figura 3-31. Esquema de estandarización del pedido de materiales. Elaboración propia

El objetivo es realizar un listado de materiales (BOM) de cada sensor con sus respectivas cantidades, clasificarlos por su rotación o frecuencia de uso, definir la demanda mensual, y el Lead Time de cada material. Posteriormente realizar la planeación del pedido de cada material, teniendo en cuenta si ya existen órdenes de compra hechas. Esta fase da la visibilidad tanto a la producción de la planta, operaciones y a Supply Chain, por lo que se tendrá un mayor conocimiento y seguimiento de la llegada de los materiales de inventario, logrando un mejor control del mismo. El objetivo es realizar reuniones cada dos semanas con el planeador de la demanda, operaciones y el supervisor de la planta para tomar acciones oportunamente, de acuerdo con las variaciones de la demanda o la producción de materiales de manufactura.

En la herramienta guía, encontrada en el archivo anexo a este documento, en la hoja llamada SD-INVENTORYPLANNING-705, se encuentra el detalle de la manera como se realiza el pedido de materiales. Allí la primera parte es la información técnica de cada sensor proporcionado por la planta, columnas A,B,C,D,E, posteriormente el área de Supply Chain completa la información del Lead Time de fabricación de manufactura, el tiempo en tránsito, el stock en el almacén, y las órdenes de compra ya realizadas de cada uno de los materiales, columnas F,G,H,I,J. Posteriormente, el área de operaciones, de acuerdo con la necesidad del cliente, coloca la demanda mensual del sensor, columna K. Lo que finalmente arroja la cantidad mensual requerida por cada material, columna L. las siguientes tablas muestran cómo se aparece en el archivo de la herramienta guía.

PLANTA				
SENSOR	NÚMERO DE PARTE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD POR SENSOR	FRECUENCIA DE USO
CONSUMIBLE	120136797	TAPE SIL SPONGE 1/16" X 2"	1	100%
CONSUMIBLE	120142976	WISE CHAIN W/STAND	1	100%
DENSIDAD	120141188	PADLOCK SOURCE SHIELD	2	100%
DIRECCIONAL	101252758	GAP PAD PSU/ANALOGUE PCB	1	100%
DIRECCIONAL	265600	THERMAL MAT,PCM PSU + 1553 PCB	1	100%
GAMMA	101588306	PCB ASSEMBLY, PCD-RH PSU,FINAL	1	100%
INCLINACIÓN	264253	ASSY, BATTERY STAVES 4.75 ABI	1	100%
INCLINACIÓN	256947	ABI 8.000 XMTR ASSEMBLY SEAL KIT	2	100%
INCLINACIÓN	120157685	8 IN ABI TX MOULDED BATTERY PACK	2	100%
PORISIDAD	104820	DUMMY SOURCE PLUG, LONG, CTN	1	100%
PORISIDAD	77946	PLUG,BULL,NTN SCE,16/19 CI,8 IN CTN	1	100%
PRESIÓN	120170249	ADPTR ASSY,HARDCONNECT,BTRY,4-3/4 IN PWD	1	100%
PRESIÓN	120171244	WEDGE RING, BLADDER ASSY, PWD	1	100%

Tabla 3.15. Información técnica de cada sensor suministrada por la planta.
Elaboración propia.

SUPPLY CHAIN					
SENSOR	LEAD TIME MFG DÍAS	TRÁNSITO DÍAS	LEAD TIME TOTAL	STOCK	ORDENES ABIERTAS
CONSUMIBLE	60	7	67	1	3
CONSUMIBLE	79	7	86	1	0
DENSIDAD	60	7	67	2	2
DIRECCIONAL	102	7	109	0	0
DIRECCIONAL	120	7	250	34	0
GAMMA	28	7	35	32	0
INCLINACIÓN	124	7	131	30	0
INCLINACIÓN	123	7	130	57	1
INCLINACIÓN	127	7	134	50	2
PORISIDAD	111	7	118	0	2
PORISIDAD	101	7	108	0	3
PRESIÓN	60	7	67	77	2
PRESIÓN	112	7	119	14	0

Tabla 3.16. Información suministrada por el área de Supply chain.

Elaboración propia.

OPERACIONES		
SENSOR	DEMANDA MENSUAL SENSOR	DEMANDA MATERIAL
CONSUMIBLE	1	1
CONSUMIBLE	4	4
DENSIDAD	6	12
DIRECCIONAL	30	30
DIRECCIONAL	30	30
GAMMA	24	24
INCLINACIÓN	8	8
INCLINACIÓN	8	16
INCLINACIÓN	8	16
PORISIDAD	6	6
PORISIDAD	6	6
PRESIÓN	24	24
PRESIÓN	24	24

Tabla 3.17. Demanda suministrada por operaciones. Elaboración propia.

Y finalmente, en la parte final columnas, M,N,O,P se observa la planeación mensual requerida para cada material basada en la información compilada. Es decir, la configuración del MRP, que significa Material Requirement Planning, que se puede hacer de dos maneras: la primera, el sistema “Automático”, que significa que el sistema SAP hace la orden por sí solo, o la segunda “Pedido manual”, el cual el técnico debe realizar el pedido manualmente. Posteriormente coloca los lotes a pedir de acuerdo a la demanda establecida. Todos los cálculos el archivo los realiza automáticamente, ya está formulado para tal fin. Por lo que el técnico podrá fácilmente realizar el pedido en las cantidades apropiadas, ya que tienen todos los factores en cuenta, aplicando el “core” del JIT, tener las cantidades correctas en el tiempo correcto.

PLANEACIÓN MENSUAL					
SENSOR	MRP	PUNTO DE RE-ORDEN AUTOMÁTICO SUGERIDO	LOTE AUTOMÁTICO A PEDIR	LOTE MANUAL A PEDIR	COMENTARIOS
CONSUMIBLE	AUTOMÁTICO	-2	0	0	REVISAR SI SE NECESITA PEDIR
CONSUMIBLE	AUTOMÁTICO	10	5	0	OK
DENSIDAD	AUTOMÁTICO	23	11	0	OK
DIRECCIONAL	AUTOMÁTICO	109	55	0	OK
DIRECCIONAL	AUTOMÁTICO	216	108	0	OK
GAMMA	AUTOMÁTICO	-4	0	0	REVISAR SI SE NECESITA PEDIR
INCLINACIÓN	AUTOMÁTICO	5	2	0	OK
INCLINACIÓN	AUTOMÁTICO	11	6	0	OK
INCLINACIÓN	AUTOMÁTICO	19	10	0	OK
PORISIDAD	AUTOMÁTICO	22	11	0	OK
PORISIDAD	AUTOMÁTICO	19	9	0	OK
PRESIÓN	AUTOMÁTICO	-25	0	0	REVISAR SI SE NECESITA PEDIR
PRESIÓN	AUTOMÁTICO	81	41	0	OK

Tabla 3.18. Visualización de la planeación. Se observan las cantidades a pedir, los negativos significan que hay stock o ya está la orden de compra.

Elaboración propia.

FASE VIII: Evaluación del proceso requisición

Evaluar conjuntamente si los materiales de inventario están llegando oportunamente, y en las cantidades deseadas, cumpliendo con la demanda prevista, revisando en las bases de datos la cantidad de materiales sin stock, mensualmente.

FASE IX: Control y Sostenibilidad del sistema

Controlar y verificar la sostenibilidad de la integración de las herramientas Lean a los procesos de la planta. El objetivo es poder resaltar los resultados obtenidos con el fin de compartirlos con toda la organización, esto hará que la mejora continua se convierta en una premisa a seguir diariamente.

3.5.2 Esquema general herramienta guía

La herramienta guía está hecha en un archivo de Excel, diseñada de como se muestra en la tabla 3-14. Adicionalmente se coloca como anexo, para poder ser detallada.

Hoja 1	Esquema general, mostrado en la figura 3-25
Hoja 2	Detalle Implementación. Donde se explica cada ítem, su objetivo y ejemplo de implementación
Hoja 3	Estandarización del flujo de la planta, detallado en etapa IV
Hoja 4	Evaluación Lean, detalle de la etapa V
Hoja 5	Lecciones aprendidas, detalla etapa VI
Hoja 6	Listado de materiales con información técnica de los sensores, lead time, y demanda. El archivo proporciona la cantidad de material a pedir
Hoja 7	Estandarización del proceso requisición, etapa VII

Tabla 3-19. Detalle del archivo de la herramienta guía. Elaboración propia.

Debido a lo visto anteriormente la herramienta guía contiene las pautas requeridas para la integración de las herramientas Lean a los procesos de la planta con el fin de conseguir a reducción del tiempo de abastecimiento de los materiales de inventario, poder tener los sensores y equipos listos para operar, mejorando de esta manera la eficiencia de la producción y por lo tanto mejor tiempo de respuesta de la compañía al cliente.

3.6 Evaluación de resultados

De acuerdo con lo observado en el capítulo 3.4 en el que se integraron diferentes herramientas Lean a los procesos de mantenimiento y requisición de materiales de inventario, se procede a evaluar los resultados obtenidos. Para comprender mejor esta etapa se dividirá en la evaluación de las herramientas Lean, los KPI propuestos en la sección 1.1 y el análisis VSM del estado futuro o posterior a la implementación de Lean en la planta en estudio.

3.6.1 Evaluación de la herramienta guía

Con el fin de evaluar la pertinencia de la integración de las herramientas Lean a los procesos de la planta se procede a evaluar el desempeño cada uno. Una vez realizadas las modificaciones, se procedió a realizar mediciones diariamente durante un mes, con el fin de analizar el flujo del proceso en la planta. Los resultados fueron exitosos, se obtuvo una reducción en los mudas presentes durante el proceso, que se tradujeron en la reducción del tiempo de ciclo de cada proceso.

Por lo que para evaluar si la integración Lean y la estandarización del procesos de requisición propuesto fue satisfactorio, se realizó la medición del tiempo de ciclo de cada proceso, el cual obtuvo los resultados que se mencionan en la tabla 3-16.

PROCESOS DE LA PLANTA	KPI ANTES	KPI DESPUÉS
1. Selección y desarme de Herramientas	Tiempo Ciclo = 4,28 hrs/hta	Tiempo Ciclo = 2,2 hrs/hta
2. Inspección de Herramientas	Tiempo Ciclo = 38 hrs/hta	Tiempo Ciclo = 8 hrs/hta
3. Pedido materiales de inventario	Tiempo Ciclo = 8 hrs/hta	Tiempo Ciclo = 1,5 hrs/hta
4. Ensamble y Pruebas	Tiempo Ciclo = 10 hrs/hta	Tiempo Ciclo = 6 hrs/hta

Tabla 3-20. Antes y después del Takt time, y tiempo de ciclo en cada proceso.

Por lo anterior, se observa una mejora en la producción de los 4 procesos de la planta, y esto es el reflejo de la estandarización del proceso de requisición y la integración de las herramientas Lean en el área de inspección.

3.6.2 Evaluación de los KPI principales de la investigación

Los dos KPI propuestos en esta investigación son la reducción del tiempo de abastecimiento de los materiales de inventario de la planta, seguido de la reducción de la cantidad de sensores a la espera de materiales, mencionados en la sección 1.1. Dichos KPI fueron impactados positivamente por la reducción del tiempo en proceso de la planta en estudio detallado en la tabla 3-16, debido a la reducción de mudas que ocasionaban el retraso de los pedidos de materiales, dejando los sensores esperando por largo tiempo.

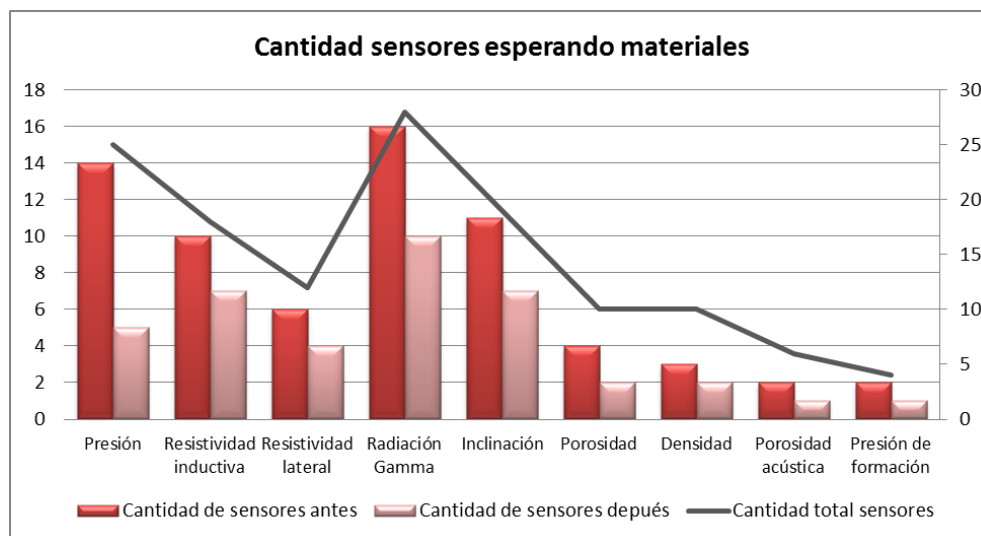
Debido a la planeación de materiales planteada en la herramienta guía, en el que se cuenta con la participación activa del personal de Supply Chain, al permitir a ellos ver las necesidades y urgencias de la planta, dicha área propuso entonces alternativas de transporte adicionales para la disminución del tiempo en tránsito de materiales requeridos, por lo que se logró una disminución de 15 a 7 días, lo que favoreció aún más la reducción del tiempo de abastecimiento de materiales de inventario, además se descontó el día de almacenamiento ya que la planta esta notificada de la llegada de materiales, por lo que ese mismo día se consumen.

Por lo que se obtuvo un nuevo tiempo de abastecimiento promedio de 101 días, el tiempo abastecimiento inicial “real” hallado en el bases de datos era de 145 días, y después de realizado los cambios en la planta, se obtuvo una reducción del 30% del tiempo inicial, tal como se muestra en la figura 3-27.



Figura 3-32. Lead Time después de la integración de herramientas Lean y la estandarización del proceso de requisición.

Respecto al segundo KPI propuesto, se obtuvo una reducción del 57% en la cantidad de equipos esperando materiales de inventario, comparado con el tiempo inicial, tal como se puede observar en la siguiente gráfica. Por lo que se puede concluir que la integración de herramientas Lean a los procesos de la planta en estudio ayudaron a conseguir más rotación y utilización de los activos de la compañía, debido al incremento de equipos disponibles para trabajar.

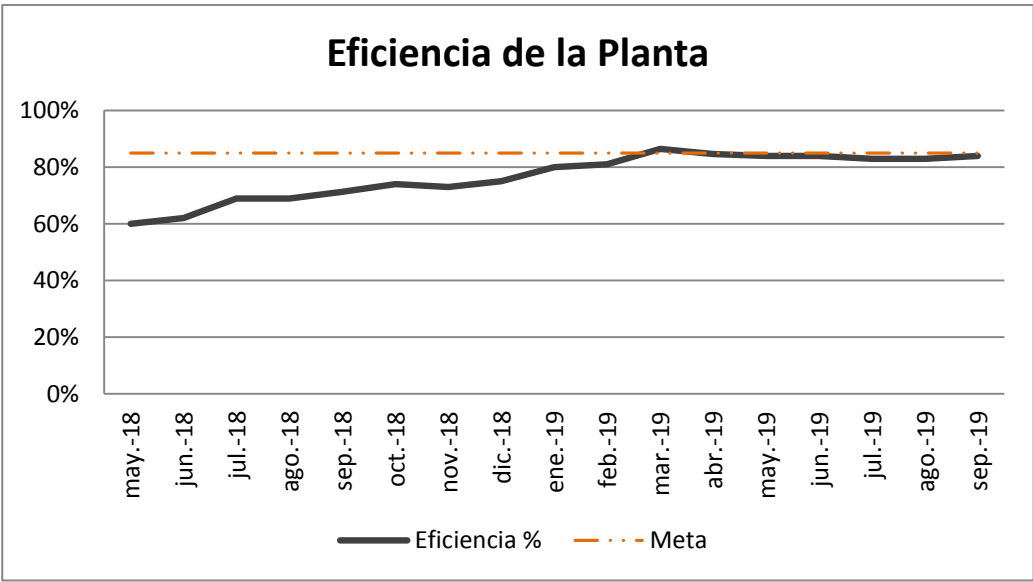


Grafica 3-7. Cantidad de sensores esperando materiales. Fuente base de datos empresarial. Elaboración propia.

Los KPI propuestos para evaluar la pertinencia de la investigación confirman el beneficio en la empresa. Al no contar con procesos internos eficientes en la planta,

los recursos humanos y físicos eran desperdiciados en actividades que no generaban valor, ocasionando pérdida de tiempo y oportunidades de trabajo que se traducen en dinero para la compañía. Una correcta planeación del inventario, basado en información confiable proporciona una visión real del estado de los equipos, y asegura poder tomar acciones oportunamente, evitando retrasos en la respuesta del cliente, garantizando la calidad del servicio prestado por la empresa.

Adicionalmente y como consecuencia de la integración de herramientas Lean a los procesos de la planta, se midió también la eficiencia de la planta, logrando que la cercanía al cumplimiento de las metas establecidas por la empresa. Dicha implementación se empezó a partir del 2018.



Grafica 3-8 Eficiencia de la planta, cercana a la meta del 85%.
 Fuente: Base de datos empresarial. Elaboración propia.

3.6.3 VSM del estado futuro

Con el objetivo de visualizar el nuevo flujo de la planta, se estableció el VSM de la situación posterior a la integración de herramientas Lean, y la disminución de mudas presentes en los procesos del taller. En la figura 3-33 se puede observar el flujo de los sensores en la planta.

VSM DEL ESTADO POSTERIOR A LA INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN A LA PLANTA

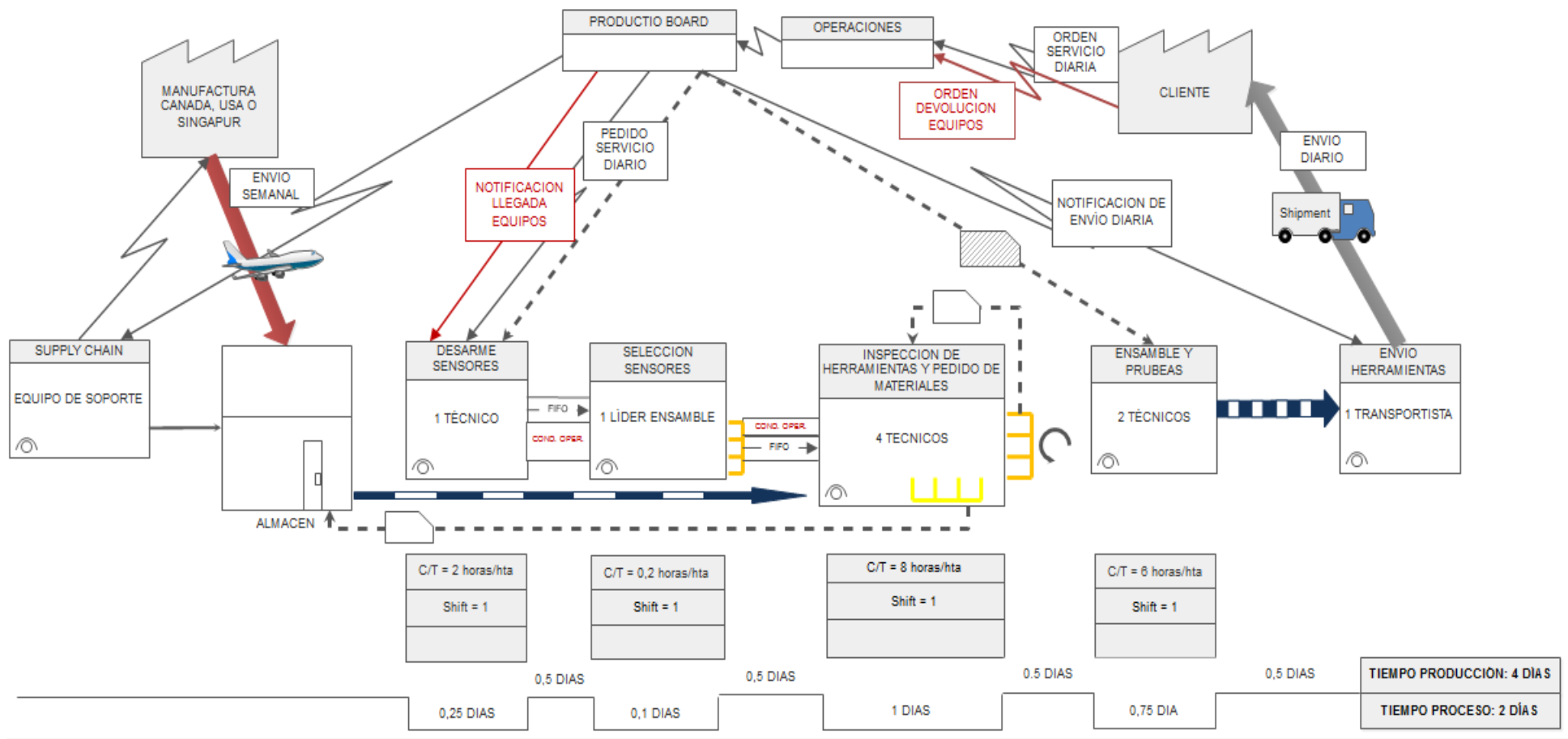


Figura 3-33. VSM después de la implementación Lean a la planta

En el nuevo estado de la empresa, se observa el flujo de la producción, ahora existe un control de la producción, que soporta la planeación de la demanda, generada a partir de la combinación de la información técnica de la planta, junto a la demanda establecida por el equipo de operaciones, junto con la información logística del equipo de Supply Chain. Adicionalmente, se planteó el sistema FIFO para la inspección de sensores, el sistema híbrido Pull-Push y el supermarket, soportado con el diseño del Kanban en el área de inspección. Finalmente se calcularon los tiempos de ciclo y de producción, como se mencionó en la sección 3.6.1.

Los nuevos símbolos que aparecen en el VSM son:



Que simboliza el Supermarket del Kanban en la zona de inspección



Simboliza los Rack que de los sensores



Que simboliza el sistema Pull de inventario, basado en la demanda de sensores.



Se refiere a la alerta de abastecimiento del Rack de señores



Es la alerta de ensamble de sensores

El nuevo VSM muestra la mejora general del tiempo de la producción y el tiempo de proceso, adicionalmente, muestra el nuevo flujo de comunicación entre la planta, operaciones y el área de Supply Chain. Finalmente, se observa como al tener procesos robustos, personal entrenado y comunicación eficiente se logra optimizar la entrega del servicio al cliente, siempre pensando en la mejora continua.

Así mismo, a continuación se muestra el Layout final de la planta, después de haber realizado a integración Lean a los procesos. Se puede observar el flujo de los sensores desde su llegada, pasando por el área de selección y desarme con un sistema Push, ya que se requieren que los todos los sensores estén listos para que, posteriormente, por medio de FIFO o necesidad operacional pasen los señores al Rack1, y de acuerdo a la necesidad pueden pasar a la zona de ensamble o a la zona de inspección, esta última zona cuenta con el sistema Kanban para el abastecimiento de materiales de inventario que los sensores requieren según las políticas internas de mantenimiento, y se abastece

directamente de la bodega y envía alerta cuando se han acabado las existencias. Finalmente, pasan los sensores al Rack3 donde se encuentran listos para su ensamble final y posterior envío al cliente. El tablero de producción es el encargado de mostrar la demanda diaria al área de ensamble y así poder “halar” el mantenimiento de sensores.

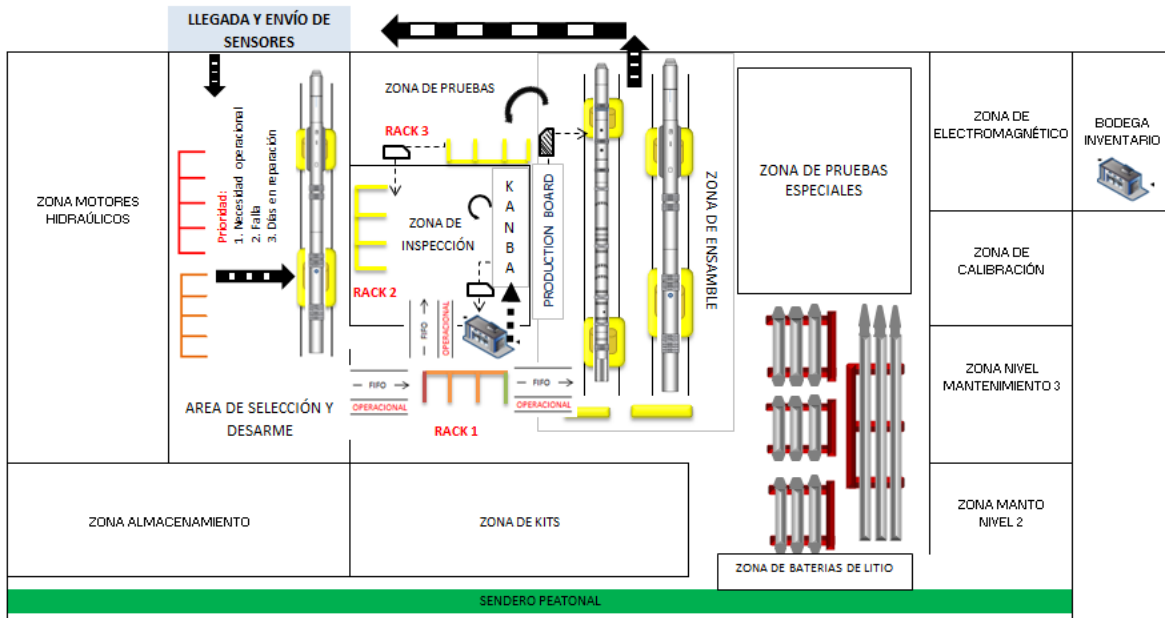


Figura 3-34 Layout final de la planta, con la integración de herramientas Lean

4 Conclusiones y Recomendaciones

A través de la presente investigación se pudo analizar la problemática que estaba teniendo la empresa en estudio, acerca de la tardanza en la llegada de materiales de inventario a la planta para poder realizar oportunamente el mantenimiento a los sensores. A partir de la metodología Ishikawa se encontraron las causas raíz del problema, la primera de ellas fue la ineficiencia en los procesos de inspección y requisición, el cual era ocasionada por la existencia de desperdicios y actividades que no generan valor durante el desarrollo de la inspección y mantenimiento de los sensores; la segunda causa era la falta de información entre las áreas, producido por la ausencia de un protocolo de comunicación entre el departamento de Supply Chain y la planta; finalmente la tercera causa era el desconocimiento de algunas etapas del proceso, originado por la falta de entrenamiento de los técnicos y la asignación de responsables de las actividades en el taller.

Tales causas fueron estudiadas con el fin de poder dar solución por medio de la metodología Lean a los procesos del taller. A través de la revisión de la literatura donde se destacaron los beneficios de la integración de las herramientas Lean a diferentes tipos de procesos desarrollados en plantas, se plantearon las posibles alternativas que pudieron ser aplicadas satisfactoriamente en la empresa en estudio. Las herramientas seleccionadas estuvieron basadas en la necesidad de reducir los mudas presentes durante el análisis, como fueron la espera, movilizaciones y re-procesos.

A cada problemática se le asociaron diferentes tipos de soluciones a través de la integración de las herramientas Lean, tales como 5S, Layout configuration, JIT, la Estandarización, el Kanban y la creación de un Sistema Visual. A partir de ellas se realizaron propuestas concretas como la modificación de la estructura de la planta, re-organización de áreas, la estandarización del flujo de la producción de sensores, la creación de un sistema pull halado por la demanda del área de operaciones y el control a través de un tablero de producción. Dichas propuestas se llevaron a cabo, y con ello su posterior análisis de tiempos de ciclo y de producción, así como la medición de la eficiencia de la planta.

Los resultados adquiridos fueron satisfactorios, se logró reducir un 75% el tiempo de proceso total, pasando de 8 a 2 días de proceso, esto ocasionó a su vez la reducción del tiempo de abastecimiento del inventario de 145 a 101 días, y una disminución del número de sensores esperando mantenimiento del 57%, dichos indicadores fueron los propuestos desde el inicio para comprobar la pertinencia de

la presente investigación. También se midió la eficiencia de la planta logrando la meta establecida por la empresa de tener un 85%.

Por lo anterior, se pudo observar que las herramientas Lean implementadas en la planta, tuvieron un impacto positivo cumpliendo el objetivo de reducir el tiempo de abastecimiento de los materiales de inventario, propósito de esta investigación. Al lograr una disminución del lead time, se puede realizar las inspecciones y reparaciones de los sensores a tiempo, pudiendo cumplir con la demanda del cliente a tiempo, además de permitir poder tener más oportunidades de negocio y nuevos ingresos. Y al incrementar los ingresos por medio de la mayor utilización de sensores, que son capital de la empresa, aumenta entonces el retorno de la inversión de los accionistas, haciendo que la compañía sea más rentable y competitiva en el mercado.

Finalmente, a partir de la estandarización del proceso de requisición y de inspección de sensores, se diseñó una herramienta guía el cual permite a los técnicos de la planta seguir de manera sencilla ciertos pasos para cumplir con el flujo establecido, de esta manera se minimizan los errores, esperas, movilizaciones y re-procesos. Así mismo, se logra optimizar el tiempo de los técnicos, permitiendo que se concentren en el mantenimiento y reparación de los equipos, lo que conlleva a una planta eficiente y altamente productiva.

Y para que la eficiencia y productividad perduren en el tiempo, se debe generar sostenibilidad y control de la integración Lean a los procesos, al realizar ciclos de observación, registro y medición periódica, habrá la posibilidad de tomar acciones oportunas con miras a conseguir siempre la mejora continua, evitando atascamientos, y desperdicios de la producción.

Por último, se espera que la herramienta guía pueda ser de ayuda para las diferentes plantas de la empresa en otros países que pudieran tener la misma problemática. Así como también, que la presente investigación pueda ser el soporte para las plantas de otros sectores que presentaran inconvenientes similares.

Bibliografía

- Abdulmalek, F. A., y Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *Intern. Journal of Production Economics*, 107, 223–236.
- Adolph, S., Kübler, P., Metternich, J., y Abele, E. (2016). Overall commissioning effectiveness: systematic identification of value-added shares in material supply. *Procedia CIRP*, 41, 562–567.
- Aktepe, A., Ersoz, S., Turker, A.K., Barisc, N., y Dalgic, A., (2017). An inventory classification approach combining expert systems, clustering, and fuzzy logic with the ABC method, and an application.
- Astete, K., (2016). Aplicación de gestión de inventarios para disminuir el lead time logístico en la empresa CANCHANYA INGENIEROS S.R.L.
- Arango, F.A., (2017). Competitividad en procesos de servicios: Lean Service caso de estudio.
- Anand, G. (2008). A conceptual framework for lean supply chain and its implementation. *Int. J. Value Chain Management*, 2(3), 313–357.
- <http://www.anh.gov.co/>
- Avelar-Sosa, L., Mataveli, M., y García, J. (2018). Structural model to assess the relationship of manufacturing practices to delivery time in supply chains. *South African Journal of Industrial Engineering*, 29, 218–229.
- Azizi, A. (2015). Designing a Future Value Stream Mapping to Reduce Lead Time using SMED-A Case Study. *Procedia Manufacturing*, 2(February), 153–158.
- Beltrán, C., y Soto, A., (2017). Aplicación de herramientas lean manufacturing en los procesos de recepción y despacho de la empresa HLF ROMERO S.A.S.
- Bernal, C. (2016). Metodología de la Investigación. Capítulo 4.
- Belekoukias, I., Garza-reyes, J. A., y Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Research*, 52(18), 5346–5366.
- Castilblanco, I., (2018). “Lean Management para servicios y organizaciones” (clase). Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.

- Canedo, A., Leal, M., (2014). Diseño de un plan de mejoramiento para la gestión y control de inventarios de la empresa distribuidora ferretera internacional.
- Cerón, J.C., Madrid, J.C., y Gamboa A., (2015). Desarrollo y casos de aplicación de Lean Manufacturing. *Magazín Empresarial*. 11(28):33-44.
- Chima, C. M., & Hills, D. (2007). Supply-Chain Management Issues In the Oil and Gas Industry. *Journal of Business & Economics Research*, 5(6), 27–36
- Crosato, E., Obregón, A., Soriano, A., (2016). Propuesta de mejora del proceso de aprovisionamiento de materiales consumibles y suministros en una empresa de servicios petroleros.
- Das, K. (2018). Integrating lean systems in the design of a sustainable supply chain model. *International Journal of Production Economics*, 198, 177–190.
- Dennis, P., (2007). *Lean Production Simplified*. Capítulo 2.
- Deshkar, A., Kamle, S., Giri, J., y Korde, V. (2018). Desing and evaluation of a Lean Manufacturing framework using Value Stream Mpping (VSM) for a plastic bag manufacturing unit. *Materials Today: Proceedings*, 5, 7668–7677.
- Fajardo I., (2019). Marco Estratégico de la Gestión de la cadena de abastecimiento (clase). Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.
- Ferenčíková, D., (2014). Inventory Management in Small and Medium-Sized Manufacturing Companies and Its Main Dilemmas. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 756–763..
- Fourie, C.J., y Umeh N.E., (2017). Application of lean tools in the supply chain of a maintenance environment. *South African Journal of Industrial Engineering*. 28(1): 176-189.
- Gardner, B., (2008). *Lean Transformation in Supply Chain, the Autocatalytic Nature of Lean Principles, and Tactics for Implementing Lean Tools*. MIT Sloan. Thesis of School of Management.
- Gobinath, S., Elangovan, D., y Dharmalingam, S. (2015). Lean Manufacturing Issues and Challenges in Manufacturing Process – A Review. *International Journal of ChemTech Research*, 8(1), 44–51.
- Gollan, P. J., Kalfa, S., Agarwal, R., Green, R., y Randhawa, K. (2014). Lean manufacturing as a high-performance work system: the case of Cochlear. *International Journal of Production Research*, 52(21), 6434–6447.
- Gómez P. (2010). Lean manufacturing: flexibilidad, agilidad y productividad. *Gestión & Sociedad*. 3(2): 75-88.
- Green, J., Lee, J., y Kozman, T. (2010). Managing lean manufacturing in material

- handling operations. *International Journal of Production Research*, (48), 2975–2993.
- Green, K. W., Inman, R. A., Birou, L. M., & Whitten, D. (2014). Total JIT (T-JIT) and its impact on supply chain competency and organizational performance. *Intern. Journal of Production Economics*, (147), 125–135.
- Gupta, S., y Sharma, M. (2016). Lean services : a systematic review. *International Journal of Productivity and Performance Management*, (66), 1025–1056.
- <https://especiales.semana.com/100-empresas-mas-grandes-de-colombia-2018/index.html>
- <https://halworld.corp.halliburton.com/en/default.html#>
- Hartini, S., y Ciptomulyono, U. (2015). The relationship between lean and sustainable manufacturing on performance : literature review. *Procedia Manufacturing*.
- Hartono, Y., Diar, R., y Jin, T. (2015). Enabler to successful implementation of lean supply chain in a book publisher. *Procedia Manufacturing*, (4), 192–199.
- Helleno, L., y Jos, A. (2017). Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes : Application case studies in Brazilian industry. *Journla of Cleaner Production*, (153), 405–416.
- Heredia, N., (2007). *Gerencia de compras la nueva estrategia competitiva*.
- Husain, R., Assavapokee, T., & Khumawala, B. (2014). Supply Chain Management in the Petroleum Industry : Challenges and Supply Chain Management in the Petroleum Industry : Challenges and Opportunities. *International Journal of Global Logistics & Supply Chain Management*, 1 (2)(April), 90–97.
- Salem, R., Musharavati, F., Hamouda, A. M., & Al-khalifa, K. N. (2016). An empirical study on lean awareness and potential for lean implementations in Qatar industries. *Int J AdvManuf Technol*, 82, 1607–1608.
- Imai, M., (1997). *Gemba Kaizen, A commonsense, Low-Cost approach to management*.
- Jeong, B. K., Yoon, T. E., y States, U. (2016). Improving it process management through value stream mapping approach : A case study. *Jistem – Journal of Information Systems and Technology Management*, 13(3), 389–404.
- Jiménez-García, J., Téllez-Vázquez, S., Medina-Flores, J. M., Rodríguez-Santoyo H., and Cuevas-Ortuño, J. (2014). Materials Supply System Analysis Under Simulation Scenarios in a Lean Manufacturing Environment, *Journal of applied research and techonolgy*, vol 12.
- Khusaini, N., Jaffar, A., y Yusoff, N., (2014). A survey on lean manufacturing tools

- implementation in Malaysian food and beverages industry using rash model. *Advanced Materials Research*. (845): 642-646.
- Kuhlang, P., Edtmayr, T., & Sihn, W. (2011). Methodical approach to increase productivity and reduce lead time in assembly and production-logistic processes. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 4, 24–32.
- Li, B (2009). *Making a High-Mix Make-to-Order Production System Lean*, Massachusetts Institute of Technology.
- Lopez, A., Gonzalez, I., y Sanz, A. (2015). Lean Service: Reassessment of Lean Manufacturing for Service Activities. *The Manufacturing Engineering Society International Conference. Procedia Engineering*. 23-30.
- Manene, L., (2012). *Gestión de existencias e inventarios*.
- Martínez-jurado, P. J., & Moyano-fuentes, J. (2014). Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review. *Journal of Cleaner Production*, 85, 134–150.
- Martínez, F., (2015). Implementación de Value Stream Mapping para optimizar el manejo de inventarios dentro de una planta de fundición de partes automotrices.
- Melton, T., (2005). The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*. 83(6): 62–73.
- Mostafa S., Dumrak J., and Soltan H., (2013). A framework for lean manufacturing implementation. *Prod. Manuf. Res.*, 1(1): 44–64.
- Morlock, F., & Meier, H. (2015). Service Value Stream Mapping in Industrial Product-Service System Performance Management. *Procedia CIRP*, 30, 457–461.
- Moyano-fuentes, J., & Sacristán-díaz, M. (2014). Learning on lean : A review of thinking and research *International Journal of Operations & Production Management*, 32, 551–582.
- Munyai, T., Makinde, O., Ramatsetse, B., & Mbohwa, C. (2019). Simulation-aided value stream mapping for productivity progression in a steel shaft manufacturing environment. *South African Journal of Industrial Engineering*, 30, 171–186.
- Olhager, J., & Prajogo, D. I. (2012). The impact of manufacturing and supply chain improvement initiatives : A survey comparing make-to-order and make-to-stock firms. *Omega*, 40(2), 159–165.
- OHNO T., (1988), *Toyota production system: Beyond large-scale production*.

Cambridge productivity press. 143.

- Olivella, J. (2007). ¿A qué podemos llamar trabajo lean? Director de Comunicación del Instituto Lean Management. En Gómez P (2010). Lean Manufacturing: flexibilidad, agilidad y productividad, *Gestión & Sociedad*. 3(2): 75-88.
- Paredes-rodríguez, A. M. (2017). Aplicación de la herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio. *Unlibre Cali*, 13(1), 262–277.
- Rahman, S., & Laosirihongthong, T. (2015). Impact of Lean Strategy on Operational Performance: A Study of Impact of lean strategy on operational performance: a study of Thai manufacturing companies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(9), 839–852.
- Resta, B., Dotti, S., Gaiardelli, P., & Boffelli, A. (2017). How Lean Manufacturing Affects the Creation of Sustainable Value: An Integrated Model. *Int. J. of Automation Technology*, 11(4), 14–15.
- Ryan Douglas Taylor. (2010). Exploring the impact of Lean Design and Lean Supply Chain Management on an Organization's Innovation Capability. Thesis for Degree of Master of Science in Engineering Management, (June).
- Sánchez-partida, D., Arvizu-barrón, E., & Santiago, D. (2015). A case study: SMED & JIT methodologies to develop continuous flow of stamped parts into AC disconnect assembly line in Schneider Electric Tlaxcala plant. *IFAC-PapersOnLine*, 48, 1399–1404.
- Sánchez, E., & Ramírez, N. (2018). Inventory management model design in a strawberry crop, based on the model order for a single period and six sigma metrics. *Ingeniería Y Competitividad*, 20(1), 95–105.
- Saraswat, P., Kumar, D., & Sain, M. K. (2015). Reduction of work in process inventory and production lead time in a bearing industry using. *International Journal of Managing Value and Supply Chains (IJMVSC)*, 6(2), 27–35.
- Shah, R y Ward P (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles and performance, En Alarcón M, Moyano J (2007), *Lean Production: Estado actual y desafíos futuros de la investigación*, Investigaciones Europeas de dirección y Economía de la empresa. 13(2): 179-202.
- Singh, H., Bahl, A., Kumar, A., & Mann, G. S. (2018). Materials and Information Flow Analysis and Optimization of Manufacturing Processes in MSMEs by the Application of Value Stream Mapping (VSM) Technique. *Materials Today: Proceedings*, 5, 28420–28426.
- Somanaathan, M., Vinodh, S., & Arvind, K. (2011). Tools and techniques for enabling sustainability through lean initiatives. *Clean Techn Environ Policy*, 13, 469–479.

- Sakhardande, R. (2011), *Lean Manufacturing in the Oil and Gas Industry*, Auburn University.
- Strandhagen, J. W., Vallandingham, L. R., Alfnes, E., Ola, J., (2018). Operationalizing lean principles for lead time reduction in engineer-to-order (ETO) operations : study in engineer-to-order for lead time study in engineer-to-order for lead time reduction. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 128–133.
- Suárez-Barraza, M. F., Smith, T., & Dahlgaard-Park, S. M. (2012). Lean Service: A literature analysis and classification. *Total Quality Management & Business Excellence*. 23(3–4):359–380.
- Ramírez, J., (2007). *Fundamentos de Inventarios*. Instituto Universitario de Tecnología “READIC”. Maracaibo, Zulia.
- Rose M., Deros B., y Rahman M., (2010). Development of framework for lean manufacturing implementation in SMEs, 11th Asia Pacific Ind. Eng. Manag. Syst. Conf.(12) 7–10
- Sanchez, D., Ramirez, N., (2018). Inventory management model design in a strawberry crop, based on the model order for a single period and six sigma metrics. *Ingeniería y Competitividad*. 20(1): 95 – 105.
- Suhadak, N., Amit, N., & Añli, M. (2015). Facility Layout for SME Food industry via Value Stream Mapping and Simulation. *Procedia Economics and Finance*, 31(15), 797–802.
- Taylor, P., Vamsi, N., Jasti, K., y Kodali, R. (2014). Lean production : literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 10, 37–41.
- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., & Yang, K. (2015). Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. *Int. J. Production Economics Journal*, 160, 202–212.
- Thomas, T., Sherman, S. R., y Sawhney, R. S. (2018). Application of lean manufacturing principles to improve a conceptual Pu supply process. *Journal of Manufacturing Systems*, 46, 1–12.
- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., y Yang, K. (2015). Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. *Int. J. Production Economics Journal*, 160, 202–212.
- Umeh1, C. J. F. y N. E. (2017). Application of lean tools in the supply chain of a maintenance environment. *South African Journal of Industrial Engineering*, 28(5), 176–189.

Uzochukwu, O., and Ossai, I., (2016). Lean Production: A Frontier for Improving Performance of Oil and Gas Companies in Nigeria, *Pyrex Journal of Business and Finance Management Research*.

Wenchi, S., Wang, J., Wang, X., & Chong, H. (2015). An application of value stream mapping for turnaround maintenance in oil and gas industry: case study and lessons learned. *School of Built Environment*, (September), 813–822.

Womack, J., y Jones, D., (2003). *Lean Thinking*. Capítulo 1.

Zuñiga, M., Córdoba, D., Valenzuela, J., y González, N., (2011). Las propuestas de mejora, una alternativa de solución para las pequeñas y medianas empresas.

ANEXO 1

A continuación las Lean Questions que se plantearon en el desarrollo del VSM.

- **¿Cuál es la métrica de la planta?, ¿se cumple esta métrica?**

Por políticas de la empresa, el KPI de la planta es la eficiencia medida a través del número sensores al que se realizaron mantenimiento sobre el total de sensores semanalmente. La meta es 85%, en el 2016 estaba en el 65%, por lo que no se está cumpliendo la métrica.

- **¿Cuál es la demanda?**

La demanda son 4 herramientas diarias para la zona de ensamble de la configuración estándar, y para la zona de inspección 12 sensores diarios.

- **¿Qué herramientas Lean se requieren en la planta?**

5S ya que hay zonas que requieren más orden, etiquetado, clasificación.

Layout configuration, ya que las zonas se encuentran muy alejadas, y hay 20 minutos de desplazamientos por técnico.

Kanban, para el abastecimiento de los materiales de inventario.

Standard Work, para establecer un flujo de los sensores en la planta, y para establecer el proceso de requisición de materiales de inventario.

- **¿Se está cumpliendo con el tiempo de entrega de los sensores ensamblados en la planta?**

Debido a la variabilidad de la demanda y al no contar con todos los sensores disponibles a tiempo, se han presentado retraso en la entrega del servicio al cliente, y por lo tanto multas de incumplimiento.

- **¿Cuál es el objetivo de la integración Lean en la planta?**

Alcanzar la eficiencia establecida por las políticas de la empresa, reduciendo el tiempo de proceso.

- **¿Qué barreras se tuvieron en la implementación?**

No se contaba con el tiempo y personal suficiente para realizar las movilizaciones dentro de la planta, ya que se requería seguir cumpliendo con la

operación mientras se realizaban los cambios. Por lo que se tuvo que realizar turnos extras para terminar con la acomodación.

- **¿Cómo evaluar el beneficio de Lean en la planta?**

Para hacer sostenible la implementación, se mide mensualmente la eficiencia de la planta, el takt time, el tiempo de ciclo de cada proceso y el tiempo de abastecimiento de los materiales inventario de los sensores.