



**Análisis y mejora en planta de producción de la empresa TDI Ingeniería y Diseño S.A.S.
mediante herramientas de Lean Manufacturing**

Fabio Enrique Vargas Castrillón

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesores

Juan Carlos Orrego Barrera, Magíster (MSc.) en Ingeniería Mecánica

Jaime Morales Gaviria, Máster en Innovación y Productividad

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	Vargas Castrillón [1]
Referencia	[1] F.E. Vargas Castrillón, “Análisis y mejora en planta de producción de la empresa TDI Ingeniería y Diseño S.A.S. mediante herramientas de Lean Manufacturing”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.
Estilo IEEE (2020)	



CENDOI UdeA.

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Pedro León Simancas.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo general.....	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. MARCO TEÓRICO	13
3.1. Lean Manufacturing.....	13
3.2. Principios del Lean Manufacturing.....	15
3.3. Los 7+1 desperdicios del Lean Manufacturing.....	17
3.4. Herramientas de Lean Manufacturing.....	19
4. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	39
4.1. Propósito.....	39
4.2. Mega.....	39
4.3. Líneas de negocio	39
5. METODOLOGÍA.....	41
5.1. Fase 1: Diagnóstico y formación	41
5.2. Fase 2: Diseño del plan de mejora	41
5.3. Fase 3: Lanzamiento	41
5.4. Fase 4: Estabilización de mejoras.....	42
5.5. Fase 5: Estandarización.....	42
5.6. Fase 6: Producción en flujo	42
6. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	44
6.1. Objeto de estudio.....	44
6.2. Diagnóstico y formación.....	46

6.3.	Implementación de las 5's	51
6.4.	Implementación SMED	61
6.5.	Implementación de herramientas visuales Kanban	63
6.6.	Implementación herramientas TPM	65
7.	CONCLUSIONES	75
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE 5'S	23
TABLA 2. LAS SEIS GRANDES PÉRDIDAS EN LOS EQUIPOS PRODUCTIVOS.....	33
TABLA 3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	44
TABLA 4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS	45
TABLA 5. DATOS PLANTA PRODUCCIÓN TDI.....	49
TABLA 6. DESPERDICIOS Y OPORTUNIDADES DE MEJORA.....	50
TABLA 7. FICHA DE EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA 5'S.....	52
TABLA 8. EVALUACIÓN DE 5'S ANTES DE SU IMPLEMENTACIÓN.....	53
TABLA 9. LISTA DE ARTICULOS CON TARJETA ROJA AREA SOLDADURA	54
TABLA 10. FICHA DE EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA 5'S LUEGO DE UNA PRIMERA IMPLEMENTACIÓN	59
TABLA 11. EVALUACIÓN DE 5'S LUEGO DE SU IMPLEMENTACIÓN	60
TABLA 12. PROCESO DE RECUBRIMIENTO	62

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Adaptación actualizada de la casa Toyota.	14
Fig. 2. Los 5 principios (pasos) del Lean Manufacturing.	16
Fig. 3. Los tres niveles del Lean Manufacturing.	20
Fig. 4. Ciclo del mapeo de flujo de valor.	21
Fig. 5. Símbolos para el diagrama VSM.	22
Fig. 6. Representación de un diagrama VSM.	22
Fig. 7. Las 5`s.	24
Fig. 8. Ejemplo de tarjeta para identificar elementos inútiles.	25
Fig. 9. Resumen de la técnica 5`s.	27
Fig. 10. Ejemplo de Kanban de producción.	30
Fig. 11. Departamentos a los que engloba el TPM.	32
Fig. 12. Esquema de los componentes del OEE.	35
Fig. 13. Los 8 pilares y la base del TPM.	36
Fig. 14. Actividades desarrolladas en planta de TDI.	40
Fig. 15. Hoja de ruta para la implementación del Lean Manufacturing.	43
Fig. 16. Selección del tema.	45
Fig. 17. VSM actual.	48
Fig. 18. Tiempos de ciclos vs Takt time.	50
Fig. 19. Tarjeta roja área de mecanizado.	54
Fig. 20. Antes de aplicar Seiton.	55
Fig. 21. Después de aplicar Seiton.	56
Fig. 22. Tarjeta verde de oportunidad.	57
Fig. 23. Formato de conformidad de limpieza.	58
Fig. 24. Orden de producción TDI Ingeniería y Diseño S.A.S.	64
Fig. 25. Tablero Kanban TDI.	65
Fig. 26. Diagrama de causa y efecto.	66
Fig. 27. Metodología de 5W y 1H.	67
Fig. 28. Formato de control de tiempos Diligenciado empresa TDI.	68
Fig. 29. Guía de implementación de mantenimiento autónomo.	70

Fig. 30. Estándar de operación área de recubrimientos empresa TDI.....	71
Fig. 31. Lección de un punto simbología Eco-Mapa	72
Fig. 32. LUP de conocimientos básicos Eco-Mapa.....	73

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

TPM	Total Productive Maintenance
JIT	Just In Time
TPS	Toyota Production System
VSM	Value Stream Mapping
SMED	Single Minute Exchange of Die
OEE	Overall Equipment Efficiency
UdeA	Universidad de Antioquia
MSc.	Magister
LUP	Lección de un punto

RESUMEN

El presente informe fue realizado con el fin de presentar los resultados encontrados después de llevar a cabo etapas de recolección de información, análisis, diagnóstico e implementación de herramientas de mejora bajo herramientas de Lean Manufacturing en la planta de producción de la empresa TDI Ingeniería y Diseño.

Al iniciar el proyecto, la empresa presentaba bajo rendimiento en cada celda de trabajo y por consiguiente un bajo rendimiento global como consecuencia de malas prácticas en los procesos, falta de control de producción, ausencia de planes de mantenimiento, entre otros. Con el propósito de mejorar el rendimiento y la productividad en el área de producción, se ejecutaron etapas de análisis y recolección de información con ayuda del personal operativo y encargados de otros departamentos, se detectaron y evaluaron cada una de las posibles causas con ayuda de herramientas como el mapa de flujo de valor (VSM), diagrama de causa-efecto y metodología de 5W y 1H, posteriormente se establecieron herramientas o contramedidas para eliminar o mitigar cada una de estas necesidades y finalmente se implementaron acciones de mejora.

La ejecución del presente proyecto dio como resultado un aumento significativo de la productividad, espacios de trabajo limpios y organizados, flujo continuo y eficiente de los materiales y la información, un ambiente de trabajo armónico, un área de producción capaz y flexible para afrontar las demandas, actitud de mejora en los operarios, reducción de reprocesos y cumplimiento en los plazos de entregas.

Palabras clave — Herramientas, Lean Manufacturing, Producción,
Causa-efecto, Metodología.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mundo está en permanente evolución, en los aspectos económicos, sociales, políticos, tecnológicos y comerciales. Por tal motivo las organizaciones deben desarrollar capacidades para reaccionar adecuadamente frente a los factores del entorno y adelantarse proactivamente a sus necesidades y condiciones. TDI Ingeniería es una empresa ubicada al norte del Valle de Aburrá, dedicada principalmente a la fabricación de equipos para el sector minero, equipos de bombeo, separación gravimétrica, flotación, espesado, almacenamiento y transporte de materiales particulados; la proyección es impulsar y optimizar equipos orientados a la conservación de recursos naturales.

Con el fin de posicionar la empresa como motor de cambio en el sector de soluciones de ingeniería para el desarrollo sostenible, incrementar la productividad y ser competitivos, se necesita aplicar métodos que en forma armónica permita hacer frente a todos los desafíos y necesidades. Actualmente en la planta de la empresa TDI se encuentra un contexto y unas condiciones poco deseadas que se interponen directamente en el logro de los objetivos y ambiente deseados. Entre los más visibles y relevantes encontramos el desorden, amontonamiento de objetos innecesarios, almacenamiento inapropiado de materias primas y herramientas, falta de limpieza, no hay sistema de gestión de producción, ausencia de marcación y elementos de seguridad industrial, inexistencia de planes y estándares de mantenimiento, no hay control de piso, entre otros. Más importante aún, no hay disciplina, ni compromiso por parte de algunos colaboradores en planta para con sus funciones y la empresa en general.

El desarrollo de este proyecto es un punto de partida para la implementación de herramientas de mejora continua en los diferentes departamentos de la empresa TDI Ingeniería y Diseño. En el presente documento se avalúan las problemáticas y necesidades presentes en el área de producción, se realiza un diagnóstico y se proponen e implementan herramientas de mejora, todo esto bajo la metodología de Lean Manufacturing. El objetivo principal es identificar con ayuda de herramientas de análisis y diagnóstico cada uno de los siete más uno desperdicios definidos en la filosofía de Lean Manufacturing, evaluarlos e identificar las oportunidades de mejora, seleccionar la herramienta o metodología que mejor se adapte a mejorar o eliminar dicho desperdicio, proponer

planes mejora y en los términos de los posible implementarlas. Es importante resaltar que no todos los desperdicios pueden ser eliminados, pero siempre hay oportunidad de mejora y en la implementación de planes de mejoramiento continuo es necesario la participación activa de todos los colaboradores.

Luego de desarrollado el proyecto se logró demostrar que con poca inversión se pueden lograr implementaciones que ayuden a mejorar la productividad y tener ventajas competitivas generando un impacto directo tanto productivo como administrativo. El análisis e implementación de las herramientas Lean permitieron estandarizar procesos, imponer orden y limpieza, incrementar el rendimiento, reducir los tiempos muertos y paradas de equipos imprevista, y más importante implantar una cultura de mejora donde cada operario es tenido en cuenta y desempeña un roll importante a la hora de ejecutar pequeños cambios que sumados hacen la diferencia. No se puede desconocer que en un principio se presentó mucha resistencia al cambio y el trabajo de capacitación y entrenamiento tiene que ser una constante para poder cambiar esa manera de pensar. A la fecha se lograron primeras fases de implementación, es necesario reconocer que la compañía viene trabajando por mucho tiempo de la misma manera y si se quiere implementar estrategias y metodologías para fomentar la mejora continua, es pertinente tener paciencia y aceptar un tiempo prudente para evidenciar verdaderos cambios.

2. OBJETIVOS

2.1. *Objetivo general*

Aplicar técnicas y herramientas de mejoramiento continuo bajo la metodología de Lean Manufacturing en la planta de producción de la empresa TDI Ingeniería y Diseño S.A.S.

2.2. *Objetivos específicos*

- Elaborar un diagnóstico actual de las diferentes áreas de producción para identificar desperdicios y oportunidades de mejora.
- Identificar las herramientas de Lean Manufacturing que mejor se ajusten y que se pueden implementar en función de las mudas identificadas en el diagnóstico.
- Rediseñar el flujo productivo en base a las técnicas y herramientas de Lean Manufacturing: Kaizen, 5s, TPM, Kanban, Jidoka, etc.
- Establecer indicadores que permitan medir y hacer seguimiento al área de producción, dichos indicadores deben ir alineados con los intereses de la gerencia.
- Establecer procedimientos, estandarizarlos y exportarlos a las diferentes áreas de la empresa para generar un trabajo de mejoramiento continuo y participativo.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. *Lean Manufacturing*

3.1.1. *Historia*

El Lean Manufacturing tiene su origen en el sistema de producción Just In Time (JIT) desarrollado en los años 50 por la empresa automovilística Toyota [1]. Desde los años 30 Kichiro Toyoda, Taiichi Ohno y otros responsables de esta empresa venían implementando una serie de innovaciones en sus líneas de producción, de modo que facilitaran tanto la continuidad en el flujo de material como la flexibilidad a la hora de fabricar distintos productos. Pasada la segunda guerra mundial, surge la necesidad de fabricar pequeños lotes de una gran variedad de productos, de allí surgió entonces el muy conocido sistema de producción de Toyota (TPS: Toyota Production System), fue solo hasta finales de los años 80 que el término Lean Manufacturing se volvió internacionalmente reconocido y está basado en su totalidad en el sistema de producción de Toyota.

3.1.2. *Definición*

El Lean Manufacturing (Manufactura esbelta, ágil o delgada) es la aplicación sistemática y habitual de un conjunto de técnicas de fabricación que buscan la mejora de los procesos productivos a través de la eliminación o reducción de todo tipo de desperdicios (mudas) o excesos, entendiendo como exceso toda aquella actividad que no genera valor en un proceso, pero sí costo y trabajo. Esta eliminación sistemática se lleva a cabo mediante trabajo con equipos de personas bien organizados y capacitados [2]. El verdadero poder del Lean Manufacturing radica en descubrir continuamente en toda empresa aquellas oportunidades de mejora que están escondidas, pues siempre habrá desperdicios susceptibles de ser eliminados, se trata entonces de crear una cultura de trabajo en la que se reconozca que los desperdicios y excesos existen y siempre será un reto para aquellos que estén dispuestos a encontrarlos y eliminarlos. Cuando se habla de la implementación de Lean Manufacturing, hace referencia a una transformación cultural que no tiene un inicio y un final, si no, que pretende ser duradera y sostenible para ello precisa modificar hábitos de los colaboradores en todos los niveles de actuación que permita avanzar hacia la consecución de un objetivo común [1].

Para visualizar la estructura de la filosofía que encierra a Lean y las técnicas disponibles para su aplicación, podemos recurrir al esquema de la casa del sistema de producción Toyota [3]. El techo de la casa, como se muestra en la Figura 1, está constituido por las metas perseguidas que se identifican con la mejor calidad, el más bajo costo, el menor tiempo de entrega o tiempo de maduración (Lead-time). Sujetando este techo se encuentran las dos columnas que sustentan el sistema: JIT y Jidoka. El JIT (Just In Time), tal vez la herramienta más reconocida del sistema Toyota, significa producir el artículo indicado en el momento requerido y en la cantidad exacta. Jidoka consiste en dar a las máquinas y operadores la habilidad para determinar cuándo se produce una condición anormal e inmediatamente detener el proceso[4].

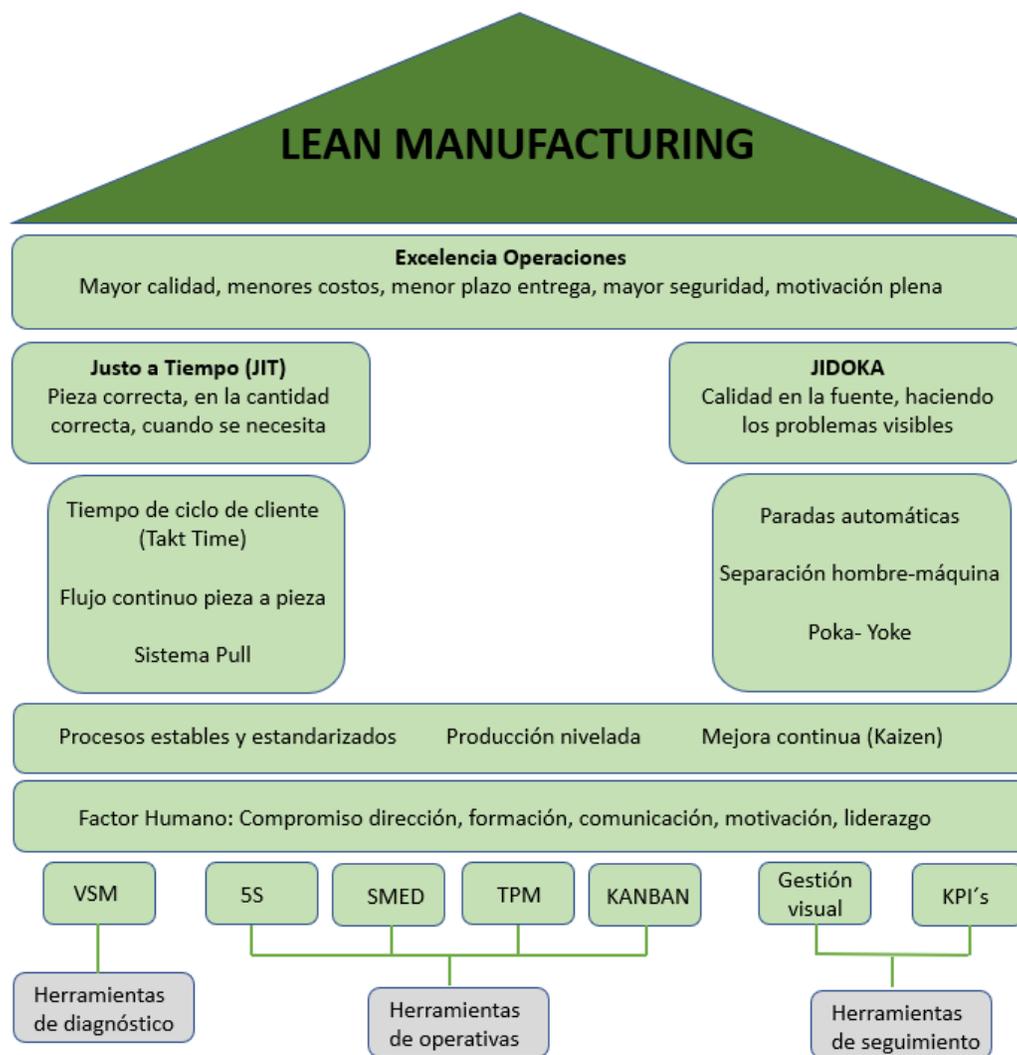


Fig. 1. Adaptación actualizada de la casa Toyota.

Fuente: Lean Manufacturing conceptos, técnicas e implementación.

La base de la casa consiste en la estandarización y estabilidad de los procesos: el heijunka o nivelación de la producción y la aplicación sistemática de la mejora continua. A estos cimientos tradicionales se les ha añadido el factor humano como clave en la implantación del Lean, factor que se manifiesta en múltiples facetas como son el compromiso de la dirección, la conformación de equipos dirigidos por un líder, la formación y capacitación del personal, los mecanismos de motivación y los sistemas de recompensa [1].

3.2. Principios del Lean Manufacturing

El principal objetivo del Lean Manufacturing es crear flujo de valor, esto implica implantar un sistema que opere bajo los requerimientos de demanda de los clientes de forma ágil, flexible y económica, eliminando aquellas operaciones o actividades que no agreguen valor al producto o servicio. El valor son todos aquellos recursos (materiales, insumos, mano de obra, horas máquina, herramientas, equipos, energía, entre otros) que se invierten en la realización de una tarea con el fin de transformar las materias primas en productos terminados. Según la filosofía Lean Manufacturing el valor es considerado como todo aquello por lo que el cliente está dispuesto a pagar, por otro lado, todo aquello que no genera valor al producto es considerado desperdicio [5]. Confiar en esta metodología conlleva muchos beneficios y puede significar la supervivencia de muchas empresas en el mediano y largo plazo.

El pensamiento Lean implica ventajas como el incremento de la productividad, mejora de la calidad, aumento de las ventas o del valor de la empresa, por citar algunos de ellos. Si se quiere implementar una filosofía de Lean Manufacturing en una organización, es necesario trabajar en cinco principios fundamentales, en la Figura 2, se ilustran estos cinco principios y un orden de ejecución el cual debe cumplirse.

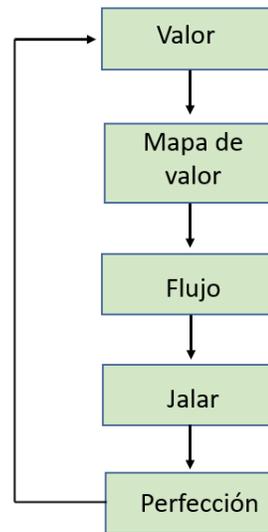


Fig. 2. Los 5 principios (pasos) del Lean Manufacturing.

Fuente: Herramientas y técnicas Lean Manufacturing en sistemas de producción y calidad.

3.2.1. *Especificar el valor*

Este principio viene desde la perspectiva del cliente, cuánto está dispuesto a pagar por las características que son de su preferencia, que es lo que realmente agrega valor al producto o servicio, es decir, la adquisición de una solución que puede ser percibido en base a la calidad constante, valor agregado, entrega puntual, entre otros [6].

3.2.2. *Identificar el flujo de valor*

Este principio radica en identificar todos los procesos productivos para definir aquellas actividades que no generan valor y las cuales ocasionan desperdicios, dicho análisis involucra tanto el flujo de material como el de información y por medio de indicadores identificar oportunidades de mejora para eliminar los desperdicios [7].

3.2.3. *Crear flujo continuo*

En este tercer principio, después de haber identificado los principales procesos y desperdicios se debe crear un flujo continuo en el proceso para que la información y los materiales fluyan de manera más rápida y eficiente, es decir, un flujo sin interrupciones desde el proveedor de las materias primas hasta el consumidor y durante el proceso poder visualizar los aspectos a mejorar [6].

3.2.4. Sistema Pull

También llamado sistema Jale o de atracción, pretende diseñar lo que el cliente quiere solo en el momento que lo quiere. Al implementar este principio se reducen los inventarios y se evita la sobreproducción, esto se logra al no basar la producción en pronósticos sino en lo que realmente el cliente necesita [8].

3.2.5. Mejoramiento continuo

También conocido como sistema Kaizen, esto como consecuencia de la famosa frase “siempre es posible hacer mejor las cosas” y consiste en una cultura de implementar siempre y gradualmente pequeñas mejoras por parte de todos los involucrados en una empresa, busca que los esfuerzos del mejoramiento nunca terminen y se conviertan en un ciclo repetitivo [8].

3.3. Los 7+1 desperdicios del Lean Manufacturing

Como se ha venido mencionando, uno de los conceptos fundamentales del Lean Manufacturing es la eliminación de desperdicio o “muda”, es considerado todo aquello que no añade valor al producto o servicio. En otras palabras, es todo lo adicional a lo mínimo necesario de recursos (materiales, equipos, personal, mano de obra directa o indirecta, tecnología, etc.) para fabricar un producto o prestar un servicio, es importante acotar que no todos los desperdicios pueden ser eliminados en su totalidad, sin embargo, siempre se podrá mejorar la situación actual. El objetivo de eliminar los desperdicios es hacer más con menos (menos inversión en capital, menos espacio ocupado, menos recurso humano, menos inventario, menos tiempo de producción) [7].

En total esta filosofía de trabajo clasifica los desperdicios en siete tipos, los cuales son el resultado de análisis detallado de procesos de transformación de los materiales, del flujo de producción y de las actividades que generan valor [9]. Además, se establece un desperdicio que no está ligado a los procesos, ni al flujo, sino que está vinculado directamente a las personas y a su motivación para trabajar en un ambiente de mejora continua. A continuación, se describen los 7+1 desperdicios.

3.3.1. Exceso de inventario

Consiste en tener la mayor cantidad de materias primas o producto terminado que son necesarias para satisfacer las necesidades inmediatas. “El hecho de que se acumule material antes y después del proceso indica que el flujo de producción no es continuo” [10].

3.3.2. Sobreproducción

Es el resultado de fabricar más cantidad de la requerida. Además, producir en exceso significa perder tiempo, energía y factor humano en fabricar un producto que no es necesario, lo que representa claramente un consumo inútil de material que a su vez provoca un incremento de los gastos y del inventario [1].

3.3.3. Tiempo de espera

Son los tiempos muertos o improductivos en los que los procesos y los operarios están a la espera de comenzar un nuevo ciclo, como consecuencia de falta de información, materiales o de solucionar alguna situación con los equipos [11].

3.3.4. Transporte

Consiste en el desplazamiento innecesario del material de una fase a otra; por otra parte, en líneas de producción en serie o continuas las máquinas deben estar lo más cercanas posibles y los materiales deberían fluir directamente desde una estación de trabajo a la siguiente sin retraso [1].

3.3.5. Defectos

Es un despilfarro provocado por utilizar, generar o suministrar productos que no cumplan con las especificaciones, repercute en un mayor tiempo de fabricación, costos, retrasos y mala calidad [12].

3.3.6. Movimientos innecesarios

Se refiere a los desplazamientos o movimientos que el operario realiza a parte de generar valor agregado al producto. por ejemplo: desplazarse por documentos o herramientas necesarias para la fabricación de un producto y que en principio deberían estar en el puesto de trabajo [12].

3.3.7. Reprocesos

Ocurre cuando a un producto o servicio se le hace más trabajo del necesario o del requerido, es decir, que no es parte normal del proceso y no agrega valor [10].

3.3.8. Potencial humano subutilizado

Últimamente se ha considerado el desaprovechamiento del talento humano como el octavo desperdicio y se refiere a no utilizar la creatividad e inteligencia de la fuerza de trabajo para eliminar desperdicios. Además, el desconocimiento, la falta de autoridad o responsabilidad implica involucrar más recursos en el proceso y aumenta el tiempo de ejecución de los mismos [11].

3.4. Herramientas de Lean Manufacturing

La implementación del Lean Manufacturing se fundamenta en tres niveles o etapas, la primera conocida como la etapa de demanda, busca entender las necesidades del cliente por los productos o servicios, recolección de información como cantidad, calidad, precio, etc. El flujo es la segunda etapa y en esta lo que se busca es que el cliente obtenga el producto que desea en el tiempo indicado, cantidad requerida y con la calidad deseada, para lograr esto se establece un flujo continuo de producción que involucre a toda la empresa. La tercera y última etapa llamada nivelación, consiste en distribuir uniformemente las actividades inherentes al producto o servicio en función de volumen y variedad para reducir los inventarios y trabajar con lotes menores [7]. En la Figura 3, se pueden apreciar estos tres niveles y cada una de las herramientas de apoyo para cumplir los objetivos de cada nivel.



Fig. 3. Los tres niveles del Lean Manufacturing.

Fuente: Manual de Lean Manufacturing (2007).

La filosofía Lean recomienda implementar estas etapas en el orden descrito y para ello el Lean Manufacturing se apoya en un conjunto de técnicas o herramientas relacionadas entre sí que siguen una secuencia lógica que se debe seguir para la implementación de cada técnica.

3.4.1. Mapa de Flujo de valor (VSM)

El Mapeo de Flujo de Valor o VSM por sus siglas en inglés (Value Stream Mapping), es una herramienta de diagnóstico y control, que permite visualizar y entender un proceso con el fin de identificar las oportunidades de mejora. Sus principales objetivos son identificar todos los pasos del procedimiento desde que el cliente ordena el producto hasta que lo recibe, identificar el flujo de materiales y de información y el efecto de ellos entre sí, diferenciar actividades que generan valor al producto y actividades que no adicionan valor. En este mapa se muestra la secuencia y el movimiento de lo que el cliente valora; incluye los materiales, información y procesos que contribuyen a generar valor en el producto [5], se enfoca a niveles de eficiencia global y no a la

eficiencia generada por células individuales o grupos de trabajo, en la Figura 4 se presenta el ciclo del VSM.

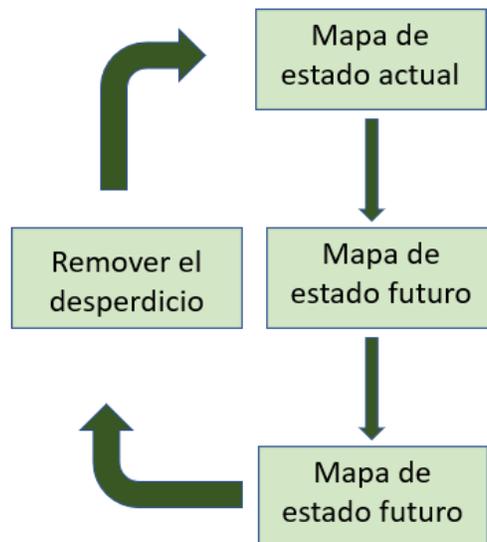


Fig. 4. Ciclo del mapeo de flujo de valor.

Fuente: Herramientas y técnicas del Lean Manufacturing en sistemas de producción y calidad.

Beneficios de realizar en VSM son los siguientes:

- Ayuda a visualizar fuentes de desperdicio, cuello de botella y oportunidades de mejora
- Resalta las conexiones entre materiales e información
- Proporciona un lenguaje común para hablar acerca de los procesos
- Es una herramienta altamente efectiva
- Base para la implementación del Lean Manufacturing
- Permite entender el mapa general del proceso por cualquier persona de la compañía
- Permite entender cómo se relacionan los distintos departamentos y unidades operativas
- Es útil para la generación de estrategia y la gestión del cambio

Para desarrollar la metodología de implementación de VSM es necesario conocer exactamente la situación actual de la empresa en términos de procesos, procedimientos, normas y políticas. En las Figura 5 y 6 se observa la simbología utilizada para crear un Mapa de Flujo de valor y un ejemplo de su aplicación respectivamente.

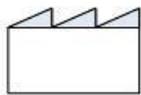
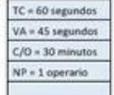
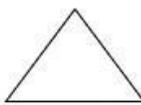
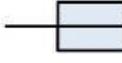
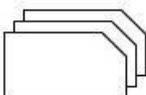
 Cliente/Proveedor	 Control de Producción	 Operación	 Datos de Proceso
 Inventario Materiales	 Movimiento de Material Empujado	 Flujo de Información Manual	 Flujo de Información Electrónica
 Transporte por Camión	 Stock de Seguridad	 Segmento de Escala de Tiempo	 Escala de Tiempo Total
 Supermercado	 Kanban de Producción	 Kanban de Retiro	 Kanban por Lotes

Fig. 5. Símbolos para el diagrama VSM.

Fuente Lean Manufacturing Modelos y Herramientas.

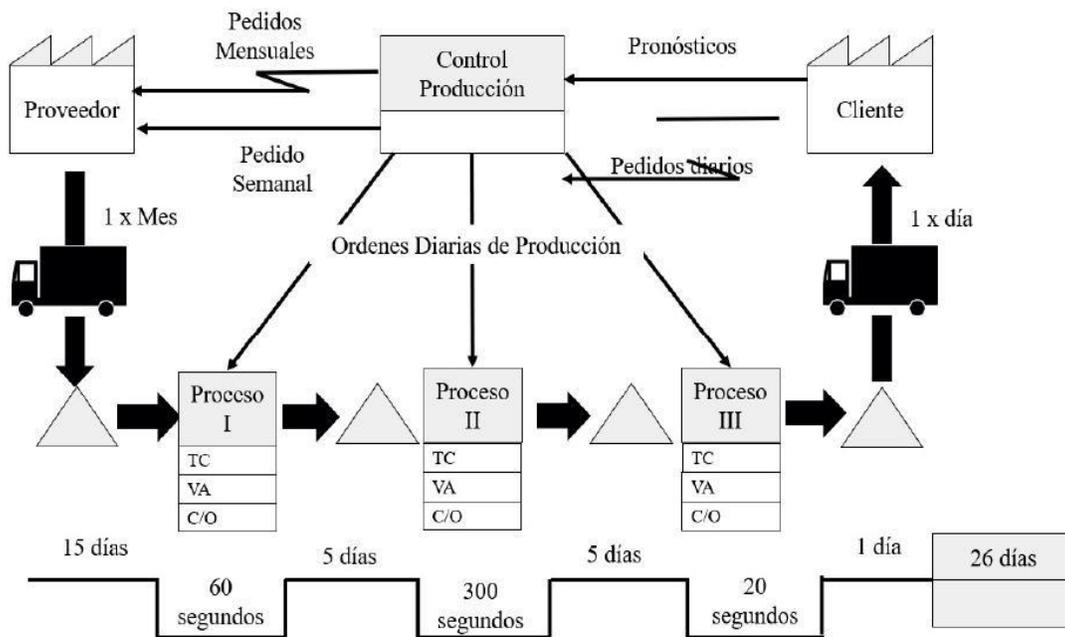


Fig. 6. Representación de un diagrama VSM.

Fuente Lean Manufacturing Modelos y Herramientas.

3.4.2. Herramienta 5´s

La metodología de las 5´s constituye el primer paso a realizar para transformar un sistema de producción convencional a un sistema de Lean Manufacturing, se llama metodología o estrategia de las 5´s por que representan acciones que son principios expresados con cinco palabras japonesas que comienzan con la letra S, esta metodología sirve como herramienta de la mejora de la calidad y de la productividad, la cual agrupa una serie de actividades que se desarrollan con el objetivo de crear condiciones de trabajo que permitan la ejecución de las actividades de manera organizada, ordenada y limpia [1], en la TABLA1 se presentan los beneficios que implica la implementación de la metodología de las 5´s.

TABLA 1. BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE 5´S

PARA EL EMPLEADO	PARA LA ORGANIZACIÓN
Puestos de trabajo seguros, ergonómicos y limpios.	Tiempos de cambio rápido
Todo está ubicado en una posición definida.	Tiempo de instrucción y formación más cortos
Rutas rápidas y cortas	Evitar desperdicios y chatarras
Rápida orientación en nuevos puestos de trabajo	Menos accidentes de trabajo

Las condiciones mencionadas anteriormente, se crean a través de reforzar los buenos hábitos de comportamiento e interacción social, creando un entorno de trabajo eficiente y productivo. En la Figura 7 se ilustran las 5 etapas de la implementación de la 5´s.

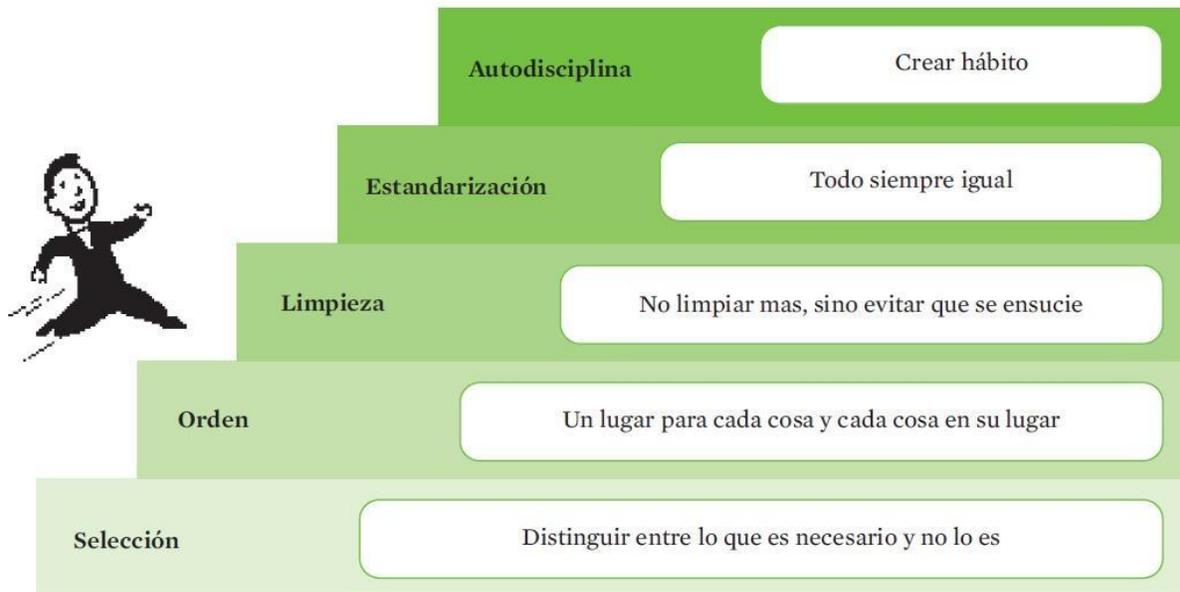


Fig. 7. Las 5`s.

Fuente: Lean Manufacturing conceptos, técnicas e Implementación.

Los principales objetivos de la implementación de esta metodología son:

- Desarrollar la mentalidad de mejora continua (Kaizen) del personal en las distintas áreas
- Fomentar el trabajo en equipo y el compromiso de todo el personal
- Desarrollar en los administradores y supervisores el liderazgo práctico
- Preparar la plataforma base para el desarrollo de la calidad en la organización

A continuación, se describen cada una de las etapas de la metodología de las 5`s:

Seiri (Clasificar)

Esta etapa consiste en separar lo necesario de lo innecesario, es decir, clasificar y posteriormente eliminar del área de trabajo todos aquellos elementos que no son necesarios o reubicarlos en otras áreas que sí requieran de su uso, ya que entorpecen la producción y/o la ejecución de las actividades por parte del operario. Los objetivos de esta etapa son: controlar el flujo de materiales y/o herramientas, disminuir manipulaciones y transporte, evitar tiempos muertos por búsqueda de materiales o herramientas, optimizar los espacios ocupados por elementos o materiales obsoletos, entre otros. Las personas más indicadas para realizar esta clasificación son los operadores, ya que son ellos quienes saben cómo hacer las cosas y qué elementos necesitan;

apoyados de tarjetas rojas, las cuales les permite denunciar que en el espacio de trabajo analizado existen materiales o elementos innecesarios y debe tomarse una medida correctiva [7]. En la Figura 8 se presenta un ejemplo de Tarjeta roja para la identificación de elementos inútiles o innecesarios.

TARJETA ROJA			
NOMBRE DEL ARTÍCULO			
CATEGORÍA	1. Maquinaria	6. Producto terminado	
	2. Accesorios y herramientas	7. Equipo de oficina	
	3. Equipo de medición	8. Limpieza	
	4. Materia Prima		
	5. Inventario en proceso		
FECHA	Localización	Cantidad	Valor
RAZÓN	1. No se necesita	5. Contaminante	
	2. Defectuoso	6. Otros	
	3. Material de desperdicio		
	4. Uso desconocido		
ELABORADA POR		Departamento	
FORMA DE DESECHO	1. Tirar	5. Otros	
	2. Vender		
	3. Mover a otro almacén		
	4. Devolución proveedor		
FECHA DESCHECHO			

Fig. 8. Ejemplo de tarjeta para identificar elementos inútiles.

Fuente: Lean Manufacturing conceptos, técnicas e implementación.

Seiton (Ordenar)

Consiste en organizar los elementos clasificados como necesarios, de manera que se encuentren con facilidad, definir su lugar de ubicación identificándose para facilitar su búsqueda y retorno a su posición inicial. Una buena práctica es decidir la ubicación en función de la frecuencia de uso, el nivel de seguridad, el peso, volumen, entre otros. Para lograr una buena aplicación de esta estrategia se pueden utilizar señalizaciones de áreas de trabajo y ubicaciones, tablas con siluetas, estanterías modulares y/o gabinetes para un correcto almacenamiento. Para ello se deben responder las siguientes preguntas: ¿Qué necesito para hacer mi trabajo?, ¿Dónde lo necesito

tener?, ¿Qué cantidad o cuantas piezas de ello necesito?, así se logrará tener “un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar” [6].

Seiso (Limpiar)

Una vez se hayan eliminado los elementos innecesarios y se implemente un orden, a continuación, corresponde la etapa de limpieza. Se deben eliminar todos los focos de suciedad, cuando se logre por primera vez, habrá que mantener un hábito de limpieza diaria a fin de conservar el buen aspecto y comodidad de esta mejora. Su correcta aplicación implica integrar la limpieza como parte del trabajo diario, asumir la limpieza como una tarea de inspección necesaria y concentrarse más en la eliminación de focos de suciedad que en sus consecuencias. Este paso de limpieza ayuda a desarrollar un buen sentido de propiedad en los trabajadores y al mismo tiempo comienzan a evidenciarse los problemas o fallos que eran ocultos por el desorden y la suciedad [1].

Seiketsu (Estandarizar)

La fase de estandarizar permite consolidar las metas una vez asumidas las tres primeras 3's, ya que sistematizar lo conseguido garantiza efectos y resultados a corto, mediano y largo plazo. Un estándar es la mejor manera, fácil y práctica de trabajar en una organización, apoyados en herramientas tales como fotografías, documentos con lineamientos, esquemas, entre otros. Una buena práctica de esta estrategia implica mantener los niveles conseguidos en las primeras 3's, elaborar y cumplir estándares de limpieza y comprobar que estos se apliquen correctamente, transmitir a todo el personal la idea de la importancia de aplicar estándares, evitar errores en la limpieza que a veces pueden provocar accidentes [1].

Shitsuke (Disciplina)

Esta es la etapa de la metodología o herramienta de 5's más difícil de alcanzar e implementar, más por un factor de conducta humana, existe la tendencia de volver a la tranquilidad de la vieja forma de hacer las cosas y siempre está presente la resistencia al cambio. Shitsuke traduce disciplina y su objetivo es convertir en hábito la utilización de los métodos estandarizados y aceptar la aplicación normalizada, su aplicación está ligado a al desarrollo de una cultura de autodisciplina para hacer perdurable el proyecto los resultados de las 5's en conjunto [1].

Las 5's son el fundamento del modelo de productividad industrial creado en Japón y aplicado hoy en empresas occidentales, cuando nuestro entorno de trabajo está desordenado y sucio perdemos eficiencia. Una vez implementada la metodología de las 5's, la empresa en imagen se divide en un antes y un después, se crean impresiones positivas en los clientes, los trabajadores se sienten mejor en el área de trabajo, obteniendo menores desperdicios, mejor calidad de los productos, respuestas más rápidas ante los imprevistos o emergencias. En la Figura 9 se presentan de manera resumida la herramienta o metodología de las 5's.

SEIRI Separar y eliminar	SEITON Arreglar e identificar	SEIDO Proceso diario de limpieza	SEIKETSU Seguimiento de los primeros 3 pasos, asegurar un ambiente seguro	SHITSUKI Construir el hábito
Separar los artículos necesarios de los no necesarios	Identificar los artículos necesarios	Limpiar cuando se ensucia	Definir métodos de orden y limpieza	Hacer el orden y la limpieza con los trabajadores de cada puesto
Dejar solo los artículos necesarios en el lugar de trabajo	Marcar áreas en el suelo para elementos y actividades	Limpiar periódicamente	Aplicar el método general en todos los puestos de trabajo	Formar a los operarios de cada puesto para que hagan orden y limpieza
Eliminar los elementos no necesarios	Poner todos los artículos en su lugar definido	Limpiar sistemáticamente	Desarrollar un estándar específico por puesto de trabajo	Actualizar la formación de los operarios cuando hay cambios
Verificar periódicamente que no haya elementos no necesarios	Verificar que haya "un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar"	Verificar sistemáticamente la limpieza de los puestos de trabajo	Verificar que exista un estándar actualizado en cada puesto de trabajo	Crear un sistema de auditoría permanente de planta visual y 5s

Fig. 9. Resumen de la técnica 5's.

Fuente: Kaizen Institute.

3.4.3 SMED (*Single Minute Exchange of Die*)

Esta herramienta fue desarrollada por Shigeo Shingo en los años 1950 en respuesta a las necesidades de producción en grandes lotes para cumplir con las demandas de los clientes con la flexibilidad requerida. Es una metodología o conjunto de técnicas que persigue la disminución de los tiempos de preparación de maquinaria o cambios de herramientas [1]. Esto se logra estudiando detalladamente el proceso e incorporando cambios radicales en la máquina, utillaje, herramientas o incluso en el mismo producto, que disminuyan los tiempos de preparación. Esta es una metodología clara, fácil de aplicar, que consigue resultados rápidos y positivos, generalmente con poca inversión, aunque requiere método y constancia en el propósito.

Los principales beneficios que se obtienen con la implementación de esta herramienta son:

- Lograr fabricar diferentes modelos de productos en la misma línea de producción o maquinaria el mismo día.
- Disminuir el tamaño del lote de producción.
- Disminuir el tiempo de preparación y el tiempo ganado sea utilizado en producir.
- Disminuir el tamaño de los inventarios.

Además de optimizar los tiempos y los costos, esta herramienta permite a la organización adaptarse con mayor facilidad y flexibilidad a los cambios o retos que le presenten los clientes o nuevos productos. Para implementar esta herramienta, las organizaciones deben acometer estudios de tiempos y movimientos relacionados específicamente a con las actividades de preparación, estos estudios generalmente se encuadran en cuatro fases bien diferenciadas:

Fase 1: Diferenciación de la preparación externa e interna

La preparación interna se conoce como todas aquellas actividades que requieren que el equipo se detenga para poder realizarlas, por otro lado, la preparación externa se refiere a todas aquellas actividades que pueden llevar a cabo aun con el equipo en funcionamiento. La finalidad de esta fase es separar la preparación interna de la externa y convertir la mayor cantidad posible de actividades internas en externas, para ello se requiere preparar previamente todos los elementos, realizar el mayor número de reglajes posibles, mantener los elementos en buenas condiciones, crear tablas de las operaciones para la preparación externa, utilizar tecnologías que ayuden a la puesta a

punto de los procesos y mantener orden y limpieza en las zonas de almacenamiento de los elementos [6].

Fase 2: Reducir el tiempo de la preparación interna mediante la mejora de las operaciones

Esta fase consiste en someter a mejora y control continuo todas aquellas actividades que en el fase anterior no sea posible convertir en actividades externas, para lograr este objetivo es necesario estudiar las necesidades del personal para cada operación, estudiar las necesidades de cada operación, reducir los reglajes de la máquina, facilitar la introducción de los parámetros de proceso, establecer un estándar de registro de datos de proceso y reducir la necesidad de comprobar la cantidad del producto [1].

Fase 3: Reducir el tiempo de la preparación interna mediante la mejora del equipo

El objetivo de esta fase es enfocarse en la mejora del equipo, organizar las preparaciones externas y modificar el equipo de forma tal que puedan seleccionarse distintas actividades en paralelo y de forma asistida, modificar la estructura del equipo de manera que se pueda reducir la preparación y puesta en marcha del equipo, incorporar máquinas o dispositivos que ayuden al operador de manera controlada y automática [1].

Fase 4: Preparación cero

El tiempo ideal de preparación es “0” por lo que el objetivo final es plantearse la utilización de ayudas o herramientas tecnológicas adecuadas y el diseño de dispositivos flexibles para productos pertenecientes a la misma familia [1].

3.4.4. Kaizen

El término Kaizen es de origen japonés y significa “cambio para mejorar”, el cual con el tiempo se ha aceptado como “proceso de mejora continua”. Esta metodología es considerada como la clave de la ventaja competitiva japonesa y surgió como una filosofía sinérgica que integra la capacidad de respuesta para así afrontar los desafíos que se plantean cotidianamente y así generar un cambio cultural que repercutió en el desempeño productivo japonés [13]. La clave de la metodología Kaizen es la integración de todos los trabajadores de una organización en sus continuos procesos de mejora, donde se consideran todas necesidades, ideas y aportes, se evalúan

y posteriormente se retroalimentan. Estos aportes individuales se convierten en pequeñas mejoras que sumadas se convierten en el motor de cambio de una organización, además, por medio de esta participación individual y colectiva se mejora el sentido de pertenencia por la organización.

3.4.5. Kanban

Kanban significa en japonés etiqueta de instrucción, el objetivo principal de esta herramienta es contener la información que sirva como orden de trabajo, es decir, una ayuda que permite la redirección automática de da información acerca de qué producir, en qué cantidad, mediante que procesos y con qué logística. Teniendo en cuenta lo anterior queda claro que Kanban se desprende directamente del control de producción y la mejora de los procesos. Los principales propósitos de Kanban son prevenir la sobreproducción, proporcionar instrucciones específicas en los procesos, servir como herramienta de control visual y representar un contenedor de inventario [7]. Existen cinco tipos de Kanban diferenciables.

Kanban de producción

Es utilizado en las líneas de ensamblaje y otras áreas donde el tiempo de set-up es cercano a cero, contiene la orden de producción, el tipo de parte, la máquina a utilizar en el proceso y donde ubicarla posterior al proceso. Estas etiquetas pueden ser pegadas al material o ubicadas en lugares cercanos al proceso. En la Figura 10 se presenta un ejemplo del Kanban de producción.

CLASIFICACION TRIAGE			
NIVEL DE URGENCIA	TIPO DE URGENCIA	COLOR	TIEMPO DE ESPERA
1	RESUCITACION	ROJO	ATENCION DE FORMA INMEDIATA
2	EMERGENCIA	NARANJA	10 - 15 MINUTOS
3	URGENCIA	AMARILLO	60 MINUTOS
4	URGENCIA MENOR	VERDE	2 HORAS
5	SIN URGENCIA	AZUL	4 HORAS

Fig. 10. Ejemplo de Kanban de producción.

Kanban de retiro

Este Kanban es una señal de que algo debe ser retirado y transportado a un lugar específico.

Kanban de señalador

Se coloca en lugares estratégicos de áreas de almacenamiento, especifica la producción del lote, funciona de la misma manera que un Kanban de producción. Indica al proveedor que traslade de su almacén un contenedor de materias primas al almacén del cliente.

Kanban de urgencia

Emitido cuando hay escasez de una materia prima o componente, o cuando a causa de componentes defectuosos, averías de las maquinas, trabajos especiales o tiempo extra, se producen circunstancias especiales y es necesario surtir ese componente y es necesario surtir ese componente en el punto de uso de la línea de ensamble.

Kanban de proveedor

Es usado entre el proveedor y el fabricante, en este caso los proveedores deben ajustarse a entregar tamaños de lotes grandes y pequeños para hacer equipo con el fabricante, entregar los materiales justo a tiempo y cumplir con las demandas de los clientes. Este Kanban es entregado en tiempos predefinidos del fabricante al proveedor.

3.4.6. Poka Yoke

Es una herramienta que ayuda a garantizar la calidad de los productos, fue desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en los años 1960 y significa “a prueba de errores”. Consiste en detener un proceso productivo antes de que se genere un error, está parada tiene como objetivo reconocer las causas del error y no permitir que siga el proceso hasta que este error sea eliminado. La prevención de errores se hace diseñando dispositivos, instructivos o algún mecanismo que evite que se materialice. La herramienta del Poka Yoke tiene dos principales funciones, la primera es realizar la inspección del 100% de las piezas producidas, y la segunda, si se presentan anomalías se debe dar la respectiva retroalimentación y acciones correctivas [7].

El Poka Yoke presenta ocho principios para las mejoras y los cero defectos:

- No poner pretextos sino analizar el problema para hallar el cómo hacerlo bien.
- Eliminar todos los errores y defectos inadvertidos.
- Detener el hacer mal un proceso y comience por hacer lo correcto de inmediato.
- Instaurar la calidad dentro del proceso.
- Implementar sus ideas de mejora inmediatamente.
- Trabajar en equipo es más eficiente que el trabajo de una persona.
- Los errores y defectos se reducirán al mínimo si todos trabajan en equipo para eliminarlos.
- Analizar los problemas hasta llegar a la causa raíz.

3.4.7. TPM

Mantenimiento productivo total conocido como TPM por su traducción del inglés “Total Productive Maintenance”, se desarrolló en Japón a partir del concepto de “mantenimiento preventivo” creado en la industria de los Estados Unidos [13]. Consiste en un conjunto de técnicas orientadas a eliminar las averías a través de la participación y motivación de todos los empleados, la idea principal es que la mejora y buena conservación de los activos productivos es una tarea de todos, desde los directivos hasta los ayudantes de los operarios, en la Figura 11 los departamentos involucrados en la implementación del TPM.



Fig. 11. Departamentos a los que engloba el TPM.

Fuente: Gestión de mantenimiento. Lean Maintenance y TPM.

Los objetivos principales que propone esta metodología son:

- Maximizar la eficacia de los equipos
- Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo para toda la vida útil de los equipos
- Implicar a todos los departamentos que planifican, diseñan, utilizan o mantienen los equipos
- Implicar activamente a todos los empleados de la compañía

La eficacia de los equipos se maximiza por medio del esfuerzo realizado en el conjunto de la empresa para eliminar las seis grandes pérdidas tenidas en cuenta por el TPM, las cuales se presentan en la TABLA 2.

TABLA 2. LAS SEIS GRANDES PÉRDIDAS EN LOS EQUIPOS PRODUCTIVOS.

Tipo	Pérdida
Tiempo muerto	1. Averías debidas a fallos en equipos.
	2. Preparación y ajustes. Ejemplos: cambio de utillajes, cambios de moldes, ajustes de herramientas.
Pérdidas de velocidad	3. Tiempo en vacío y paradas cortas (Operación anormal de sensores, bloqueo de trabajo en rampas, etc.).
	4. Velocidad reducida (diferencia entre la velocidad nominal y real).
Defectos	5. Defectos en proceso y repetición de trabajos (desperdicios y defectos de calidad que requieren reparación).
	6. Menor rendimiento entre la puesta en marcha de las máquinas y producción estable.

El TPM promueve la concienciación sobre el equipo y el auto-mantenimiento por lo que es necesario que los operadores adquieran habilidades para detectar anomalías, tratarlas y establecer las condiciones óptimas del equipo de forma permanente. La implantación TPM requiere una metodología adecuada a las características de la empresa y, sobre todo, formación de las personas [1]. De una forma esquemática, el proceso de implantación TPM se puede desplegar en las siguientes fases:

Fase preliminar

En esta fase es necesario modelar la información relacionada con mantenimiento, identificando y codificando equipos, averías y tareas preventivas.

Fase 1: Volver o situar la línea en su estado inicial

La finalidad de esta fase es dejar la línea en las condiciones que fue entregada por parte del proveedor en el momento que fue puesta a punto (limpia, sin manchas de aceite, grasa, polvo, libre de residuos, etc.).

Fase 2: Eliminar las fuentes de suciedad y las zonas de difícil acceso

Las fuentes de suciedad hay que considerarlas como causas de un mal funcionamiento o anomalías de los equipos, aunque unas repercutan más que otras en el rendimiento de los equipos.

Fase 3: Aprender a inspeccionar el equipo

Transmitir los conocimientos necesarios para los operadores sobre el funcionamiento y cuidado de los equipos, para que ellos tengan la responsabilidad y se encarguen de labores propias de mantenimiento.

Fase 4: Mejora continua

En esta fase los operarios de producción realizan las tareas de TPM de forma autónoma, se hacen cargo de las técnicas necesarias y proponen mejoras en las máquinas que afecten a nuevos diseños de línea.

Una vez iniciado un programa TPM, la calidad de su proceso de implantación debe ser auditada por el departamento de mantenimiento de cara a controlar los costes, comprobar que las actividades planificadas se han realizado y plantear objetivos para siguientes fases. En este punto conviene definir un sistema de indicadores accesible y fiable para capturar, medir, analizar y evaluar los resultados y desviaciones respecto al objetivo de manera metódica y fiable. OEE (Overall Equipment Efficiency) es un indicador que se calcula diariamente para un equipo o grupos de máquinas y establece la comparación entre el número de piezas que podrían haberse producido, si todo hubiera ido perfectamente, y las unidades sin defectos que realmente se han producido. Para la utilización de este indicador, se utilizan los índices de Disponibilidad, Eficiencia y Calidad. OEE es el producto de estos tres índices [1]. En la Figura 12 se presenta el esquema de los componentes

del OEE. El cálculo de este indicador es interesante porque en un único indicador se evalúan todos los parámetros fundamentales de la producción industrial y constituye una de las claves del Lean.

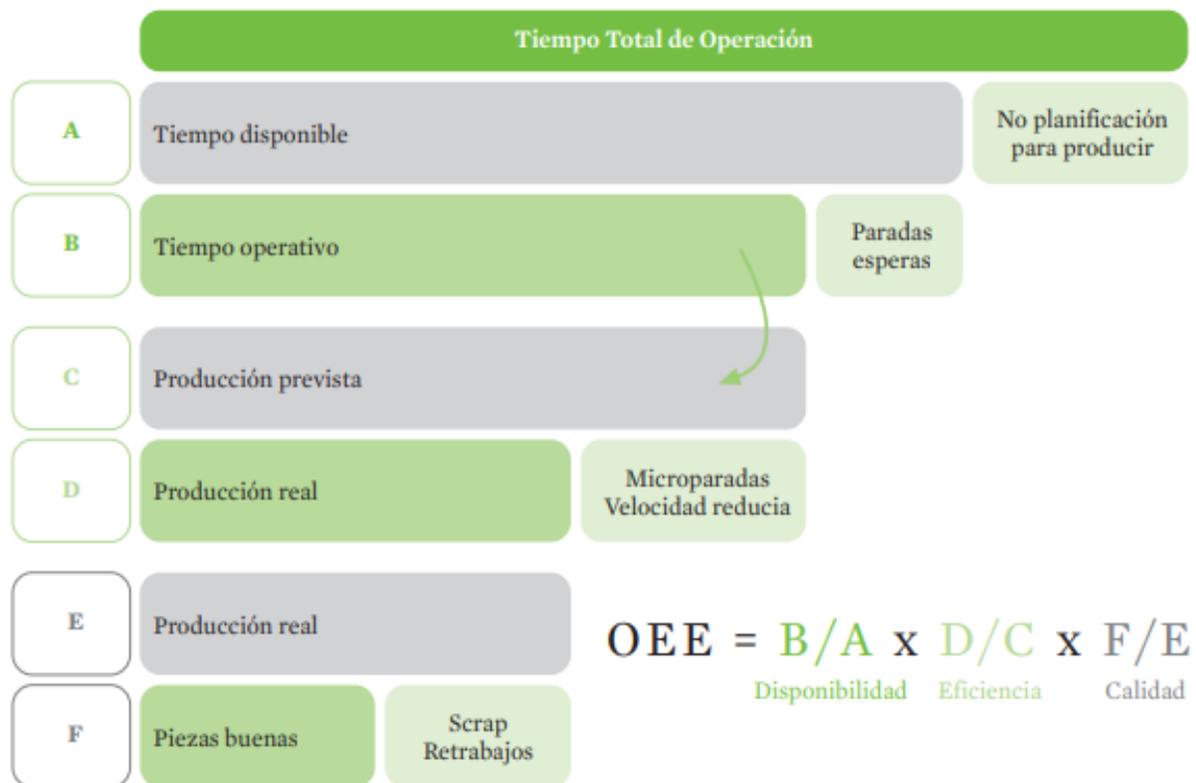


Fig. 12. Esquema de los componentes del OEE.

Fuente: Lean Manufacturing Conceptos, técnicas e implementación.

Para la implementación de la metodología del TPM, es necesario tener cimientos o fundamentos sólidos, por esto el TPM se fundamenta sobre 8 pilares más una base que es la metodología o herramienta anteriormente mencionada de las 5's. Los pilares del TPM que se muestra en la Figura 13 tienen como objetivo mejorar los resultados corporativos y crear lugares de trabajo grato y productivo a través de la búsqueda de los cero defectos, cero averías y cero accidentes [13].



Fig. 13. Los 8 pilares y la base del TPM.

Fuente: Gestión de mantenimiento. Lean Maintenance y TPM.

3.4.8. *Justo a tiempo (JIT)*

Consiste en producir los elementos que se necesitan, en las cantidades y en el momento necesario. Es una filosofía industrial que se traduce en un sistema que tiende a producir justo lo que se requiere, sin desperdiciar recursos del sistema.

El JIT es una metodología de organización de la producción que tiene implicaciones en todo el sistema productivo. Además de proporcionar métodos para la planificación y el control de la producción, incide en muchos otros aspectos de los sistemas de fabricación, como son: el diseño de producto, los recursos humanos, el sistema de mantenimiento o la calidad, entre otros [13].

El JIT tiene múltiples beneficios entre los cuales se encuentran:

- Disminuye las inversiones para mantener el inventario.
- Aumenta la rotación del inventario.
- Reduce las pérdidas de material, genera menos *mudas*.
- Mejora la productividad global.
- Disminuye los costos financieros.
- Genera ahorros en los costos de producción, los racionaliza.
- Menor espacio de almacenamiento.

- Se evitan problemas de calidad, cuello de botella. problemas de coordinación, proveedores no confiables etc.
- Toma de decisiones en el momento justo.
- Cada operación produce sólo lo necesario para satisfacer la demanda.
- No existen procesos aleatorios ni desordenados.
- Los componentes que intervienen en la producción llegan en el momento de ser utilizados [5].

3.4.9. Jidoka

Jidoka es una palabra japonesa que se traduce como “autonomación”, que significa “automatización con un toque humano”. Esta palabra, que no debe confundirse con automatización, define el sistema de control autónomo propuesto por el Lean Manufacturing [13].

Es un método que permite detectar y corregir defectos de la producción llegando al punto de detener una línea de producción o una máquina para evitar la elaboración de productos defectuosos. Esto asegura que la calidad sea controlada por el proceso mismo, dado que sólo se producirán piezas con cero defectos, evitando que las defectuosas pasen a etapas posteriores del proceso [5].

En el Jidoka se destacan como aspectos fundamentales [4]:

- Aseguramiento de la calidad el 100% del tiempo
- Prevención de averías de equipos
- Uso eficaz de la mano de obra
- Se inspeccionan el 100% de los productos lo que garantiza la calidad de sus componentes y del producto terminado como tal.
- Se reducen tiempos de fabricación debido a la integración de la inspección con la línea de producción.
- Se reducen inventarios de seguridad y pueden disminuir también el número de inspectores de calidad.
- Aumenta la productividad.

3.4.10. Heijunka

Heijunka es una técnica que sirve para planificar y nivelar la demanda de clientes en volumen y variedad durante un periodo de tiempo. La gestión práctica del Heijunka requiere conocer la demanda de clientes y sus efectos en los procesos y, a su vez, exige una estricta atención a los principios de estandarización y estabilización [1]. Para su aplicación existen una serie de técnicas que permiten obtener un sistema avanzado de producción con flujo constante, ritmo determinado y trabajo estandarizado, lo que proporciona unas ventajas significativas desde el punto de vista de la optimización de mano de obra, minimización de inventarios y tiempos de respuesta al cliente. Las técnicas utilizadas son:

Usar células de trabajo

Consiste en crear estaciones de trabajo situadas una al lado de la otra siguiendo una secuencia que permita que el producto avance fluidamente, con desplazamientos y tiempos cortos siguiendo las fases del proceso productivo. De esta forma se crea una secuencia eficiente que permite un movimiento suave y continuo de las materias primas para elaborar los productos de principio a fin. Para la creación de estas celdas se hace necesario identificar las familias de productos, contar con personal capacitado, disponer de personal de apoyo y diseñar sistemas anti-error en cada estación de la célula [2].

Flujo continuo pieza a pieza

Esta técnica tiene como fin permitir que el producto fluya de forma continua y sin interrupciones desde el proveedor hasta el cliente. Para ello es necesario integrar el flujo de información, el flujo de materiales y el flujo de operarios.

Producir respecto al Takt time (tiempo de ritmo)

En este punto con la implementación de esta técnica se pretende sincronizar el tiempo de producción con el de ventas, de manera que se consigue un número de referencia que indica el ritmo al que hay que producir. Dicho número o mejor el Takt time se puede calcular de la siguiente forma:

$$\text{Takt time} = (\text{tiempo operativo por periodo en segundos.}) /$$
$$(\text{Demanda cliente por periodo en unidades}).$$

Nivelar el mix y el volumen de producción

El objetivo de esta técnica es realizar una mezcla lo más nivelada posible, significa producir en pequeños lotes, incrementando el número de cambios y manteniendo las variantes de los componentes a disposición en las áreas de montaje.

4. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

TDI INGENIERIA Y DISEÑO S.A.S, recoge la experiencia de su empresa antecesora VIAMACOL LTDA fundada en 1980, quien en sus inicios se especializó en poliuretanos de alto desgaste, aplicados en productos como bombas centrifugas e hidrociclones, enfocándose principalmente en soluciones para el sector minero. En el transcurso de los años TDI se ha especializado en el diseño y fabricación de equipos de bombeo, separación gravimétrica, flotación, espesado, almacenamiento y transporte de materiales particulados. TDI ofrece un servicio de acompañamiento y proyectos integrados desde el diseño, ingeniería, fabricación, montaje y puesta en marcha. Actualmente implementa sistemas de gestión integrada para potenciar la capacidad técnica y tecnológica, buscando ofrecer calidad y servicio post-venta a sectores industriales, como agregados, minería, construcción y acueducto.

4.1. Propósito

Aportar al crecimiento económico de las empresas del sector minero con soluciones de ingeniería que logran un desempeño más eficiente y responsable con la biosfera y las comunidades.

4.2. Mega

Posicionarnos en el mercado del área andina, ofreciendo soluciones y servicios de ingeniería para la sostenibilidad ambiental, en el mercado nacional aumentar la cuota en sustitución de importaciones.

4.3. Líneas de negocio

TDI Ingeniería y Diseño se ha caracterizado por diseñar y suministrar equipos para plantas de beneficio, minería, tratamiento de colas, tratamiento de agua. Entre sus principales productos se encuentran:

- Equipos para bombeo y transporte de materiales (bombas centrifugas para lodos, bandas transportadoras, válvulas Pinch, entre otros.)
- Equipos para lavado, clasificación, separación y deshidratación (Hidrociclones, criba vibratoria, escurridores, grizzli, jig, aspersores, plantas compactas de lavado)
- Sistemas de flotación (celdas de flotación circulares y rectangulares)
- Equipos para el tratamiento de aguas y finos (espesadores, clarificadores, sistemas de floculación)
- Equipos para almacenamiento de materiales (tolvas, silos, cubas, tanques)
- Estructuras
- Automatización (instrumentación, controles)
- Repuestos para Bombas de lodos (impulsores, recubrimientos, platos de desgaste, expulsores, entre otros).

En la Figura 14 se ilustran algunas de las actividades desarrolladas en la planta de producción de la empresa TDI.



Fig. 14. Actividades desarrolladas en planta de TDI.

Fuente: TDI Ingeniería y Diseño S.A.S.

5. METODOLOGÍA

Para alcanzar las metas trazadas se siguió la metodología propia de Lean Manufacturing basada en 6 fases, las cuales se describen a continuación:

5.1. Fase 1: Diagnóstico y formación

Se definieron criterios indispensables antes de estudiar el proceso, tales como: por dónde empezar, de qué manera trabajar, los recursos necesarios. etc. Como paso siguiente se realizaron capacitaciones para formar a las personas que participaron en el lanzamiento de la implantación Lean, se realizó la recolección de información sobre los procesos y productos que se elaboran en el área de producción de la empresa TDI Ingeniería y Diseño SAS. Se contó con la ayuda de los operadores, encargado del área de producción, administrativos, personal del área de diseño y comercial, con la información suministrada se elaboró un mapeo de la cadena de valor (VSM: Value Stream Mapping) con el fin de identificar las oportunidades de mejora (despilfarros). Como punto de partida en la toma de decisiones relativas a la implantación del sistema lean, se suele empezar analizando la información derivada del Value Stream Mapping (VSM), cuya elaboración ya ha sido explicada en puntos anteriores de este documento, esta herramienta de diagnóstico es de vital importancia en el momento de la identificación de las ineficiencias y oportunidades de mejora específicas de cada planta en su situación inicial de funcionamiento.

5.2. Fase 2: Diseño del plan de mejora

Luego de consolidar y analizar la información, se define la planificación de estrategias en función de las problemáticas o necesidades detectadas en la fase de diagnóstico y formación. Se establecieron objetivos concretos, tareas individuales y grupales, tiempos de ejecución, se definieron indicadores que permitan medir el grado de avance y mejora del proyecto, se establecieron funciones concretas para desarrollar la metodología operativa y se definieron las áreas de implementación.

5.3. Fase 3: Lanzamiento

En esta fase se empezaron a ejecutar los cambios que según lo reflejado en el VSM eran necesarios y más significativos a lo largo de toda el área de producción. Se comenzó por la implementación de las técnicas o herramientas más sencillas pero que entregan resultados visibles

y rápidos, con los logros o avances obtenidos en esta primera fase de implementación, se evaluaron como punto de partida para la mejora de estas o implementación de otras herramientas. Las técnicas siguientes para implementar, se aplicaron por nivel de incidencia sobre las distintas oportunidades de mejora detectadas en el VSM, se realizaron reuniones informativas grupales e individuales con todos los involucrados donde estas se enfocaron sobre el plan de mejoramiento continuo para que se sintieran acogidos y valorar sus opiniones, ideas y/o recomendaciones.

5.4. Fase 4: Estabilización de mejoras

En esta fase, se implementaron herramientas de alto impacto para atacar directamente los desperdicios en actividades relacionadas con mantenimiento y calidad, se redujeron los lotes de producción al mínimo posible, determinados dichos lotes por el punto de equilibrio de producción. Se comenzaron a asentar los grandes cambios y metodologías, basados en la aplicación de sucesivas técnicas, según lo dispuesto durante la fase de lanzamiento por los responsables de los talleres de mejora continua, en donde se publicaron los avances y se retroalimentaron con el fin de socializar resultados y encontrar más márgenes de mejora con ayuda de todos los involucrados.

5.5. Fase 5: Estandarización

Se establecieron y diseñaron métodos de trabajo capaces de adaptarse a las variaciones de la demanda, en esta fase se trabaja arduamente en la educación y entrenamiento de todo el personal involucrado en la implementación y operación del sistema, al fin y al cabo, son ellos quienes tienen que ser multifuncionales para adaptarse a los cambios y demanda de los clientes.

5.6. Fase 6: Producción en flujo

En esta última etapa, tras varios periodos de adaptación, formación y estandarización, se comenzó a producir en base a la filosofía JIT y el sistema Pull, donde se evidenció una producción más nivelada y fluida, manteniendo la estabilidad y flexibilidad. Atacando así directamente varios desperdicios y velar por mantener el control de calidad. Para ellos se establecieron acciones directamente relacionadas con herramientas más exigentes o complejas como lo son Jidoka, Heijunka y Kanban. Además, en esta última fase se realizaron análisis críticos sobre el nivel de avance de cada una de las técnicas o herramientas implementadas y cómo pueden seguir evolucionando, y de ser necesario, volver a las anteriores etapas a reconfigurar el sistema. En la Figura 15 se presenta una hoja de ruta para la implantación del Lean Manufacturing.

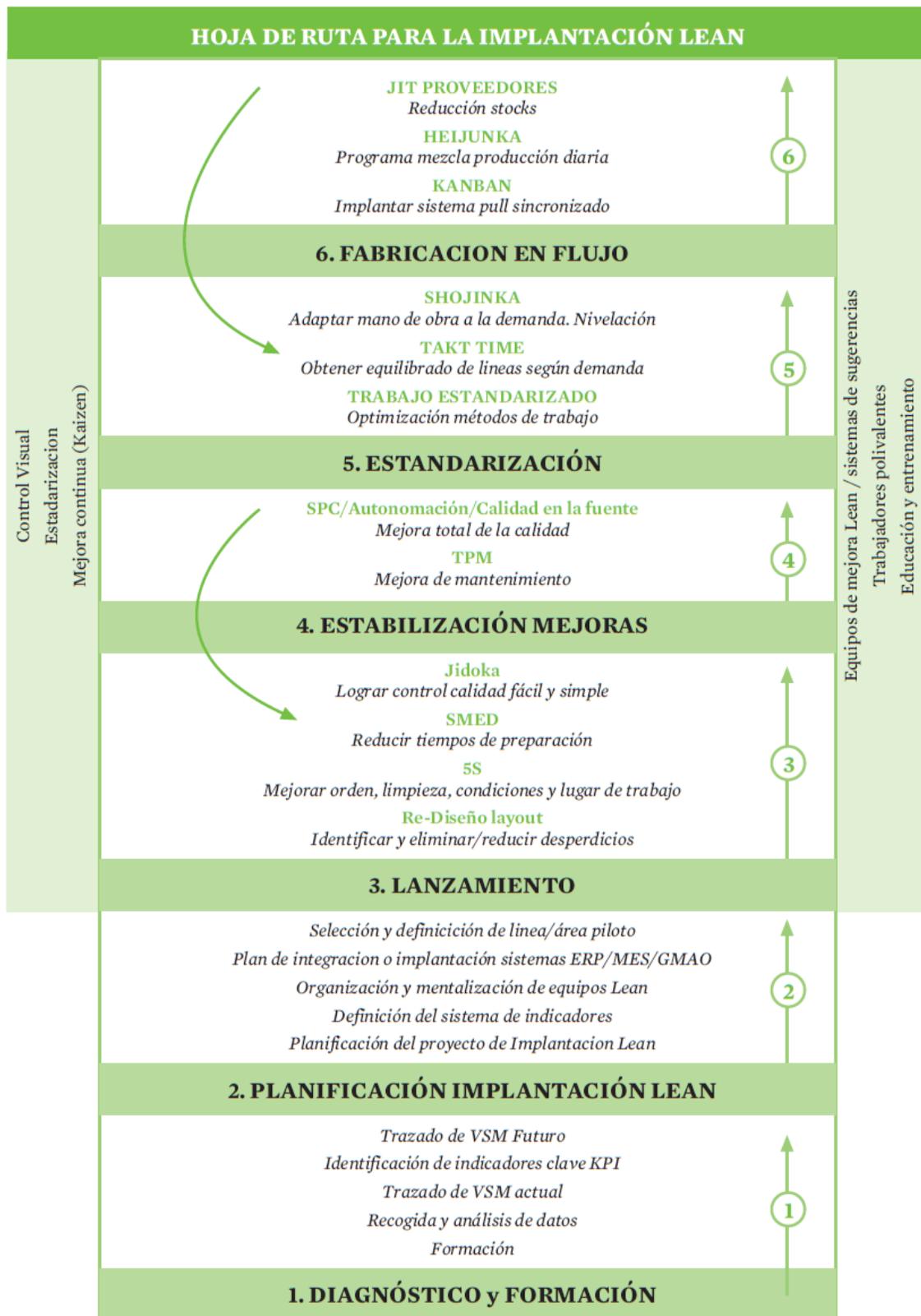


Fig. 15. Hoja de ruta para la implementación del Lean Manufacturing.

Fuente: Lean Manufacturing conceptos.

6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1. Objeto de estudio

Como se ha descrito anteriormente el objeto de estudio es la empresa TDI Ingeniería y Diseño S.A.S.

6.1.1. Identificación de variables

Variable independiente: herramientas Lean Manufacturing

Variable dependiente: Productividad

6.1.2. Operacionalización de las variables

TABLA 3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Herramientas Lean Manufacturing	Lean Manufacturing es el nombre que recibe el sistema JIT (Just In Time) en occidente, también se denomina manufactura de clase mundial y sistema de producción de Toyota.	Conjunto de herramientas orientadas a retirar de los procesos productivos todo aquello que no añade valor al producto, proceso o servicio.	Aplicación de VSM Aplicación 5's Estandarización de procesos	<ul style="list-style-type: none"> • Numero de procesos comunes identificados • Número de procedimientos por procesos • Tiempo promedio estándar por procedimiento y por proceso total • Índice de rendimiento de M.O.
Productividad	La productividad es la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción o servicios y los recursos utilizados para obtenerla.	Uso eficiente de recursos, trabajo, capital, tierra, materiales, energía, información en la producción de diversos bienes o servicios.	Productividad	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de productividad del área de producción • % de eficiencia (medido para M.O., materiales y tiempo trabajado).

6.1.3. Población y muestra

Población

Como se mencionó en los puntos anteriores, con la implementación de las herramientas de la filosofía Lean se pretende mejorar la productividad. Cada organización tiene diversos departamentos o diversas áreas a las cuales se les pueden implementar herramientas de mejora continua y así atacar la mejora de la productividad desde distintos flancos, en la Figura 16 se

presentan los diferentes ítems que se sometieron a consideración vistos desde diferentes enfoques, criterios y pesos sobre el impacto que tendrían sobre la necesidad del objeto de estudio.

SELECCIÓN DEL TEMA								
EMPRESA:		TDI INGENIERIA Y DISEÑO			FECHA:		7/09/2021	
ÍTEM	TEMA	ENFOQUE			CRITERIOS			PUNTAJE TOTAL
		Productividad	Calidad	Entrega	Impacto	Urgencia	Facilidad	
1	Reducción de costos operativos	x			1	3	3	9
2	Conexión y enlace con clientes		x		3	3	3	27
3	Estandarización de procesos	x			3	5	5	75
4	Mejora de la capacidad productiva	x			5	5	5	125
5	Mejora en el ambiente de trabajo	x			3	3	3	27
6	Mejora en las condiciones laborales	x			5	3	1	15

Convenciones:
Impacto:
 1 – Bajo impacto en el resultado; 3 – Impacto medio en el resultado; 5 – Alto impacto en el resultado;
Urgencia:
 1 – No es tan urgente, puede esperar; 3 – Lo más pronto posible; 5 – Solución inmediata para lograr el resultado
Facilidad:
 1 – No se cuenta con los recursos para hacerlo; 3 – Se puede lograr a un largo plazo; 5 – Fácil de ejecutar y costo bajo.

Fig. 16. Selección del tema.

Fuente: elaboración propia.

Con el fin de seleccionar una muestra representativa que refleje la situación actual de la empresa en su área de producción, se tuvieron varios criterios en cuenta, como lo son demanda del cliente, procesos involucrados en su producción, personal ocupado, disponibilidad de los equipos, procesos en serie, entre otros. En la TABLA 4 se presenta la prueba para la selección del producto seleccionado para realizar el muestreo, se tuvieron en cuenta la demanda de producción en el periodo de tiempo mensual.

TABLA 4. RESULTADOS DEL ANALISIS

PRODUCTO	DEMANDA MENSUAL	NUMERO PROCESOS	PRODUNCION EN SERIE	PERSONAL OCUPADO	DISP. EQUIPOS
C.F. CIRCULAR	3	7	No	8	85%
HC	5	4	No	4	90%
REC. BOMBA	80	5	Si	9	85%
IMPULSOR	40	5	Si	7	85%
ESCURRIDOR	1	7	No	8	80%
CRIBA	1	7	No	7	75%

Luego de someter a análisis y evaluación los productos más demandados teniendo en cuenta los criterios presentados en la tabla 4, se estableció que el producto muestra más representativo son los recubrimientos para bomba ya que en unidades por mes es el producto más demandado, involucra gran cantidad de procesos y personal, además cumple con uno de los criterios más importante que es producción en serie.

6.2. Diagnóstico y formación

Para la fase de diagnóstico y formación, como se mencionó en la metodología se realizaron capacitaciones con ayuda de un asesor externo donde se abordaron temas relacionados con la cultura de trabajo de Lean Manufacturing, sus herramientas, los beneficios de implementar estas metodologías, el alcance, el compromiso de todos para alcanzar las metas, los retos que implica implementar esta metodología, entre otros.

Con la información recolectada por medio de medición de tiempos de producción y con ayuda de los operadores, jefe de producción, administrativos, personal de área de diseño y comercial, quienes suministraron información valiosa esta etapa de recolección de información, análisis, diagnóstico y formación. Con dicha información se procedió a desarrollar y aplicar herramientas que aporten a elaborar un análisis completo para determinar el diagnóstico actual, visualizar las necesidades y oportunidades de mejora.

6.2.1. Elaboración del V.S.M. actual

Luego de identificar el producto o la familia de productos a analizar y tener condensada la información, se procedió a desarrollar un mapa de flujo de valor, con el objetivo de proporcionar una representación visual del flujo de material e información, y poder conducir a herramientas de mejora visualizando cada uno de los procesos desde una perspectiva evaluativa en cada uno de los procesos involucrados en la fabricación del producto muestra.

El Takt Time representa el ritmo de producción necesario que marca la demanda del cliente, es decir, marca el ritmo en el cual el cliente está demandando sus productos, que la empresa debe emplear para producir sus productos con el fin de satisfacerlo, y se define a través de la siguiente relación:

$$\text{Takt time} = (\text{tiempo operativo o disponible de producción}) /$$
$$(\text{Demanda cliente por periodo en unidades}).$$

En la Figura 17 se presenta el VSM actual del proceso donde se identifican las oportunidades de mejora, los tiempos de ciclo de producción en cada proceso, el inventario en cada estación de producción, el tiempo de valor agregado en todo el proceso de fabricación de este producto, el lead Time (tiempo total del proceso para una pieza).

Para construir el VSM actual se tuvieron en cuenta los datos consignados en la TABLA 5.

TABLA 5. DATOS PLANTA PRODUCCIÓN TDI.

ITEM	DESCRIPCIÓN	DATOS
1	Cantidad de días al año	324
2	Cantidad de turnos por día	1
3	Horas por turno	10.5
4	Paradas en horas (alimentación, descansos)	1
5	Demanda del cliente semanal en unidades	20
6	Transporte proveedor semanal	1
7	Embalaje al cliente semanal	1

Con los datos plasmados en el VSM actual y los datos consignados en la TABLA 5 se procedió a calcular el Takt time, tomando como referencia un turno único de 8 horas diarias, una producción diaria de 4 impulsores para cumplir con la demanda semanal de 20 unidades y una disponibilidad de los equipos del 80%.

$$Takt\ Time = \frac{(8\ \text{horas}) \cdot (60\ \text{min}) \cdot (0,8)}{\left(4\ \frac{\text{unid}}{\text{dia}}\right)}$$

$$Takt\ Time = 96\ \text{min}$$

Este valor demuestra que los ciclos de la mayoría de los procesos actualmente no cumplen con los tiempos de marcha que exige la demanda del cliente, lo que demuestra por que actualmente no se cumple con dichas condiciones, se entrega con retraso, con imperfecciones y al cliente no se le soluciona la necesidad, por consiguiente, el busca otras alternativas para cumplir con sus demandas como por ejemplo comprar en otro proveedor. En la Figura 18 se muestra gráficamente los procesos que están por debajo del Takt Time.

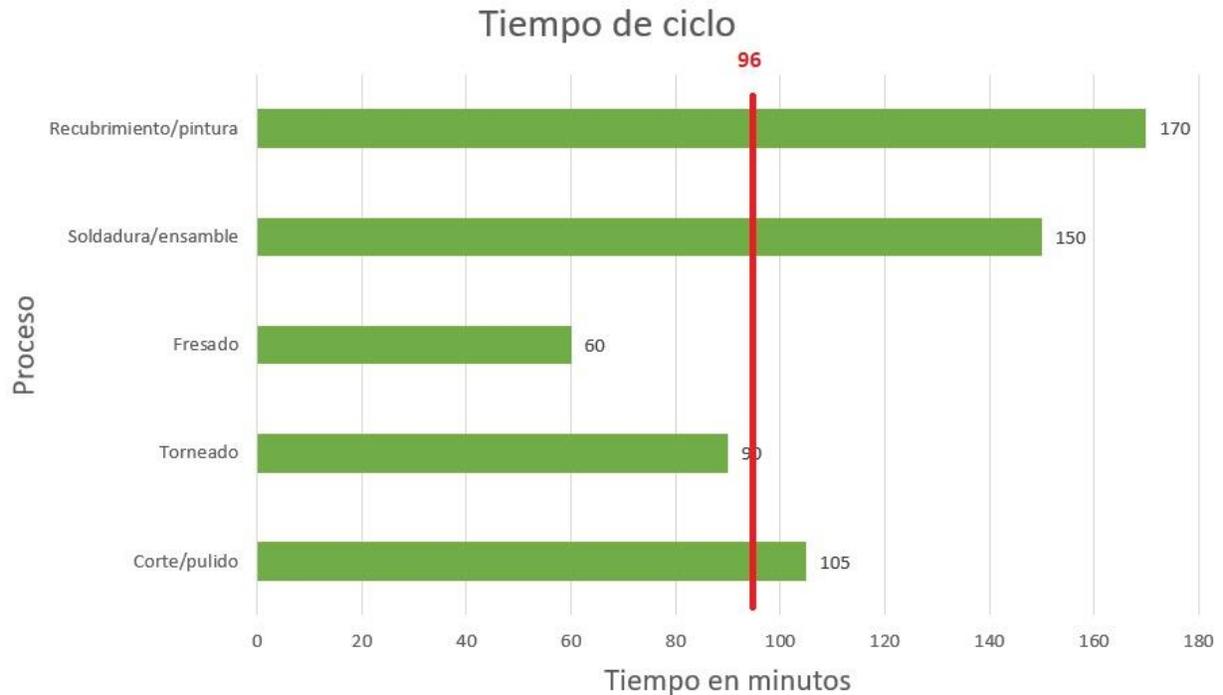


Fig. 18. Tiempos de ciclos vs Takt time.

Fuente: elaboración propia.

De la TABLA 5 y la *figura 18* se pudo inferir que hay que trabajar en los procesos que están por encima del Takt time y también en los otros procesos, como se muestra en el VSM actual en todos y cada uno de los procesos que conforman la línea o secuencia de producción de los impulsores objeto de muestra se evidenciaron oportunidades de mejora y desperdicios susceptibles a ser eliminados o mejorados.

En la TABLA 6 se discriminan las oportunidades de mejora o desperdicios observados y plasmados en el VSM y la contramedida para eliminarlos o mejorarlos.

TABLA 6. DESPERDICIOS Y OPORTUNIDADES DE MEJORA

Oportunidad de mejora	Contramedida	Fundamento
Desorden	5's	El problema u oportunidad de mejora que se visualizó en todos los procesos y en toda la planta. Falta limpieza en el puesto de trabajo, materiales y herramientas innecesarias presentes.

Capacitación	TPM	Se evidencio malas prácticas en algunos procesos, fallas en la lectura de planos, mal uso de herramientas, no se sabe parametrizar y calibrar los equipos, errores usando elementos de medición, problemas para trabajar en equipo, tiempo perdido en actividades que no agregan valor al producto.
Tiempos de espera	Benchmarking Jidoka SMED	Se evidencio exceso de tiempos muertos por esperas de la materia prima, atrasos en la producción, equipos dañados, falta de herramienta o simplemente por negligencia y pérdida de tiempo del operario.
Mantenimiento	TPM	La mayoría de los equipos se encontraron en mal estado, solo se realiza mantenimiento correctivo, no se hace mantenimiento autónomo por parte de los operarios, no existen hojas de vida de los equipos, no hay un plan de mantenimiento,
Herramientas	Benchmarking TPM	En la mayoría de los procesos se evidencio que las herramientas no eran las adecuadas o estaban en mal estado, particularmente en los procesos de torneado y fresado se observó que no existe un estándar de operación en función del material a trabajar.
Transporte	Heijunka JIT	Prolongados tiempos de entrega de materia prima e insumos, no se ha desarrollado una cadena efectiva de proveedores, no existe una agenda o un plan de entrega estructurado con los clientes, celdas de trabajo alejadas o interfieren con un flujo continuo.
Reprocesos	TPM	En algunos puestos de trabajo no se cuenta con las herramientas o insumos adecuados, variación en la materia prima, no están definidos los estándares de fabricación.
Defectos	Poka Yoke Jidoka Estandarización	Presentados por malas prácticas, herramientas inadecuadas, falta de capacitación en manejo de estándares, herramientas y lectura de planos, errores en manejo de herramientas de medición.
Movimientos innecesarios	Kanban 5's	No se cuenta con la herramienta adecuada en el puesto de trabajo, prolongados desplazamientos para recoger insumos, materias primas o herramientas, no se conocen las herramientas o la ubicación.
Potencial humano subutilizado	Kaizen	Falta de motivación de los operarios, clima laboral inapropiado, capacidades físicas e intelectuales no aplicadas, personal insuficiente, falta de sentido de pertenencia, falta de iniciativa.

6.3. Implementación de las 5's

En el desarrollo o implementación de esta herramienta se destinaron recursos para capacitación del personal, materiales, tiempos de operarios destinados a limpieza y orden, herramientas para orden y limpieza. Cada operario en su puesto de trabajo debía tener claro la finalidad de esta implementación y estar comprometido.

Antes de iniciar con la implementación de esta herramienta, se realizaron unas auditorías preliminares, donde se evaluaron cuantitativamente el nivel actual de implementación. La metodología es responder un cuestionario por cada “S”, la ponderación fue de 0 a 3, siendo 0 nula la implementación, 1 implementación a un 30%, 2 cumple en un 65% y 3 un 95% de cumplimiento. En la TABLA 7 se presentan los resultados de esta auditoría preliminar.

TABLA 7. FICHA DE EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA 5’S

ITEM	FORMATO DE EVALUACIÓN	CALIFICACIÓN
CLASIFICAR		
1	Las herramientas de trabajo se encuentran en buen estado	2
2	Los equipos se encuentran en buenas condiciones de uso	2
3	Existen objetos sin uso en pasillos	2
4	Pasillos libres de obstáculos	1
5	Las mesas de trabajo están libres de objetos sin uso	0
6	Se cuenta con solo lo necesario para trabajar	0
7	Los cajones se encuentran bien ordenados	2
8	Se ven partes o materiales en otras áreas o lugares diferentes a su lugar asignado	1
9	Es difícil encontrar lo que se busca inmediatamente	0
10	El área está libre de cajas, papeles u otros objetos	0
ORDENAR		
11	Las áreas están debidamente identificadas	0
12	No hay unidades encimadas en las mesas o áreas de trabajo	0
13	Los botes de basura están en el lugar designado para estos	2
14	Lugares marcados para todo el material de trabajo (Equipos, carpetas, etc.)	0
15	Todas las sillas y mesas están en lugar designado	2
16	Los cajones de las mesas de trabajo están debidamente organizados y solo se tiene lo necesario	1
17	Todas las identificaciones en los estándares de materiales están actualizadas y se respetan	0
LIMPIAR		
18	Los equipos se encuentran limpios	1
19	Las herramientas de trabajo se encuentran limpias	2
20	Piso está libre de polvo, basura, componentes y manchas	0
21	Las gavetas o cajones de las mesas de trabajo están limpias	1
22	Las mesas están libres de polvo, manchas, desperdicios o residuos	1
23	Los planes de limpieza se realizan en las fechas establecidas	1
ESTANDARIZAR		
24	Todos los contenedores cumplen con el requerimiento de la operación	2
25	El personal usa la vestimenta adecuada dependiendo de sus labores	2
26	Todos los equipos, sillas y carritos son iguales	1
27	Todos los instructivos cumplen con el estándar	1
28	La capacitación está estandarizada para el personal del área	0
DISCIPLINA		
29	Hay una cultura de respeto por los estándares establecidos	N/A
30	Hay proactividad en el desarrollo de la metodología 5’S	N/A
31	Situaciones dentro del periodo de evaluación que afecten los principios 5S	N/A
32	Son visibles los resultados obtenidos por medio de la metodología	N/A

Luego de realizada esta inspección o auditoria se ponderaron los porcentajes y se definieron rangos de aceptación o calificación general, cabe resaltar que en este caso no se les dio calificación a los ítems de disciplina, ya que aún no se había trabajado en esta empresa sobre esta metodología. Los resultados de evaluación de 5'S antes de su implementación y los rangos de aceptación se presentan en la TABLA 8.

TABLA 8. EVALUACIÓN DE 5'S ANTES DE SU IMPLEMENTACIÓN

REGULAR	ACEPTABLE	EXCELENTE
> 50 %	>70%	< 70%
"S"	PORCENTAJE	PUNTOS
General	33%	27
Clasificar	33%	10
Ordenar	24%	5
Limpieza	40%	8
Estandarización	40%	8

Como se puede observar en la TABLA 8, luego de la auditoría general en el área de producción se obtuvo un 33% en nivel de buenas prácticas o aplicación de la metodología de las 5's. Lo que demuestra que hay mucho margen de mejora y es necesario su aplicación a corto plazo para obtener resultados visibles e inmediatos. Como paso siguiente se procedió a su implementación y posterior evaluación para visualizar si de verdad se presentaron cambios significativos.

Seiri (Clasificar)

En la clasificación entre objetos necesarios e innecesarios, se establecieron criterios para una correcta clasificación y cada operador tener claridad de que materiales son útiles y cuales no lo son. Se les proporcionaron tarjetas rojas para pegarlas en los equipos o materiales considerados innecesarios, en la Figura 19 se presenta una tarjeta roja diligenciada.

TARJETA ROJA			
NOMBRE DEL ARTÍCULO <i>Disco Acero A-36 E=1", Ø 120mm</i>			
CATEGORÍA <i>4</i>	1. Maquinaria	6. Producto terminado	
	2. Accesorios y herramientas	7. Equipo de oficina	
	3. Equipo de medición	8. Limpieza	
	4. Materia Prima		
	5. Inventario en proceso		
FECHA <i>26/01/2022</i>	Localización <i>Area Mecanizada</i>	Cantidad <i>3</i>	Valor <i>\$45.000</i>
RAZÓN <i>1</i>	1. No se necesita		5. Contaminante
	2. Defectuoso		6. Otros
	3. Material de desperdicio		
	4. Uso desconocido		
ELABORADA POR <i>Walter Castañeda</i>		Departamento <i>Producción</i>	
FORMA DE DESECHO <i>3</i>	1. Tirar		5. Otros
	2. Vender		
	3. Mover a otro almacén		
	4. Devolución proveedor		
FECHA DESHECHO : <i>11/08/2021</i>			

Fig. 19. Tarjeta roja área de mecanizado.

Fuente: elaboración propia.

Una vez puesto las tarjetas, los operarios realizaron una lista maestra con todos los artículos innecesarios, para tomar la decisión de su eliminación se tuvo una reunión con la gerencia general, en la TABLA 9 se describe el inventario realizado en el área de soldadura y la propuesta del plan de acción, con la aprobación de gerencia se ejecutó el plan en un 90%. Los materiales separados fueron correctamente identificados (cajas de cartón, estanterías) con su trazabilidad respectiva.

TABLA 8. LISTA DE ARTICULOS CON TARJETA ROJA AREA SOLDADURA

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL ARTICULO	CANTIDAD	ACCIÓN
1	Horno microondas	1	Eliminar
2	Eje A-36 1 ½" L. 450 mm	3	Reubicar
3	Eje A-36 1 ½" L. 210 mm	2	Reubicar
4	Eje A-36 2" L. 150 mm	4	Reubicar
5	Chumacera para eje 35 mm	3	Reubicar
6	Disco A-36 1" Día. 120 mm	3	Reubicar
7	Disco A-36 1/4" Día. 180 mm	8	Reubicar
8	Disco A-36 13/8" Día. 250 mm	5	Reubicar
9	Hombre solo	1	Reubicar
10	Mesa de acero	1	Reubicar
11	Angulo 1" x 3/16" L. 100 mm	4	Reubicar
12	Flexómetro	2	Transferir de área
13	Presa de 6"	2	Transferir de área
14	Lamina A-36 ½" 240x240 mm	4	Reubicar
15	Lamina A-36 5/8" 150x300 mm	2	Reubicar

Seiton (Ordenar)

Una vez retirado los elementos innecesarios, se procedió a reestructurar la ubicación y destino final de los equipos y/o materiales, por lo que se definió una nueva distribución del área, teniendo en cuenta la distancia y tiempos de recorrido del personal. A la vez generaron procedimientos e instructivos. Con referencia a los patios de almacenamiento se delimito el perímetro de trabajo mediante la marcación de líneas amarillas en el suelo, cabe resaltar que ya existía una marcación o delimitación, en este caso algunas se resaltaron y otras se reubicaron., en la Figura 20 y 21, se observa algunas comparaciones del antes y después respectivamente de la aplicación de Seiton.

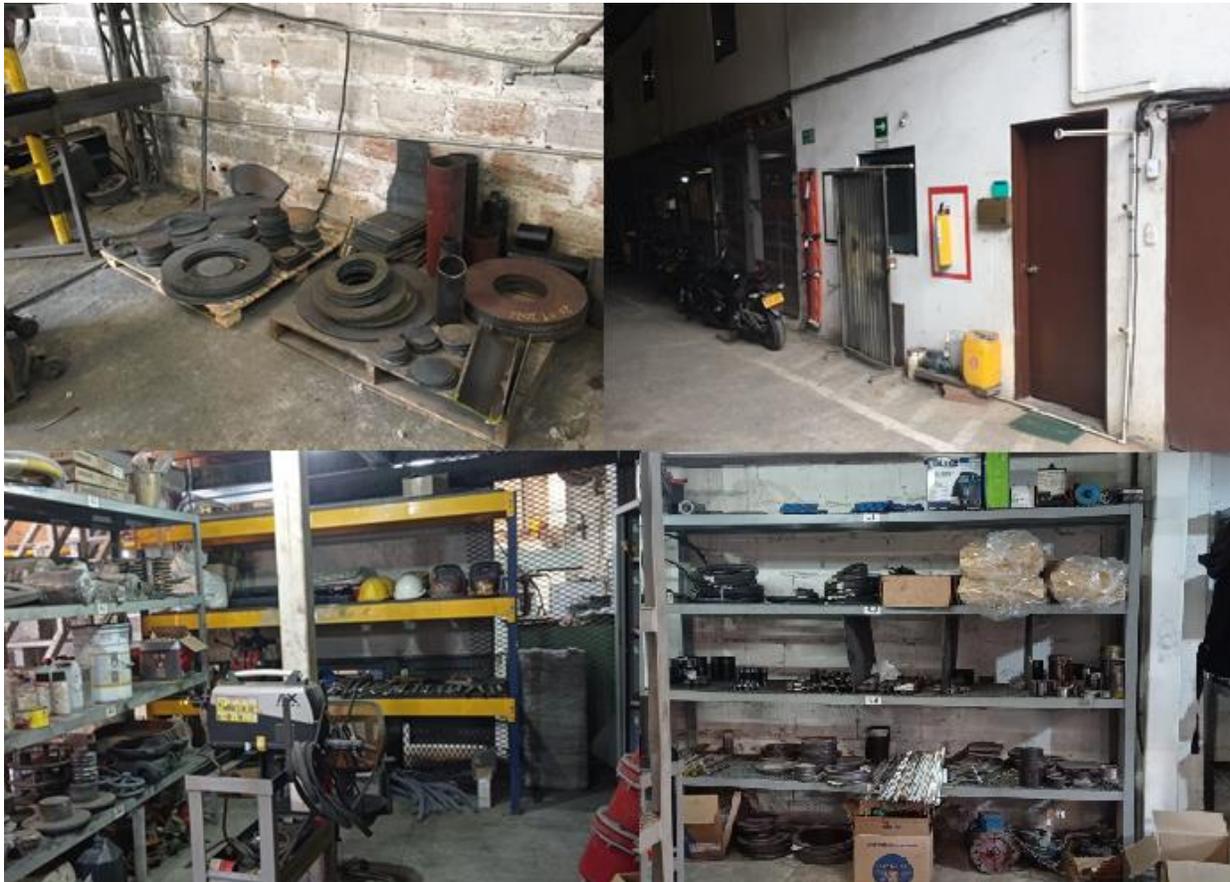


Fig. 20. Antes de aplicar Seiton.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 21. Después de aplicar Seiton.

Fuente: elaboración propia.

Seiso (Limpiar)

Luego de realizar una limpieza general donde participaron todos los operadores, se establecieron horarios individuales y grupales para realizar labores de limpieza en los puestos de trabajo y áreas comunes. Esto horarios se establecieron en conjunto y se seleccionaron tiempos estratégicos que no afectaran la operación de la planta, por ejemplo, todos los días suena una alarma 10 minutos antes de la hora de salida para que cada operario limpie su puesto de trabajo, maquina, herramienta y entregue a almacén herramientas, accesorios o materias primas limpias y en buenas condiciones.

Seiketsu (Estandarizar)

El objetivo de estandarizar es mantener controlados las tres primeras “S”, es decir la clasificación, orden y limpieza deben de continuar en el tiempo, para ello se crearon normas de convivencia, donde cada operario debe ser responsable de que el orden y limpieza se mantengan en su lugar de trabajo, para ello fue importante enseñarles a detectar de manera autónoma

oportunidades de mejora por medio de las tarjetas verdes, como se observa en la Figura 22, esto añade responsabilidad y compromiso de mejora continua.

TARJETA DE OPORTUNIDAD	
Fecha:	
Oportunidad:	
Actividad a realizar:	Propuesta:
Equipo:	
Observaciones:	

Fig. 22. Tarjeta verde de oportunidad.

Fuente: elaboración propia

Con la finalidad de que a lo largo del tiempo se garantice el cumplimiento de los parámetros fijados en la aplicación de esta herramienta, se crearon unos formatos con chek list de conformidad de limpieza, así cada operario se sienta involucrado y se identifique cualquier irregularidad de no cumplimiento para tomar medidas. En la Figura 23 se presenta el formato de conformidad de limpieza para el área de mecanizado.

FORMATO DE CONFORMIDAD DE LIMPIEZA AREA DE MECANIZADO																									
Fecha: _____	Operarios: _____																								
Turno: _____	_____																								
Hora: _____	_____																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CUMPLE</th> <th rowspan="2">ACTIVIDADES</th> </tr> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>Materiales en lugar asignado</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Mesa de trabajo limpia</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Piso limpio y sin derrames</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Maquina limpia</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Basura clasificada</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Observaciones:</td> </tr> </tbody> </table>		CUMPLE		ACTIVIDADES	SI	NO			Materiales en lugar asignado			Mesa de trabajo limpia			Piso limpio y sin derrames			Maquina limpia			Basura clasificada	Observaciones:			
CUMPLE		ACTIVIDADES																							
SI	NO																								
		Materiales en lugar asignado																							
		Mesa de trabajo limpia																							
		Piso limpio y sin derrames																							
		Maquina limpia																							
		Basura clasificada																							
Observaciones:																									
APRUEBA: _____																									

Fig. 23. Formato de conformidad de limpieza.

Fuente: elaboración propia.

Shitsuke (Disciplina)

La disciplina es alcanzada si se logra cumplir con políticas de buenas prácticas, por lo que en este punto es necesario crear cultura en el personal de orden y limpieza, por tal razón se desarrollaron las siguientes políticas de cumplimiento en el área de producción:

- Nosotros debemos conocer y aplicar el programada de mejoramiento 5'S.
- Nuestra obligación es mantener nuestro ambiente limpio y ordenado.
- Debemos capacitar a todo el personal los beneficios de usar 5'S, ya que nos ayuda a mejorar continuamente.
- Al terminar cada turno, cada trabajador debe dejar su lugar limpio y ordenado.
- Toda herramienta de trabajo tiene su lugar, por lo que una vez sea utilizado debe regresar a su lugar de origen.
- Las líneas amarillas deben estar claramente identificadas, se debe de realizar inspecciones semanales.
- Se debe de realizar inspecciones del correcto llenado del formato de conformidad de limpieza.
- Los suelos siempre deben estar limpios, una vez se realice un mantenimiento no debe de haber restos de aceite y/o otro líquido, la seguridad es tarea de todos.

- Respetar el destino final de los desperdicios, reciclar de acuerdo con el color del material.
- Actuar con integridad ayuda a mejorar el ambiente de trabajo, fomenta la buena cultura y el sentido de pertenencia por la empresa.

6.3.1. Impacto de la aplicación de las 5's

El nivel de cumplimiento presentado luego de la auditoria después de la implementación de 5'S aumento considerablemente, las mejoras fueron evidentes y visibles en el área de producción, ya que los operarios logran realizar sus actividades en un ambiente de orden, limpieza y organización, en la TABLA 10 se presenta el formato de auditoria después de la implementación. A continuación, se describen los principales beneficios logrados después de esta primera implementación.

- Reducción de tiempos, al momento de realizar las operaciones de traslado de materiales a cada puesto de trabajo.
- Reducción de mantenimientos correctivos de maquinaria, debido a que los operarios realizan la limpieza y la lista de comprobación de inspección, ya son más visibles las averías o imperfecciones en las máquinas y herramientas.
- Mejora de la calidad del producto, debido a que ya no se presenta material contaminado, y este está claramente identificado.
- Reducción de accidentes de trabajo.
- Imagen de la planta, visualmente se ve un ambiente limpio, organizado y por consiguiente más seguro.
- Reducción de tiempos de ciclo, ya no hay desorden ni materiales innecesarios, ya se cuenta con la herramienta a la mano para la actividad a realizar.
- Reducción de movimientos innecesarios, su implemento un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar.

TABLA 9. FICHA DE EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA 5'S LUEDO DE UNA PRIMERA IMPLEMENTACIÓN

ITEM	FORMATO DE EVALUACIÓN CLASIFICAR	CALIFICACIÓN
1	Las herramientas de trabajo se encuentran en buen estado	3
2	Los equipos se encuentran en buenas condiciones de uso	2
3	Existen objetos sin uso en los pasillos	3
4	Pasillos libres de obstáculos	3
5	Las mesas de trabajo están libres de objetos sin uso	3
6	Se cuenta con solo lo necesario para trabajar	2

7	Los cajones se encuentran bien ordenados	3
8	Se ven partes o materiales en otras áreas o lugares diferentes a su lugar asignado	2
9	Es difícil encontrar lo que se busca inmediatamente	2
10	El área está libre de cajas, papeles u otros objetos	3
ORDENAR		
11	Las áreas están debidamente identificadas	2
12	No hay unidades encimadas en las mesas o áreas de trabajo	3
13	Los botes de basura están en el lugar designado para estos	3
14	Lugares marcados para todo el material de trabajo (Equipos, carpetas, etc.)	2
15	Todas las sillas y mesas están en lugar designado	2
16	Los cajones de las mesas de trabajo están debidamente organizados y solo se tiene lo necesario	3
17	Todas las identificaciones en los estándares de materiales están actualizadas y se respetan	2
LIMPIAR		
18	Los equipos se encuentran limpios	3
19	Las herramientas de trabajo se encuentran limpias	3
20	Piso está libre de polvo, basura, componentes y manchas	2
21	Las gavetas o cajones de las mesas de trabajo están limpias	3
22	Las mesas están libres de polvo, manchas, desperdicios o residuos	2
23	Los planes de limpieza se realizan en las fechas establecidas	2
ESTANDARIZAR		
24	Todos los contenedores cumplen con el requerimiento de la operación	3
25	El personal usa la vestimenta adecuada dependiendo de sus labores	3
26	Todos los equipos, sillas y carritos son iguales	2
27	Todos los instructivos cumplen con el estándar	2
28	La capacitación está estandarizada para el personal del área	3
DISCIPLINA		
29	Hay una cultura de respeto por los estándares establecidos	2
30	Hay pro-actividad en el desarrollo de la metodología 5'S	2
31	Situaciones dentro del periodo de evaluación que afecten los principios 5'S	2
32	Son visibles los resultados obtenidos por medio de la metodología	3

Luego de la auditoria se evidenciaron grandes cambios sin desconocer que es una primera implantación se espera que se logren mantener estas buenas prácticas y cultura a lo largo del tiempo. Al principio se evidencio resistencia al cambio, esa inercia se venció un poco pero aún hay mucho margen de mejora. En la TABLA 11 se plasmaron los consolidados de esta auditoría luego de una primera etapa de implementación de la metodología de las 5'S.

TABLA 10. EVALUACIÓN DE 5'S LUEGO DE SU IMPLEMENTACIÓN

REGULAR	ACEPTABLE	EXCELENTE
> 50 %	>70%	< 70%
“S”	PORCENTAJE	PUNTOS
General	88%	71
Clasificar	87%	26

Ordenar	81%	17
Limpieza	90%	15
Estandarización	85%	14
Disciplina	75%	9

Luego de la implementación de la metodología de las 5'S se obtuvieron beneficios tales como:

- Disminución de desperdicios
- Reducción de reprocesos
- Reducción de riesgos de accidentes
- Mejora en los procesos de comunicación interna
- Reducir el tiempo de búsqueda de los elementos que se necesitan
- Suavizar el flujo de trabajo.
- Mejorar nuestra disposición ante el trabajo.
- Menos movimientos y traslados inútiles
- Mejorar nuestra imagen ante los clientes
- Control de máximos y mínimos
- Mejor identificación de los problemas
- Disminución en los tiempos de producción.

6.4. Implementación SMED

El SMED también llamado cambio rápido (set up) es una herramienta cuyo objetivo principal es reducir el tiempo requerido para cambiar herramientas, materiales y/o equipos. El uso de esta herramienta permitirá aumentar la disponibilidad de la línea y en consecuencia tener un flujo de valor con menos interrupciones.

Como se evidencio en el VSM el proceso de recubrimiento es uno de los que más tiempo de ciclo tiene, y está por encima del Takt Time, luego de la implementación de 5'S se evidencio una mejora notable en el tiempo de ciclo, aun se debe reducir ese tiempo para estar por debajo de 96 minutos que es el tiempo de Takt Time, para ello se trabajó en esta área con la herramienta SMED.

Observar y comprender el proceso

En la Tabla 12 se puede observar cada uno de los pasos que comprende aplicar el recubrimiento al producto y se diferencia cuáles son actividades internas y externas. En este punto se definen como actividades internas todas aquellas actividades que se realizan con el horno de tratamiento térmico apagado, y las operaciones externas se definen como todas aquellas actividades que se realizan con el horno prendido.

TABLA 11. PROCESO DE RECUBRIMIENTO

PASO	ACTIVIDAD	DURACIÓN	TIPO ACT.
1	Llevar el molde a mesa de trabajo	2 min	Interna
2	Limpiar el molde	3 min	Interna
3	Limpiar el herraje	2 min	Interna
4	Aplicar desmoldante al molde	3 min	Interna
5	Aplicar Primer al herraje	3 min	Interna
6	Armar conjunto molde-herraje	20 min	Interna
7	Prender el horno	2 min	Externa
8	Poner a precalentar el molde	20 min	Externa
9	Preparar pre-polímero	5 min	Externa
10	Preparar Catalizador	5 min	Externa
11	Preparar la mezcla	5 min	Externa
12	Vaciar mezcla en el molde	5 min	Interna
13	Tratamiento térmico	60 min	Externa
14	Desmoldar	20 min	Interna
15	Pulir la pieza	10 min	Interna
TIEMPO TOTAL DE CICLO		165 min	

En la TABLA 12 resulto que el tiempo total de proceso son 165 minutos, lo que no coincide con lo registrado en el VSM. En este punto hay que acotar que son dos operarios, hay actividades que se puede ejecutar paralelamente y mientras el molde esta precalentado o en tratamiento térmico los operarios pueden usar ese tiempo en actividades de otro ciclo. Teniendo en cuenta lo anterior se estableció que las actividades que marcan el tiempo de ciclo del producto en el área de recubrimiento son los pasos 6, 8, 13 y 14. Los otros pasos se pueden ejecutar mientras el molde está precalentando o en tratamiento térmico, por consiguiente, el tiempo total de ciclo después de aplicada la metodología de las 5's es de 120 minutos.

Como primera medida se decidió que la actividad correspondiente al paso 7 se ejecutara en el primer paso, para que el horno estuviera a la temperatura de proceso en el momento que se introduce el conjunto Molde-Herraje a precalentar, convirtiendo así las actividades de 1 a 6 en externas y reduciendo el tiempo de precalentamiento a la mitad. Posteriormente se observó que las

actividades de Armar conjunto molde-herraje y desmoldar se realizaban de manera muy manual con herramientas muy básicas. Se implementó una herramienta (pistola de impacto neumático) para ejecutar estas actividades, así mismo se disminuyó el contacto operario pieza lo cual no era conveniente por la temperatura del molde, cada una de estas actividades redujeron su tiempo de ejecución a la mitad.

Finalmente, con la implementación de esta herramienta se logró reducir 10 minutos en la actividad de armado de conjunto molde-herraje, 10 minutos en precalentar molde y 10 minutos en la actividad de desmoldar. Como resultado se tiene un actual tiempo de ciclo de 90 minutos, un poco cercano al Takt Time que es de 96 minutos pero que logra cumplir con el ritmo de demanda del cliente.

6.5. Implementación de herramientas visuales Kanban

Uno de los principales problemas detectados en el área de producción de la empresa TDI Ingeniería y Diseño S.A.S. fue la ausencia de control de piso o control de la producción, las órdenes de producción se transmitían de manera verbal por parte del director de producción a los operarios, como consecuencia de esto, se presentaban inconvenientes como los siguientes:

- Producción de productos no relacionados con la demanda actual de los clientes.
- Cantidad de productos superior o inferior a la demanda de los clientes.
- Las especificaciones no se cumplían al no haber una orden por escrito, no todos los clientes piden los productos con las mismas características.
- Algunas órdenes de producción se quedaban en el olvido y no se le cumplía al cliente con los tiempos de entrega.
- Al ser una orden de producción verbal no se especifican tiempos límites de entrega por lo que los operadores producían a su ritmo y frecuentemente no se cumplían los tiempos de entrega.
- Estaciones de trabajo sin conexión, trabajando aislados.

Teniendo en cuenta lo anterior se implementaron órdenes de producción por escrito especificando el producto, cantidad, fecha de generación de la orden, especificaciones, fecha de entrega del producto, porcentaje de avance de producción de la orden, entre otros. En la Figura 24 se presenta un modelo de orden de producción implementada.

TDI			
		Generado por	FABIO E. VARGAS C.
		Fecha OP	Martes, 16 Noviembre de 2021
		Fecha límite:	viernes, 3 de diciembre de 2021
		Cliente	SUMINISTROS DE COLOMBIA S.A.S.
OP 0119			
% completado	Producto	Cantidad	Especificaciones
50%	REC. LADO PRENSA W6X4"	4,00	Sujeción por esparragos
50%	REC. LADO SUCCIÓN W6X4"	4,00	Material blando (65 SHORE A)
25%	PLATO DE DESGASTE W6X4"	2,00	
40%	PORTABOQUILLA FONDO PLANO	1,00	
60%	BOQUILLA FONDO PLANO	4,00	
OBSERVACIONES:			

Fig. 24. Orden de producción TDI Ingeniería y Diseño S.A.S.

Fuente: elaboración propia.

Luego de implementar ordenes de producción clara, se evidencio la necesidad de implementar un método para gestionar la producción a través de herramientas visuales de forma general, de manera que cualquier miembro de la empresa estuviera en la capacidad de ver esta herramienta y entender que se estaba produciendo en cada celda de trabajo.

Para este fin, se implementó un tablero Kanban en donde se visualizan todos los procesos que se desarrollan en la compañía para llevar un control de ocupación de cada área y los tiempos de ejecución según la prioridad o urgencia del producto. Se desarrollaron unos símbolos con un color característico que representan el nivel de avance de acuerdo con los tiempos de entrega, por ejemplo, el color rojo representa una alerta e indica que ese pedido se encuentra en pausa o con impedimento, ya sea porque no se tiene la materia prima o por algún daño en la maquina o herramienta; al contrario del triángulo rayado de color verde que indica que ese pedido se está produciendo a tiempo y con total normalidad. El tablero es muy visual, didáctico y amigable para que todos lo entiendan y puedan adaptarse a su desarrollo o hacer sus recomendaciones según sea requerido. En la Figura 25 se puede observar el tablero Kanban que se describe como una herramienta de gestión de trabajo a través de mecanismos visuales, en él se observa que todas las celdas de trabajo se encuentran ocupadas.



Fig. 25. Tablero Kanban TDI.

Fuente: elaboración propia.

Con la implementación de esta herramienta se obtuvieron los siguientes beneficios:

- Aumento de la productividad
- Control de los procesos
- Control de tiempos de entrega
- Control de materias primas
- Visualización de porcentaje de avance de pedidos
- Visualización de ocupación de las áreas de producción
- Control de materias primas
- Se evitaron áreas con multitareas

6.6. Implementación herramientas TPM

Para tener una visión más general de toda la organización y analizar las problemáticas presentes, se usaron herramientas de diagnóstico adicionales como lo son el diagrama de causa-efecto (diagrama de Ishikawa) y la metodología de la 5W y 1H. Estas son herramientas útiles para identificación de problemas, sus causas y efectos, con el fin de descubrir problemáticas o necesidades que no se visualizaron en el VSM. En las Figuras 26 y 27 se presenta en resultado del análisis de estas metodologías.

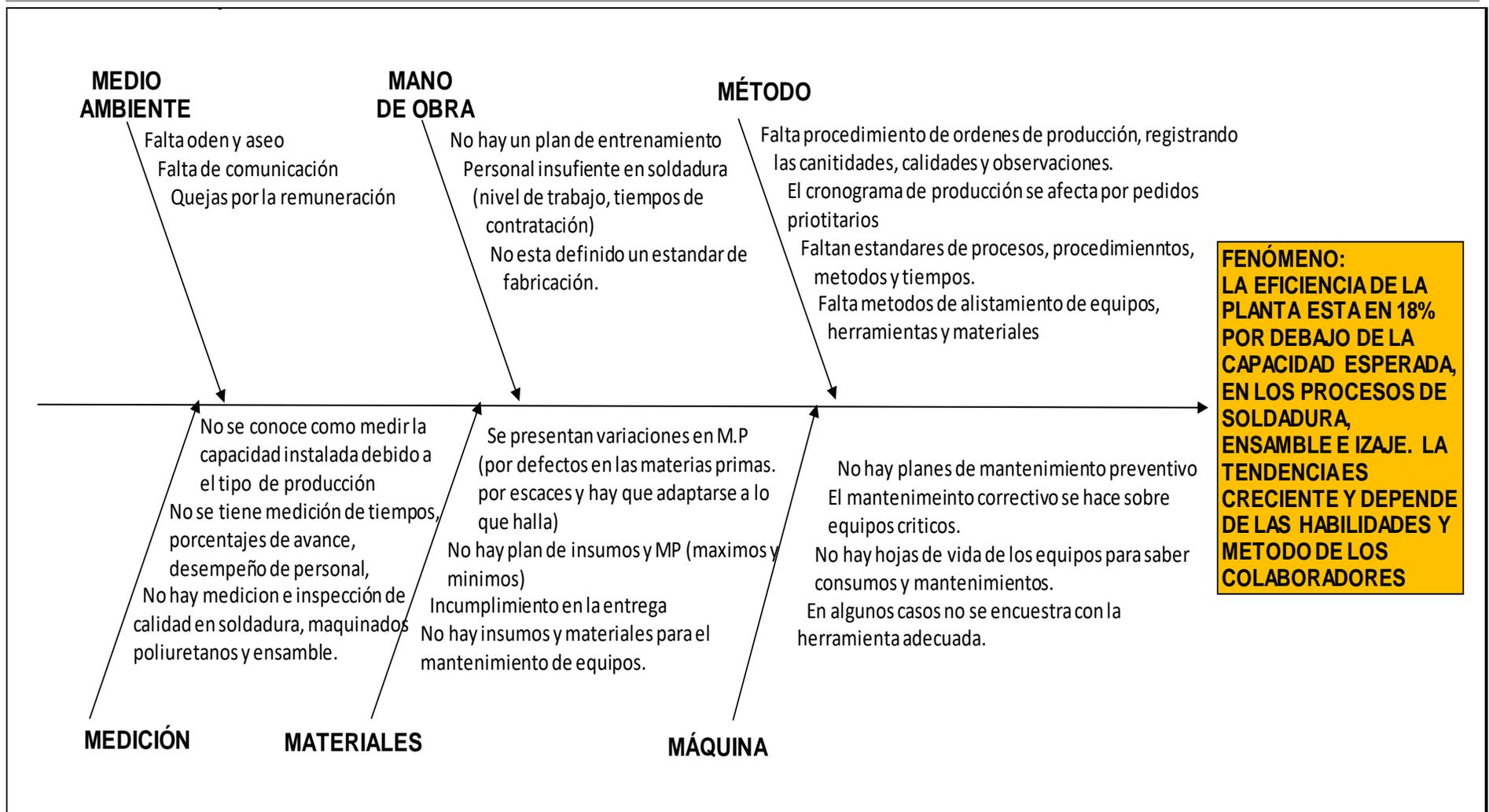


Fig. 26. Diagrama de causa y efecto.

Fuente: Elaboración propia.

FECHA: 25/01/2022	ANÁLISIS 5 W + 1 H
<p>¿QUÉ? En qué cosa o producto evidenció el problema</p>	LA EFICIENCIA DE LA PLANTA ES MUY BAJA
<p>¿CUÁNDO? Momento en el que sucede el problema</p>	CUANDO MEDIMOS EL TIEMPO GLOBAL DE UN PROYECTO
<p>¿DÓNDE? Dónde observó el problema: Línea, máquina, en qué parte del trabajo o material lo observó</p>	EN LAS ACTIVIDADES ENSAMBLE , SOLDADURA E IZAJE
<p>¿QUIÉN? El problema está relacionado con habilidades de las personas o no depende de ellas</p>	DEPENDE DE LAS HABILIDADES Y EL METODO DE LOS COLABORADORES
<p>¿CUÁL? Cuál tendencia (patrón) tiene el problema Es esta tendencia es aleatoria o hay un patrón Crece o decrece</p>	CRECIENTE
<p>¿CÓMO? Cómo es el cambio del estado óptimo al actual Cuál es el GAP</p>	LA EFICIENCIA DE LA PLANTA ESTA EN UN 18% POR DEBAJO DE LA CAPACIDAD ESPERADA
FENÓMENO:	<p>LA EFICIENCIA DE LA PLANTA ESTA EN 18% POR DEBAJO DE LA CAPACIDAD ESPERADA, EN LOS PROCESOS DE SOLDADURA, ENSAMBLE E IZAJE. LA TENDENCIA ES CRECIENTE Y DEPENDE DE LAS HABILIDADES Y METODO DE LOS COLABORADORES</p>

Fig. 27. Metodología de 5W y 1H.

Fuente: Elaboración propia.

El resultado del análisis con ayuda de estas dos herramientas demuestra que la eficiencia del área de producción se encuentra 18% por debajo de la capacidad esperada, al no existir estándares la producción depende de la habilidades y métodos implementados por los operarios. Algunos de los problemáticas que se visualizaron en el diagrama de causa y efecto ya se han atacado con la implementación de las herramientas descritas anteriormente, como por ejemplo, la presencia de orden y aseo logrado mediante la implementación de la herramienta de las 5`s, el método de producción ya es más eficiente debido a la implementación de órdenes de producción escritas y el tablero Kanban lo que mejora también la comunicación y el ambiente de trabajo, en el aspecto de medición se han obtenido grandes avances con las ordenes de producción escritas y el diligenciamiento de formatos de control de tiempos de producción como se muestra en la Figura 28.

FECHA FORMATO		21-06-22							
OPERARIO		Walter Castañeda							
MAQUINA-HERRAMIENTA		Fresadora							
COMPLETADO POR		FABIO E. VARGAS C.							
ITEM	PRODUCTO	SUBENSAMBLE	PIEZA	ACTIVIDAD	CANTIDAD	HORA/FECHA INICIO	HORA/FECHA FIN	T. PROCESO	T. POR UNIDAD
EJM	CFC 1.5 M	CUERPO VALVULA	BRIDA	PERFORAR	4	07:00 am / 25-11-21	08:30 am / 25-11-21	1.5 h	0,375 h
1	B. Transportadora	TANQUES	Platinas	Perforar	8	07 am / 12-07	5:30 / 12-07	10.5 h	1.3 h
2	B. Transportadora	Rodillos	Cuñeros	Rectificar	4	07 am / 13-07	5:30 / 12-07	10.5 h	2.62 h
3	B. Transportadora	Transmisión	Ejes	Cuñeros	8	07 am / 14-07	5:30 pm / 12-07	10.5 h	1.3 h
4	Cuba pequeña	Transmisión	Tapos house	Barca-perforar	8	07 am / 15-07	11:30 / 15-07-22	4.5 h	0,562 h
5	Cuba pequeña	Transmisión	Contrapesos	perforar-perforar	4	11:30 am / 18-07	09:00 am / 19-07	6 h	1.5 h
6	Agitador	Transmisión	Anillos	Perforar	2	07 am / 17-07	11 am / 19-07	2 h	1 h
7	Agitador	Transmisión	Manzana	perforar	2	11 am / 17-07	1 pm / 19-07	2 h	1 h
8	Agitador	Transmisión	Manzana	Rectificar	2	1 pm / 17-07	3 pm / 19-07	2 h	1 h
9	Agitador	Transmisión	Manzana	Cuñero	4	3 pm / 19-07	5:30 pm / 19-07	2.5 h	0,625 h
10	Agitador	Transmisión	Manzana	Cuñero	4	7 am / 21-07	10 am / 21-07	3 h	0,75 h
11	Cubos pequeños	Transmisión	Contrapesos	Perforar-perforar	4	11 am / 21-07	2 pm / 21-07	3 h	0,75 h
12	N/A	N/A	N/A	sin actividad	N/A	2 pm / 21-07	5:30 pm / 21-07	3.5 h	3.5 h
13	Moduladores	Borra	platinas	Perforacion	2	7 am / 22-07	10 am / 22-07	3 h	1.5 h
14	Cubos pequeños	Transmisión	Tapos	Rep. perforar	2	10 am / 22-07	11 am / 22-07	1 h	0.5 h
15	Cubos p. q.	N/A	N/A	Ensamble	2	10 am / 22-07	3 pm / 22-07	4 h	2 h
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
OBSERVACIONES: Día 14 de julio de 2022 incapacitado, día 21 de julio de 2022 sin actividad por falta de materia prima.									
NOTA: En este formato deben quedar registradas todas las actividades realizadas por el colaborador en planta en la totalidad del turno de trabajo, incluyendo los tiempos muertos (falta de materia prima, máquina-herramienta descompuesta, sin actividad, etc.) y las ausencias (permisos, incapacidades, citas médicas, etc.)									

Fig. 28. Formato de control de tiempos Diligenciado empresa TDI.

Fuente: elaboración propia.

Una de las necesidades principales evidenciada después del análisis con ayuda de estas dos herramientas está directamente relacionada con los equipos y las herramientas. La falta de mantenimiento en los equipos es evidente y esto afecta directamente los tiempos de producción, la integridad de los operarios y por consiguiente la eficiencia global del área de producción. El TPM se fundamenta en eliminar las pérdidas en producción debida al estado de los equipos, mantener los equipos en disposición para producir a su máxima capacidad y calidad, reduciendo las paradas imprevistas. Lastimosamente en muchas empresas el mantenimiento es visto como una parte externa al proceso productivo.

Antes de medir el impacto de la implementación de algunos pilares del TPM, se calculó el OEE en un puesto de trabajo, donde inicialmente se encontraron fallas en accesorios tales como el divisor y el rápido transversal. Al día se tiene un tiempo disponible de 570 minutos, con un tiempo operativo de 490 minutos, producción esperada 29 piezas, producción real 22 piezas y producción de piezas buenas 18. Con la toma de estos datos podemos calcular el OEE presentado en la Figura 12, así:

$$OEE_{Inicial} = \left(\frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo disponible}} \right) \cdot \left(\frac{\text{Producción Real}}{\text{Producción Prevista}} \right) \cdot \left(\frac{\text{Piezas Buenas}}{\text{Producción Real}} \right)$$

$$OEE_{Inicial} = \left(\frac{490 \text{ min}}{570 \text{ min}} \right) \cdot \left(\frac{22}{29} \right) \cdot \left(\frac{18}{22} \right) = 0.534$$

Significa de cada 100 piezas que la maquina pudo haber fabricado, solo ha producido 53 (OEE=53%), el OEE se caracteriza por ser un indicador muy severo, pero en esta celda de trabajo es evidente que la eficiencia global de equipo estaba muy baja.

La base fundamental del TPM es la metodología de las 5's, herramienta que tienen en común el TPM como técnica de mantenimiento y la filosofía del Lean Manufacturing, herramienta que se implementó y arrojó mejoras significativas. El pilar número dos del TPM es el mantenimiento autónomo y es ejecutado principalmente por el operario quien tiene contacto directo con la máquina, en la Figura 29 se presenta el formato implementado para que los operarios ejecuten paso a paso la implementación de este pilar. Se programan horarios para que el operario realice un chequeo a la maquina en búsqueda de posibles fallas, en caso de encontrar alguna falla o anomalía de ser posible corregirla o reportarla para darle solución, ya sea con el encargado de mantenimiento o por medio de un tercero, evitando así paradas inesperadas o que la falla sea más crítica.

 IMPLEMENTACIÓN MANTENIMIENTO AUTÓNOMO		
PASO	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDADES
1	Limpieza inicial	limpiar para eliminar polvo y suciedad, principalmente en el bastidor del equipo, lubricar y apretar pernos; descubrir problemas y corregirlos.
2	Contra medidas en la fuente de los problemas	Prevenir la causa del polvo, suciedad y difusión de esquilas; mejorar partes que son difíciles de limpiar y lubricar; reducir el tiempo requerido para limpiar y lubricar.
3	Estándares de limpieza y lubricación	Establecer estándares que reduzcan el tiempo gastado limpiando, lubricando y apretando. (específicamente tareas diarias y periódicas).
4	Inspección general	Con la inspección manual se genera instrucción; los miembros de círculos descubren y corrigen defectos menores del equipo.
5	Inspección autónoma	Desarrollar y emplear listas de chequeo para inspección autónoma.
6	Organización y orden	Estandarizar categorías de control de lugares de trabajo individuales, sistematizar a fondo el control del mantenimiento. <ul style="list-style-type: none"> · Estándares de inspección para limpieza y mantenimiento. · Estándares de limpieza y lubricación. · Estándares para registrar datos. · Estándares para mantenimiento de piezas y herramientas.
7	Mantenimiento autónomo pleno	Desarrollos adicionales de políticas y metas de la compañía; incrementar regularidad de acciones de mejora; registrar resultados MTBF y diseñar contra medidas.

Fig. 29. Guía de implementación de mantenimiento autónomo.

Fuente: elaboración propia.

Para atacar el fenómeno de depender de las habilidades y métodos de los operarios es necesario documentar los procesos y crear estándares operativos. Uno de los pilares del TPM es el entrenamiento, con ayuda de esta herramienta y estándares de operación se entrena a diferentes operarios en un área o proceso en específico para ejecutar paso a paso el estándar de producción con sus debidas protecciones y así evitar que un proceso o producto dependa de un operario. En la Figura 30 se muestra un estándar de proceso paso a paso implementado en el área de recubrimientos de la empresa TDI, donde se especifican materiales, cantidades y otras especificaciones inherentes al proceso.

ESTANDAR OPERATIVO PARA EL AREA DE RECUBRIMIENTOS							
PASO	PROCESO	PARA QUE SE USA / HACE ?	EPP	HERRAMIENTAS	PELIGROS	PREPARACION	APLICACIÓN
1	PREPARACION Y APLICACIÓN DE DESMOLDANTE	El desmoldante se usa para que el poliuretano no se adhiera a ciertas secciones del molde y permita sacar piezas deseadas	Gafas, proteccion respiratoria, guantes desechables, ver ficha de seguridad	Recipiente plastico grueso con tapa hermetica. Brocha, pincel, dulce abrigo	Leve. Ver hoja de seguridad	Por cada 250 gm (dato variable) de desmoldante puro, agregar 100 gm (dato variable) de cloruro de metileno. Agitar 1 minuto aproximadamente. Luego, dejar por 5 minutos destapado para desgasificarlo y tapar para evitar que se evapore el cloruro de metileno. Por ultimo se guarda en un lugar limpio, fresco y libre de humedad. La mezcla puede permanecer almacenada por 2 meses aproximadamente añadiendo cada 5 días cloruro de metileno y utilizar cada vez que sea necesario (depende de la produccion y el tamaño del molde).	Aplicar con brocha una pelicula fina al molde o en el lugar en donde se desea que el poliuretano no se adhiera, teniendo la precaución de impedir la formacion de lagunas o excesos, para evitar defectos en las piezas o producto final.
2	PREPARACION DE UN MOLDE PARA REALIZAR EL VACIADO	El molde se debe precalentar a temperaturas según fichas técnicas del producto Ejm: B02 a una temperatura +80° durante 2 horas), para que no haya choque termico cuando se vacie la mezcla de prepolimero	Gafas, guantes desechables, guantes de mecánico o baqueta.	Herramientas de mano	Leve, Aplastamiento	Limpia el molde con un trapo unguido con cloruro de metileno, thinner o acetona, para que quede libre de polvo, grasa o humedad. Luego, ungió todas las partes del molde con un desmoldante (Ver paso 1) y calentar molde con el alma metalica (si aplica) hasta alcanzar la temperatura del molde de 80 °C a 120 °C , según la necesidad o lo que indique la ficha tecnica del poliuretano a tratar. Se debe verificar con termómetro periódicamente la temperatura del molde.	N.A
3	PREPARACION DEL PREPOLIMERO Y VACIADO	El poliuretano se compone por varias partes, el prepolimero y un curativo, lo cuales en sus mezcla adecuada garantizan la pieza final. Adicional existen otros aditivos como colorante, cargas, antiespumante etc que según naturaleza del polimero o pieza a fabricar puede llegar a ser necesario.	Gafas, proteccion respiratoria, guantes desechables, guantes de nitrilo, traje desechable	Horno, recipientes plasticos, camara el vacio, agitador, hornos microundas, fogón, recipientes metalicos, gramera, termometro laser, jeringa, mezcladores, dulce abrigo	Ver hoja de seguridad	La presentacion del Uretano es en parafina, por lo cual se debe calentar en el horno por 8 u 9 horas a 80 (+-5) °C (Se puede hacer en recipiente metalico en el cual viene empacado). Luego se adiciona pigmentos (con jeringa preferiblemente), y se pone a agitar la caneca por 2 horas aproximadamente. Despues segun formula se saca en recipiente plastico (previamente unguido con desmoldante) la cantidad requerida de uretano (Pesar en gramera, teniendo en cuenta la tara del recipiente) , se ajusta temperatura a 80 °C (según ficha técnica) en microondas por 3 min aproximadamente (tiempo depende de la cantidad). Se saca y se adiciona antiespumante , se mezcla bien y se mete a la unidad al vacio por 5 a 10 minutos (Si se pasa de tiempo no existe inconveniente) . Luego se saca la mezcla, se ajusta temperatura nuevamete hasta que llegue a los 80 °C o según ficha técnica, se adiciona Mobca a una temperatura entre 115°C a 120°C. Se mezclan los componentes con precaucion impidiendo la generacion de turbulencia y burbujas. Se recomienda mezclar con espátula plastica, metalica o agitador. No se debe utilizar madera en el proceso, ya que posee humedad, además puede desprender virutas. Los valores de temperatura varian acorde al tipo de poliuretano que se este manejando, pueden ser hasta de 120°C.	Despues de haber seguido el paso N° 2, se debe colocar el molde en una superficie nivelada y proceder con el vaciado. Actualmente, mientras se vacia el polimero, los moldes se dejan dentro del horno para que no se pierda mayor temperatura.
4	CURATIVO	Es el catalizador del uretano para convertirlo en poliuretano	Protección respiratoria, gafas, guantes de mecánico o baqueta	Fogón eléctrico, recipiente metálico, gramera, termómetro laser	Alto. Intoxicación, quemaduras, irritación, dolores	la presentación del Curativo(moca) viene en pastillas. Se lleva el recipiente metálico al fogón para derretirlo y llevarlo a la temperatura deseada, al derretirse coje una textura aceitosa	Se mezcla el uretano con la moca
5	PRECURADO	Tiempo de horneado del prepolimero. Es necesario para que la mezcla coja resistencia y forma del molde	Gafas, proteccion respiratoria, guantes de baqueta o mecánico	Horno, moldes	Alto, Quemaduras, intoxicacion	Ingresar el molde con el vaciado de poliuretano al horno durante 2 Hs y se desmoldea	Luego de seguir paso 3, se debe esperar un tiempo determinado para que el prepolimero se endurezca y no se dañe al momento de realizar el desmolde. El tiempo varía según el tipo de material (Ver ficha tecnica del producto) . Por ejemplo en uno de los productos más utilizados es el B 602. Generalmente el precurado se realiza a 80 °C con tiempo mínimo de 2 Horas
6	CURADO	Darle firmeza a la pieza fabricada y cocinarla	Guantes de baqueta o mecánico	Horno, moldes	Alto, Golpes, quemaduras	Ingresar la pieza de poliuretano al horno por 16 Hs a 80°C o según ficha técnica	Se desmoldea la pieza y se deja en el horno a 80 °C por las horas que le queden faltando para que complete 16. Es decir se tienen en cuenta tiempo del paso N° 4.
7	ACABADO	Pulir rebabas	Guantes desechables, guantes de baqueta o mecánico, gafas	Cuchilla de escalpelo, cuchillo, lija, motor tool, taladro	Alto, Cortaduras	Se debe pulir quitando rebabas, sobrantes	Usando lija, cuchilla de escalpelo, cuchillo, entre otras herramientas se pule el producto , dejandolo libre de rebabas

Fig. 30. Estándar de operación área de recubrimientos empresa TDI.

Fuente: elaboración propia

Complementando el pilar de entrenamiento y conociendo la necesidad de implementar una cultura de mejoramiento continuo o Kaizen que hace parte de las herramientas Lean y de los pilares de TPM, se implementaron metodologías que facilitaran la transmisión de la información y el aprendizaje. Para este fin se establecieron LUP (lección de un punto) de conocimientos básicos. En las Figuras 31 y 32 se presentan dos lesiones de un punto donde se explica la simbología y los riesgos potenciales que se presentan en diferentes áreas de la planta de producción de la empresa.

1,2		LECCIÓN DE UN PUNTO	
FECHA: 16/11/2021			
NOMBRE DE LA LUP: Simbología Eco - Mapa			
	CONSUMO AGUA		CONSUMO ENERGIA
	EMISIONES AEREAS		MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS
	GENERACION DE RUIDO		
	Indica las áreas prioritarias donde se requieren acciones inmediatas		
	Problemas menores o áreas de menor riesgo		
	Monitorear riesgos ambientales en potencia para revisión futura		
<input checked="" type="checkbox"/> CONOCIMIENTOS BÁSICOS	<input type="checkbox"/> EJEMPLOS DE PROBLEMAS	<input type="checkbox"/> MEJORAS IMPLEMENTADAS	

Fig. 31. Lección de un punto simbología Eco-Mapa

Fuente: elaboración propia.

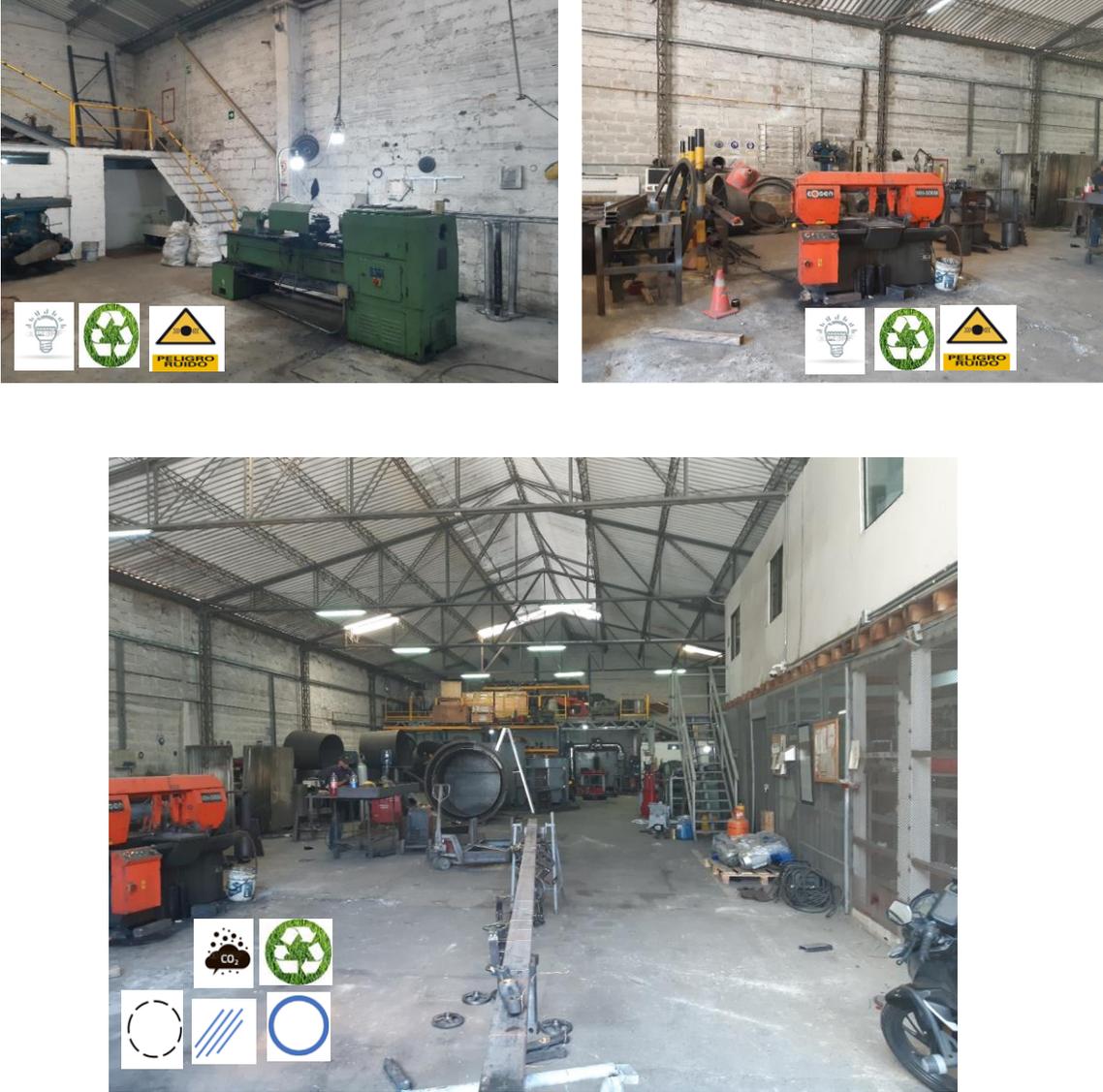
1.2	LECCIÓN DE UN PUNTO	
NOMBRE DE LA LUP:	Eco - Mapa	
FECHA: 16/11/2021		
		
<input checked="" type="checkbox"/> CONOCIMIENTOS BÁSICOS	<input type="checkbox"/> EJEMPLOS DE PROBLEMAS	<input type="checkbox"/> MEJORAS IMPLEMENTADAS

Fig. 32. LUP de conocimientos básicos Eco-Mapa.

Fuente: elaboración propia.

Posterior a la implementación algunos pilares de esta herramienta se midieron tiempos, producción y calidad de piezas para calcular el OEE posterior a estas implementaciones. Cabe resaltar que se invirtió en la reparación de los accesorios que en principio presentaban fallas, se crearon estándares de fabricación, se implementó el mantenimiento autónomo y gracias a los formatos de toma de tiempos y órdenes de producción la información es más clara, fluida y fundamentada.

Teniendo en cuenta lo anterior se lograron los siguientes tiempos y producción:

- Tiempo disponible: 570 min
- Tiempo Operativo: 540 min
- Producción prevista: 29 Unidades
- Producción real: 27 unidades
- Piezas Buenas: 25 unidades

$$OEE_{Final} = \left(\frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo disponible}} \right) \cdot \left(\frac{\text{Producción Real}}{\text{Producción Prevista}} \right) \cdot \left(\frac{\text{Piezas Buenas}}{\text{Producción Real}} \right)$$

$$OEE_{Final} = \left(\frac{540 \text{ min}}{570 \text{ min}} \right) \cdot \left(\frac{27}{29} \right) \cdot \left(\frac{24}{27} \right)$$

$$OEE_{Final} = 78$$

Los resultados son significativos y evidentes al pasar de tener un OEE de 53% a un 78 %, aunque como se mencionó anteriormente el indicador del OEE es bastante severo, no obstante, es importante mantener estos niveles de rendimiento y mejorarlo. Antes de esta implementación de herramientas Lean en esta celda de trabajo se producían diariamente 18 unidades en buen estado y posterior a estos análisis e implementaciones en la misma celda de trabajo se lograron producir 24 unidades en buen estado, lo que representa una mejora de 6 unidades por día de trabajo; cada unidad de este producto se vende a COP 254.000 en promedio y su utilidad es del 30%, lo que significa que cada unidad deja COP 76.200 de ganancia por 6 unidades de mejora representan COP 457.200 al día. Teniendo en cuenta que, en reparaciones, capacitación, consumibles y otros implementos utilizados durante los análisis e implementación de estas herramientas se invirtieron solo en esta celda de trabajo COP 4'750.000, esto indica que el retorno del inversión sería de solo 10 días y nuevamente es importante mencionar que esto fue medido para un solo puesto de trabajo y el análisis y mejoras se realizaron en toda el área de producción.

7. CONCLUSIONES

- Realizar diagnósticos periódicamente con ayuda de las herramientas como el VSM, diagrama de causa-efecto o la estrategia de las 5W y 1H permite visualizar desperdicios e indicar que procesos requiere atención e implementar herramientas de mejora para que no se forme un cuello de botella en el proceso y por consiguiente una disminución en la productividad global. Con la implementación de estas herramientas de diagnóstico, se pudo establecer un punto de partida y detectar oportunidades de mejora, por ejemplo, se identificaron inventarios de lento movimiento por más de COP 30'000.000 y un área ocupada por materiales innecesarios por 125 m²; capital que puede ser invertido en mejores herramientas, reparaciones u otras prioridades. Es necesario establecer parámetros e indicarlos que adviertan cuando es necesario tomar medidas o ejecutar actividades de diagnóstico ya que a simple vista es difícil identificar las causas y efectos de problemáticas ocultas.
- Las herramientas del Lean Manufacturing tienen un objetivo particular, es necesario realizar un buen diagnóstico y evaluación de las problemáticas o desperdicios presentados, y más importante aún es elegir la herramienta indicada para mitigar o eliminar dicho desperdicio. La implementación de estas herramientas se debe realizar de manera escalonada y controlada, como se evidencio luego de implementar la herramienta de las 5's, estas revelaron problemáticas y desperdicio que estaban ocultos, lo que llevo a replantear el panorama y realizar nuevos análisis para ejecutar nuevas medidas y convertirse en un ciclo repetitivo en función de los avances o retrocesos como resultado de la aplicación sistemática de las herramientas.
- El impacto tiene la implementación de estas herramientas no se puede subestimar, a veces no se necesitan grandes inversiones para obtener grandes cambios. Esto queda demostrado luego de implementar actividades de orden, limpieza, creación de órdenes de producción detalladas y desarrollo de estándares de ejecución para diferentes actividades. Con estas sencillas herramientas ya se evidenciaron cambios significativos y una imagen diferente que proyecta confianza, además, es importante revisar los flujos de producción, tanto de

materiales como de información, este segundo marca el camino para definir la productividad.

- La implementación de herramientas Lean y sobre todo de la cultura Lean, permite obtener mejoras claras en muchos aspectos esenciales de las empresas, productividad, costos, flexibilidad y participación del personal. El cálculo del OEE antes y después de esta implementación es la fiel prueba de esto, pasar de un OEE de 53% a 78% es un buen margen de mejora teniendo en cuenta que para llegar a esto se realizaron inversiones que eran necesarias y el retorno de esa inversión fue de solo 10 días, esto en una celda de trabajo y este margen represento una utilidad de COP 457.200 al día, y aún existe mucho margen de mejora. Si todo esto se exporta a los demás departamentos de la empresa los resultados serían realmente significativos y podrían determinar la supervivencia de una empresa en el mediano y largo plazo. Es importante trabajar arduamente en el pensamiento de mejora y promover dicha cultura, para ello es importante establecer indicadores que adviertan y permitan dar seguimiento a la tendencia de mejora, de lo contrario tomar medidas e implementar nuevamente estrategias o herramientas que promuevan el mejoramiento continuo.
- Una empresa, producto y/o proceso no puede depender de las habilidades y metodologías de los operarios, es importante reconocer que el activo humano es el más importante en una organización, pero es necesario que una organización produzca al mismo ritmo independientemente de quien este ejecutando las actividades. Como se evidencio en la implementación de la herramienta SMED, donde se establecieron estándares operativos, cambios rápidos de herramientas para reducir los tiempos de moldeo y desmoldeo y una secuencia de pasos sencillos, con esto se logró bajar el tiempo de ciclo de una pieza de 120 minutos a 90, situándose por debajo de la línea del Takt Time, lo que representa cumplir con la demanda del cliente, aumentar el % de disponibilidad de los equipos y aumentar la productividad. Establecer procedimientos, estandarizarlos y exportarlos a las diferentes áreas es vital para la supervivencia de una compañía. Estos estándares y procedimientos deben ser claros, específicos y amigables para que cualquier persona de la organización los entienda y este en la capacidad de ejecutarlos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hernández, J., & Vizán, A. (2013). *Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: Fundación EOI, 178, 978-8415061403.
- [2] Socconini, L. (2019). *Lean manufacturing. Paso a paso*. Marge books.
- [3] De Diego, A. T., Sierra, N. M., & García, S. J. (2009). "Las claves del éxito de Toyota". *LEAN, más que un conjunto de herramientas y técnicas*. Cuadernos de Gestión, 9(2), 113-122.
- [4] M. P. Sarria Yépez, G. A. Fonseca Villamarín, and C. C. Bocanegra-Herrera, "Modelo metodológico de implementación de lean manufacturing," *Rev. Esc. Adm. Negocios*, no. 83, pp. 51–71, Nov. 2017, doi: 10.21158/01208160.n83.2017.1825.
- [5] J. A. Muñoz Guevara, C. A. Zapata Urquijo, and P. D. Medina Varela, *Lean Manufacturing: Modelos y herramientas*. 2022.
- [6] J. I. Castro, "Propuesta de implementación de la metodología Lean Manufacturing para la mejora del proceso productivo en la línea de envasado PET de la empresa AJEPER S.A.," p. 196, 2016, [Online]. Available: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8365>.
- [7] A. C. Ortega, A. Toledo, and J. P. Urz, "P Ontificia U Niversidad C At Olica," vol. 2, pp. 1–7, 2008, [Online]. Available: <https://cutt.ly/Nm8111k>.
- [8] Martínez, D. F. C., & Ocampo, D. V. (2012). *Mejorar el sistema productivo de una fábrica de confecciones en la ciudad de Cali aplicando herramientas Lean Manufacturing*.
- [9] A. Einstein, U. Introduccion, A. L. A. Manufactura, and D. D. E. M. Tradicional, "MATERIA : MANUFACTURA ESBELTA," pp. 1–105, 2016.
- [10] "trilogia-utem-facultad-administracion-economia-vol28-n39-2016-Escaida-Jara-Letzkus."
- [11] F. E. Jimenez and A. Sama, "José Ángel Maldonado," *Gest. procesos.*, 2018, [Online]. Available: https://www.academia.edu/download/55606149/GESTION_DE_PROCESOS_2018.pdf.
- [12] J. M. Martín Vásquez, "Indicadores de evaluación de la implementación del lean manufacturing en la industria," *Esc. Ing. Ind.*, p. 110, 2013, [Online]. Available: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/6470/1/TFM-P-107.pdf>.
- [13] E. Álvarez Fernández, "Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenance y TPM," *Trab. Fin Máster Título Máster Univ. en Tecnol. Mar. Y Manten.*, p. 63, 2018.