

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Rendimiento del indicador OEE:  
Identificación e Implementación de Soluciones Lean a  
Oportunidades de Mejora en la Producción de Alambre de  
Hormigón Armado.**

**Daniel Alejandro Noriega Rodríguez**

**Ingeniería Industrial**

Trabajo de integración curricular presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Industrial.

Quito, 18 de diciembre de 2019

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ  
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Rendimiento del indicador OEE:**

**Identificación e Implementación de Soluciones Lean a Oportunidades de  
Mejora en la Producción de Alambre de Hormigón Armado.**

**Daniel Alejandro Noriega Rodríguez**

**Calificación:**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Carlos Suárez, Ph.D.**

**Firma del profesor:**

\_\_\_\_\_

Quito, 18 de diciembre de 2019

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

---

Nombres y apellidos:

Daniel Alejandro Noriega Rodríguez.

Código:

00111478

Cédula de identidad:

1003825716

Lugar y fecha:

Quito, 18 de diciembre de 2019

## RESUMEN

Informes mensuales del rendimiento del indicador de efectividad media (OEE, por sus siglas en inglés) de la máquina MABC procesadora de alambre de hormigón armado, muestran que no está cumpliendo con la meta deseada del 30%. Se estableció la línea base en 25%; de lo cual se mejoró a un 35%. Aproximadamente, en ahorros o beneficios de la mejora fueron (\$32 000/mes). Este trabajo se apegó a la metodología DMAIC. Y se aplicó soluciones lean a las oportunidades de mejora identificadas: cambio de programa, cambio de turno, limpieza de máquina y desenhebrado. Por otro lado, las consecuencias del bajo rendimiento del indicador son: problemas de defectos (0,1%), paros e incidencias en la producción (58%), así como pérdidas estimadas (\$480 000/mes).

Palabras clave: 5S's. Alambre de hormigón armado. DMAIC. Eficiencia. Indicador OEE. LEAN. Paros de la producción. Productividad. SMED. TPM.

## ABSTRACT

Monthly reports of the performance of the average effectiveness indicator (OEE) of the MABC reinforced concrete wire processing machine show that it is not meeting the desired goal of 30%. The baseline was established at 25%; of which it was improved to 35%. Approximately, in savings or improvement benefits were (\$ 32,000 / month). This work adhered to the DMAIC methodology. And lean solutions were applied to the improvement opportunities identified: program change, shift change, machine cleaning and threading. On the other hand, the consequences of the poor performance of the indicator are problems of defects (0.1%), stoppages and production incidents (58%), as well as estimated losses (\$ 480,000 / month).

Keywords: 5S's. Reinforced concrete wire. DMAIC. Efficiency. OEE indicator. LEAN. Production stops. Productivity. SMED. TPM.

## TABLA DE CONTENIDO

Índice de tablas .....	7
Índice de figuras .....	8
Introducción.....	10
Terminología .....	11
Desarrollo del Tema .....	12
Objetivos.....	12
Objetivos específicos.....	12
Caso de estudio y justificación .....	13
Lean manufacturing.....	16
5S's.....	18
SMED .....	19
TPM.....	21
Indicador OEE.....	23
Proceso de trefilado y grafilado: principio de operación .....	25
Metodología.....	29
Definir.....	29
Medir .....	34
Analizar .....	41
Mejorar .....	49
Cambio de programa .....	55
Cambio de turno .....	58
Limpieza de máquina .....	58
Desenhebrado .....	59
Mejoras enfocadas .....	60
Mantenimiento autónomo.....	61
Controlar.....	67
Conclusiones.....	69
Limitaciones .....	70
Recomendaciones .....	71
Referencias bibliográficas .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N.1.: Propiedades mecánicas mínimas para aceros estructurales (Gerdau, 2000) .....	15
Tabla N.2.: Eficiencia por máquina .....	15
Tabla N.3.: Diámetros de alambre corrugado a enfocarse .....	15
Tabla N.4.: Cálculo del indicador OEE .....	25
Tabla N.5.: SIPOC del proceso de trefilado A1 .....	32
Tabla N.6.: Formato de toma de datos actual .....	37
Tabla N.7.: Valores para el área bajo la curva normal, 0 a Z. Extraído de: (Stevenson, 2018).....	38
Tabla N.8.: Cálculo de tamaño muestral.....	39
Tabla N.9.: Resumen de eficiencia por turno .....	39
Tabla N.10.: Criterios de estudio MABC y línea base .....	40
Tabla N.11.: Análisis de la 2S: Ordenar .....	53
Tabla N.12.: Resumen porcentual de mejoras .....	64
Tabla N.13.: Programa de limpieza.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N.1.: Rendimiento del indicador OEE en trefilado A1 máquina MABC. Fuente: Empresa ABC.....	14
Figura N. 2.: Áreas de procesamiento de alambón .....	15
Figura N.3.: Tiempo de cambio. Fuente: Elaboración propia .....	20
Figura N.4.: Decalaminado de alambre .....	26
Figura N.5.: Esquema visual elementos de trefilación .....	27
Figura N.6.: Formación de alambre corrugado (EUROLLS, 2014) .....	27
Figura N.7.: Cabezal formador y grafilador (EUROLLS, 2014).....	27
Figura N.8.: Carretos para alambre trefilado .....	28
Figura N.9.: DMAIC. Extraído desde: (Fernández, 2018).....	31
Figura N.10.: Flujograma del proceso de trefilado y grafilado.....	32
Figura N.11.: Encuesta: experiencia de trefiladores .....	32
Figura N.12.: Encuesta: debilidades del sistema de trefilado.....	33
Figura N.13.: Encuesta: desperdicio del trefilado .....	33
Figura N.14.: Encuesta: efectividad de metodologías .....	33
Figura N.15.: Producción mensual estimada .....	38
Figura N.16.: Diagrama de caja y bigotes de principales paros de producción .....	39
Figura N.17.: Línea base 5S's.....	40
Figura N.18.: Línea base indicador OEE .....	40
Figura N.19.: Diagrama de Pareto de tipos de paro de producción.....	46
Figura N.20.: Diagrama de causa y efecto .....	46
Figura N.21.: FODA: SMED .....	47
Figura N.22.: FODA: Cambios de turno .....	47
Figura N.23.: FODA: Limpieza de máquina .....	48
Figura N.24.: FODA: Desenhebrado.....	48
Figura N.25.: Plan de acción .....	51
Figura N.26.: Resumen de mejoras e implementaciones.....	51
Figura N.27.: Tarjeta roja, (Castañeria, 2015).....	52
Figura N.28.: Área de tarjetas rojas trefilado A1 .....	52
Figura N.29.: Lana de acero .....	53

Figura N.30.: Canal de limpieza .....	53
Figura N.31.: Clasificación de herramientas necesarias y determinar una ubicación fija y etiquetada .....	54
Figura N.32.: Lay-out y difusión de las áreas identificadas para equipos, herramientas, máquinas y materiales.....	55
Figura N.33.: Etapas de SMED. Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura N.34.: Flujograma cambio de programa. Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura N.35.: SMED con operador de soporte .....	62
Figura N.36.: SMED de cambio de programa .....	62
Figura N.37.: Protecciones de cuentavuelas en cabezales grafiladores .....	63
Figura N.38.: Protecciones de puertas .....	63
Figura N.39.: Evolución indicador 5S's.....	63
Figura N.39.: Evolución indicador 5S's.....	63
Figura N.40.: Mejora del indicador OEE .....	64
Figura N.41.: Pilares TPM (Vargas, 2016).....	64
Figura N.42.: Ayudas visuales para puntos de lubricación.....	66
Figura N.43.: Ayuda visual sistema de enfrió .....	66
Figura N.44.: Ítems añadidos al check-list semanal .....	68
Figura N.45.: Cartillas Gemba TPM.....	68

## INTRODUCCIÓN

El objetivo directo o indirecto de importantes compañías es buscar la excelencia en sus procesos, productos y servicios. La empresa ABC es la importante compañía relacionada a este estudio, la misma que se dedica desde hace 75 años a la transformación y recubrimiento del alambre de acero. El instrumento de medición de la efectividad de producción del equipo, OEE (por sus siglas en inglés), es una medida de las operaciones de fabricación que es lo suficientemente genérica como para ser aplicada en muchas industrias del Ecuador. Optimizando este indicador se obtiene reducciones en costos, mejoras de calidad, aumentos de eficiencias y de la capacidad en la línea de producción. Para estudiar este indicador, se trabajó en torno a problemas de la maquina trefiladora y grafiladora de diámetros grandes de alambre de acero.

## Terminología

- 5S's: Herramienta lean. Principalmente, se enfocada en el orden y la limpieza.
- Alambre de hormigón armado: elemento alargado grafilado de acero destinado a formar las columnas o estructuras en conjunto con el hormigón en construcciones.
- Alambrón: tren enrollado de acero fundido. Materia prima del proceso de Trefilado.
- Bobinado: proceso de enrollar un par de vueltas a la bobina de la máquina de trefilación.
- Carreto: elemento metálico que se usa para descargar el alambre trefilado y grafilado de la máquina.
- Encarretar: acción de sostener una punta del alambre trefilado y grafilado a un carreto.
- Decalaminado: proceso de retirar la capa superficial del alambrón llamado calamina.
- Desenhebrado: descarga del último carreto de la orden de producción.
- Grafilado: brindar betas o perfiles que sirvan de permitan una mejora adherencia al hormigón.
- OEE: indicador de efectividad media de la máquina.
- DMAIC: metodología de cinco etapas: definir, medir, analizar, implementar y controlar.
- Máquina MABC: Máquina relacionada a este estudio que procesa grandes diámetros de alambrón para su trefilado y grafilado.
- Lean: Filosofía de producción robusta que minimiza los tipos de pérdidas o mudas.
- Muda: tipos de pérdida. Existen 8: Sobreproducción, inventarios, no utilización del potencial humano, transporte, reprocesos, movimientos innecesarios, esperas y sobre procesos.
- SIPOC: tabla de información de suministros, entradas, procesos y clientes.
- SMED: cambio de útiles en menos de diez minutos.
- TPM: siglas de mantenimiento productivo total aplicando conceptos lean.
- Trefilado: reducir en frío el diámetro de alambre de un diámetro más grande a uno más pequeño.

## DESARROLLO DEL TEMA

### Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es aplicar herramientas lean a oportunidades de mejora en la producción de alambres de hormigón armado. Mismas que fueron identificadas en la fase de análisis de la sección de metodología bajo la categoría de tipos de paros de la producción con el fin de robustecer aspectos relacionados a la eficiencia productiva y así mejorar el rendimiento del indicador OEE.

### Objetivos específicos

- 1) Apegarse a la metodología de desarrollo DMAIC.
- 2) Usar técnicas lean para reducir la variabilidad de las actividades y los paros de producción como: mejora de 5S's. Aplicación de SMED para cambio de programa de producción. Mejoras mecánicas, nuevas políticas y de mejora de método para la limpieza de la máquina.
- 3) Validar las mejoras aplicadas en base a la toma de datos y justificación muestral.
- 4) Entregar sugerencias de aplicación de documentos correspondientes a la fase de control que brinden seguimiento de las mejoras.

## Caso de estudio y justificación

La empresa ABC tiene procesos principales como: trefilado, decalaminado, decapado, enderezado, galvanizado. La mayoría de estos procesos reciben como materia prima rollos de tren de acero fundido llamado comúnmente alambón. Para el proceso de trefilado A1 la empresa adquiere alambón con contenido de carbono entre 0,15%-0,40%, mismo que ofrece las características de resistencia a la ruptura, torsión y dureza que debe ofrecer el producto terminado, en este caso el alambre de hormigón armado. Las características de calidad de resistencia a la ruptura y a la torsión son requeridas por norma para la construcción (ver Tabla N.1.: Propiedades mecánicas mínimas para aceros estructurales (Gerdau, 2000)) que son esenciales para la vida útil del diseño estructural. Este trabajo escogió el área de producción trefilado A1, ya que, se lo considera el alma de la empresa y su gran importancia para el resto de las áreas productivas. Esto debido a que el 51% (ver Figura N.2.: Áreas de procesamiento de alambón) del número de rollos de alambón que adquiere la planta, ingresan, en primer lugar, por el proceso de trefilado A1. El resto del porcentaje va a otros procesos como el enderezado, decalaminado, decapado. Por ejemplo, el enderezado tiene la finalidad de dejar el alambre de hormigón armado a 180°, es decir, alambre recto, que servirán para formar la estructura en las columnas de construcciones de edificios, puentes, viviendas, etc... Dentro del área productiva de trefilado A1 existen tres máquinas que procesan diferentes diámetros de alambón que van desde Ø4.5 a Ø16. Cada una de las líneas son independientes y cuentan con sus propias herramientas, áreas destinadas y demarcadas. Existe una zona de almacenamiento de materia prima o alambón de diferentes diámetros al frente del inicio del proceso que es donde cargan la materia prima con la ayuda del montacargas. Para conocer a cuál máquina concentrar los esfuerzos de mejora, se determinó por medio de un muestreo piloto, realizado en la fase de medición, que la máquina MABC es la que tiene menor eficiencia productiva (ver Tabla N.2.: Eficiencia por máquina). Es decir, esta es la máquina que presenta la mayor cantidad de tiempo infructuoso a causa de paros de producción y por sus grandes diámetros trabajados. Ahora que se determinó la máquina a la que este trabajo se enfocó, se analizó el tipo de producto al que enfocarse. Por lo que se realizó un diagrama de Pareto de las diferentes órdenes de producción de la máquina. El resultado mostró que los productos que más se procesan en la máquina MABC son los alambres de hormigón armado de diámetros Ø12, Ø9 y Ø10 respectivamente conformando la ley de Pareto del 80-20 (ver Tabla N.3.: Diámetros de

alambre corrugado a enfocarse). De esta manera, se justificó el enfoque de este trabajo en la producción del alambre de diámetro  $\varnothing 12$  en la máquina MABC.

Se debe mencionar, y se pide, de antemano disculpas al lector. Por razones de confidencialidad establecidos con la empresa donde se realizó este trabajo, no se menciona a específico detalle ciertos datos como nombre de la máquina, elementos, piezas, herramientas necesarias del área (mencionados en la etapa de 5S's), características del proceso de trefilado y grafilado, etc... A pesar de ello, este trabajo está enfocado a que las personas sin conocimientos específicos del tema puedan entender y apreciar la esencia de lo tratado, por lo que aquellos detalles no son requeridos para una mejor comprensión.

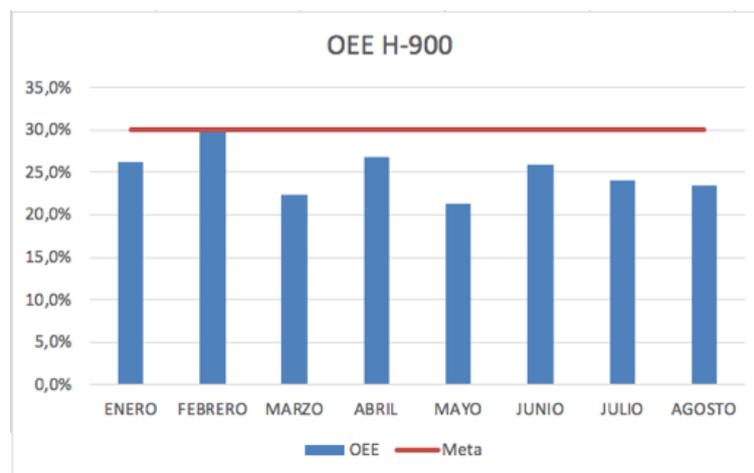


Figura N.1.: Rendimiento del indicador OEE en trefilado A1 máquina MABC. Fuente: Empresa ABC.

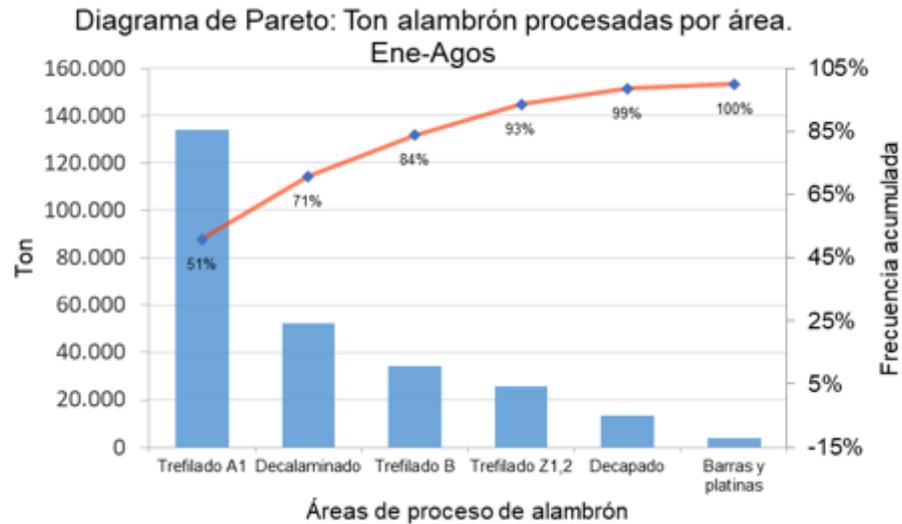


Figura N. 2.: Áreas de procesamiento de alambtrn.

Grados del acero	Resistencia a la tracción Kgf/mm <sup>2</sup>	Límite de fluencia mín Kgf/mm <sup>2</sup>	Alargamiento mínimo % (**)
A37-22ES	37 a 42	24	22
A42-27ES	42 a 52	27	20
A52-34ES	52 a 62	34	18

Tabla N.1.: Propiedades mecánicas mínimas para aceros estructurales (Gerdau, 2000).

<i>Resumen de eficiencia MABC</i>		<i>Resumen de eficiencia MBCD</i>		<i>Resumen de eficiencia MHIJ</i>	
Media	42,0%	Media	53,7%	Media	60,2%
Error típico	9%	Error típico	3%	Error típico	5%
Mediana	48%	Mediana	53%	Mediana	56%
Desviación std	15%	Desviación std	5%	Desviación std	8%
Varianza	2%	Varianza	0%	Varianza	1%
Rango	28%	Rango	10%	Rango	14%
Mínimo	25%	Mínimo	49%	Mínimo	55%
Máximo	53%	Máximo	59%	Máximo	69%

Tabla N.2.: Eficiencia por máquina.

Material
TREF.12.00 CORR.
TREF. 9.00 CORR.
TREF.10.00 CORR.

Tabla N.3.: Diámetros de alambre corrugado a enfocarse

## Lean manufacturing

Lean manufacturing (LM) es una filosofía que reúne principios y técnicas que son enfocadas a reducir al máximo el desperdicio de las operaciones. Este sistema de gestión parte del principio de eliminar aquellas actividades que no añaden valor. Se busca conseguir una producción eficiente, con resultados y planeación justo a tiempo, en la cantidad deseada y sin defectos.

Dentro del sistema de gestión, cabe mencionar el concepto esencial “muda”. Este término tiene un origen japonés, el cual se refiere a todo aquello que consume recursos y no aporta valor al producto. Por lo tanto, se lo entiende como valor a todo aquello por lo que el cliente busca y está dispuesto a pagar (Arauzo, 2018). Los ocho grandes tipos de “muda” o pérdidas que identifica Toyota, según la escuela Lean de Renault Consulting son:

1. Sobreproducción: producir artículos para los que no hay demanda. En este contexto, esto conlleva a excesos de materiales, tiempo, inventario, almacenamiento.
2. Inventarios: lo cual es tener una mayor cantidad de elementos o existencias de las necesarias para cubrir los requerimientos del cliente. Aquello está relacionado con inconvenientes como producciones no balanceadas, retrasos con entregas y paros de equipos.
3. No utilización del potencial humano: se desperdician oportunidades por no motivar o escuchar a los empleados. Son ellos los que conocen a cabalidad la máquina y el proceso productivo.
4. Transporte: los insumos, materiales y productos influyen directamente desde su ubicación inicial hasta aquella a la que se deben transportar.
5. Operaciones sin calidad: reprocesar, reparar, sustituir piezas defectuosas que no fueron detectadas originalmente generan altos costes de tiempo y esfuerzo.
6. Movimientos innecesarios: en las diferentes actividades se generan movimientos y se deben evitar aquellos que no aporten valor como: alcanzar, mirar, caminar por piezas o herramientas.
7. Aguardar o esperas: es generado por un proceso mal diseñado, de manera que el operario debe esperar que llegue o termine el proceso para recibir el producto, pieza o herramienta.

8. Sobre procesos: sucede como efecto de la aplicación de pasos innecesarios para procesar las piezas que tiene como consecuencia una menor productividad.

Algunas de las pérdidas o mudas mencionadas fueron abordadas por esta filosofía (LM) con el fin de mejorar todo el sistema de trefilado y grafilado de la máquina MABC. Primero se evaluó el proceso como tal, el área, la ubicación de herramientas, el método y la organización y los tipos de paros de producción que este trabajo se enfocó para mejorar el indicador OEE que se estableció en la fase medir y analizar de la metodología desarrollada. Para ello se usaron las herramientas:

- Análisis FODA: usado en la fase de análisis para identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de las implementaciones.
- Diagrama de causa y efecto o de Ishikawa: que fue usada para estudiar el efecto del bajo rendimiento del indicador OEE e identificar posibles causas.
- Diagrama Gantt: es un diagrama visual donde se representa las tareas programadas para un proyecto o actividad en específico y se lo usó en conjunto con la técnica de SMED de la que se hablará más adelante.
- Diagrama de Pareto: fue la principal herramienta usada que fue de ayuda para determinar donde enfocar esfuerzos. Cumple con el principio de Pareto del 80-20 que implica que en un proceso o situación un 20% de las causas, general el 80% de los resultados.
- Diagrama de procesos: usado para la representación gráfica de la secuencia de actividades de un proceso.
- Diagrama SIPOC: diagrama que estableció información de suministros, entradas, procesos y clientes para el estudio del proceso de trefilado y grafilado.

Por medio de la teoría (LM) es posible implementar en el área diferentes técnicas entre ellas: 5S's, SMED, Kanban, Kaizen, TQM, Heijunka, TPM, así como aplicaciones mecánicas, nuevas políticas o mejoras en el método que surgen del estudio en planta y del uso de las herramientas antes mencionadas. En esta sección, presenta la literatura de las herramientas (LM) aplicadas, y en las diferentes fases de la metodología se detalla lo desarrollado de cada una de estas.

## 5S's

Se conoce que esta herramienta es la base y que facilita la implementación de cualquier plan de mejora a un mediano y largo plazo. El objetivo de este trabajo es relacionar varias herramientas que trabajen bien juntas, en este sentido, una mejora implementada fue SMED (mencionada en la fase mejoras), que se relaciona directamente con esta herramienta 5S's. Para (Aldavert et al., 2016), las 5S's es una herramienta mundialmente conocida que genera impacto y cambio en empresas, procesos como en las personas. Gracias a su simplicidad y agilidad para realizar pequeños cambios con el fin de aprender de ellas, además de organizar y volver más funcionales los puestos de trabajo. Por lo que no requiere grandes montos de inversión, intrincados conceptos o procedimientos y es aplicado a cualquier área de la empresa. Esta herramienta se basa en la ejecución ordenada de cinco principios japoneses aquí mencionados.

### 1. (整理) SEIRI · CLASIFICAR

Este primer principio se trata de determinar aquellos elementos, herramientas, equipos son necesarios, o no, de manera que únicamente se disponga en el área estos elementos clasificados como necesarios, y a su vez desechar o retirar aquellos innecesarios. Todo aquello que no se necesita se lo ubica en el área llamada “zona de tarjetas rojas”. Para esto se realiza una evaluación con la ayuda de una tarjeta roja. Que debe ser aplicado a cada elemento del área con el fin de categorizar la razón de desecho. Tomando en cuenta criterios como: Aquello que se usa menos de una vez al año. Si el elemento se encuentra en exceso o si está en un lugar inadecuado (ver Figura N.27.: Tarjeta roja, (Castañeira, 2015)).

### 2. (整頓) SEITON · ORDENAR

A cada elemento del área, clasificado como necesario, se lo identifica o etiqueta, y se determina una ubicación fija, teniendo en cuenta que sea rápido de encontrar, utilizar o reponer.

### 3. (清掃) SEISO · LIMPIAR

Este principio se concentra en identificar y eliminar fuentes de suciedad con acciones que sean necesarias para que no se repita. Luego de los dos pasos anteriores, se obtiene un espacio de trabajo despejado y ordenado que facilita su limpieza. (Aldavert et al., 2016) menciona que con las primeras 3S's aplicadas y operativas se consigue un cambio del estado inicial por uno deseado.

### 4. (清潔) SEIKETSU · ESTANDARIZAR

Este principio tiene como fin desarrollar estándares o principios diarios que conlleven a la realización de las primeras 3S's.

### 5. (躰) SHITSUKE · DISCIPLINA

Este último paso de las 5S's propone tener como hábito el mantener los procedimientos y esfuerzos aplicados en las anteriores fases, con el fin de que cada aplicación sea sostenible en el tiempo.

Al término de las primeras 3S's tenemos el lugar normalizado para las condiciones de trabajo, es decir, ordenado y limpio. Con lo que se requiere evaluar el rendimiento de esta herramienta por medio de una auditoría, que la empresa realiza varias veces cada mes llevando gráficamente el avance mes a mes de su rendimiento. Cada S de la técnica junto con su evaluación es lo que compone la integración de las 5S's como hábito laboral.

## **SMED**

Técnica desarrollada por Shingeo Shingo, ingeniero mecánico, en 1950 como trabajo de desarrollo en la fábrica de Mazda en Hiroshima. En su trabajo clasificó en dos grupos fundamentales a las operaciones de preparación de máquinas:

1. Preparación interna: cuando se las realiza con la máquina detenida. Se conoce que es necesario reducir este tiempo al máximo pues interrumpe el tiempo de trabajo de la máquina.
2. Preparación externa: actividades que pueden realizarse con la máquina en funcionamiento.

Shingeo, nombró a esta técnica como “cambio de útiles en menos de diez minutos”, por sus siglas en inglés single minute exchange of die (SMED) que fue aceptada oficialmente no hasta 1980. El objetivo es reducir el tiempo total de preparación de la máquina para hacerla arrancar. Depende de la situación para la que es aplicado, en este caso, a cambios de programa de la producción de alambre de hormigón armado. Cabe mencionar, se entiende como tiempo de cambio de programa al tiempo que toma desde la descarga del último carrito de la última orden de producción (desenhebrado), hasta el primer encarretado de la orden de producción entrante a velocidad estándar (ver Figura N.3.: Tiempo de cambio).

El autor (Calles, 2019), realizó un trabajo de implementación de la herramienta lean: SMED a una máquina troqueladora. La cual presentó en un inicio un rendimiento del indicador OEE: 58,34% y luego de la mejora el indicador OEE subió a 71,81%. El tiempo que tardaba en un inicio para el cambio de programa era de 51,84 minutos. Luego de un año de seguimiento de esta aplicación SMED, de cumplir el nuevo método establecido y de mejora continua llegó a reducir este tiempo a 28,33 minutos, lo que es igual a 82% de mejora.

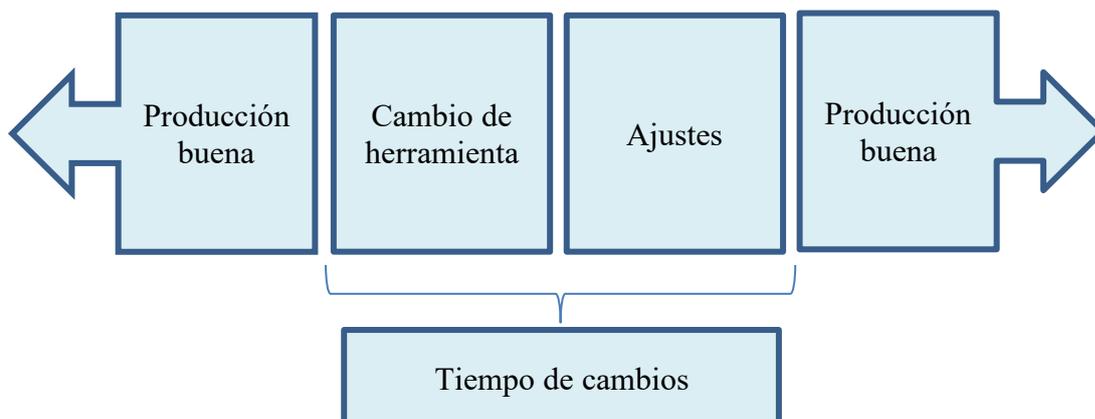


Figura N.3.: Tiempo de cambio. Fuente: Elaboración propia

## TPM

Se ha revisado distintos trabajos académicos en relación con las mejoras, de lo cual se ha establecido que estarán enfocadas a evitar actividades que no generen valor, y sean eficaces para mejorar el rendimiento de la producción del este proceso productivo, mismas que van de la mano de la metodología lean manufacturing (LM). Los autores (Fam et al., 2017) y (Herry et al., 2018) identificaron que las herramientas: Lean manufacturing (LM), total productive maintenance (TPM) tienen un efecto positivo para el aumento del rendimiento del indicador OEE. Dentro de la teoría para eliminar las pérdidas asociadas con paros de producción, calidad y costes en los procesos de producción, está la filosofía de TPM. El objetivo principal de TPM es maximizar la efectividad del equipo durante toda su vida útil por medio del involucramiento y compromiso de todos los involucrados (Herry et al., 2018). Según los autores (Ahuja et al., 2008) y (Herry et al., 2018) el TPM es el desarrollo del mantenimiento autónomo, correctivo y preventivo. Así pues, este concepto involucra a todos los trabajadores orientados a conseguir la efectividad en todo el sistema de producción a través de actividades, bien sean productivas, proactivas y planificadas. En el TPM la baja productividad en máquinas o equipos está relacionado a pérdidas para la compañía que con frecuencia son causa del uso ineficiente de la maquinaria o equipos. En este sentido, y vale la pena mencionar que, la compañía no tiene implementado en el área de trefilado A1 la metodología de TPM ni prácticas de mantenimiento autónomo. Por lo tanto, estas dos técnicas fueron implementadas para la fase de mejora, así como la aplicación de las herramientas lean mencionadas anteriormente.

Comenzando por el concepto de mantenimiento. Se lo comprende por el acto de mantener a la máquina y arreglarla para tenerla en condiciones aceptables. Según (DRAE, 2014) la definición de mantenimiento se da a entender por el grupo de cuidados necesarios para que las máquinas, instalaciones tengan la capacidad de funcionar correctamente. Al mismo tiempo, la definición de (Alpízar, 2008) de mantenimiento, son aquellas tareas empleadas para conservar las instalaciones, así como equipos en condiciones tales que su funcionamiento sea seguro, eficiente y económico. Estas tareas contribuyen por todos los medios posibles a minimizar el costo final de la operación reduciendo tiempos muertos, desgaste innecesario, baja calidad, evitando daños en componentes, posibles accidentes. Según (Herry et al., 2018) las actividades de mantenimiento son realizadas a máquinas en un estado “saludable” que funcionan normalmente, mientras que tratamiento se denomina a las actividades empleadas en máquinas

“enfermas”, interrumpidas y no operan normalmente. En este sentido (Ahuja et al., 2008) divide el tipo de mantenimiento según el momento de su aplicación:

1. No planificado: siendo el tipo de mantenimiento más antiguo. Denominado mantenimiento de emergencia o avería.
2. Preventivo: este tipo de mantenimiento tiene como objetivo evitar la ocurrencia de daños, así como extender la vida útil de la máquina por medio de actividades de mantenimiento regulares.
3. Correctivo: este es un trabajo realizado para mejorar la condición de las instalaciones o equipos con el fin de lograr estándares aceptables. A la par, aumenta la confiabilidad, mantenibilidad y seguridad del funcionamiento mecánico de las partes.
4. Predictivo: frecuentemente, denominado mantenimiento basado en condiciones. Se caracteriza por el uso de técnicas avanzadas, uso de sensores, estadísticas de probabilidad para detectar la aparición de signos de falla.
5. Productivo: este tipo de mantenimiento apunta a mejorar la productividad por medio de la reducción del costo total del equipo desde el inicio del proceso de diseño, instalación, operación, mantenimiento y fallas. Una característica clave es la fiabilidad y capacidad de mantenimiento de la máquina.
6. Mantenimiento productivo total (TPM): es un tipo de mantenimiento innovador enfocado a optimizar la efectividad del equipo, eliminar averías y ejecutar operadores de mantenimiento autónomo a través de actividades diarias y con el involucramiento de todos los trabajadores.

## Indicador OEE

Entornos de producción internacionales consideran dos características generales en común: (1) usan datos y (2) están dirigidos por equipos colaborativos de funciones cruzadas (según Dadashnejad et al., 2017 en un estudio realizado por Valmohammadi, 2011). Es imperativo que se elijan las mediciones clave y correctamente para lograr una mayor productividad en el lugar de trabajo. Una de las medidas más importantes es el indicar OEE. Puede ayudar a las compañías de fabricación a determinar las barreras que limitan la efectividad (según Dadashnejad et al., 2017 en un estudio realizado por Rabbani et al., 2006). Para (Dadashnejad et al., 2017) OEE es una medida de las operaciones de fabricación que es lo suficientemente genérica como para ser aplicada a la fabricación en muchas industrias diferentes. OEE es un instrumento de medición de la efectividad de producción del equipo. Para estudiar este indicador, comúnmente, se trabaja en torno a problemas de maquinaria y desarrollando la mejora continua en la producción (Dadashnejad & Valmohammadi, 2017). Este indicador fue desarrollado por Nakajima (1988) que compara tres medidas: calidad, disponibilidad y rendimiento. Como se menciona, este indicador integra las condiciones de la máquina, el equipo y ambiente dentro de un sistema de medición que ayuda evaluar el rendimiento del equipo y reducir los costos de propiedad. Según (Herry et al., 2018), (Dadashnejad & Valmohammadi, 2017) y (Sujová & Čierna, 2018) los términos del indicador OEE son características de producción y están medidos en porcentajes:

1. Calidad (Q) = (Monto producido – monto defectuoso) / Monto procesado.
2. Eficiencia (P) = Tiempo operativo neto / Tiempo operando
3. Disponibilidad (A) = Tiempo operativo / Tiempo de carga

La fórmula correspondiente a este indicador es:

$$OEE = A * P * Q$$

El resultado es numérico y fácil de interpretar que representa la utilización de la maquina o equipo. Para calcular el indicador de efectividad media del equipo (ver Tabla N.4.: Cálculo del indicador OEE) la empresa ABC considera las tres medidas mencionadas: calidad, disponibilidad y rendimiento. Medidas que son categorizadas en distintos paros de la producción:

- Paros que fueron planificados: como tiempos de almuerzos, tiempos de limpieza de máquina, tiempos de cambios de turno.
- Paros no planificados: tiempo que se perdió en métodos, ciclos lentos o paros menores como cambios de programas, falta de insumos, puente grúa ocupado, falta de montacargas.
- Paros por calidad: que considera si lo que se ha fabricado cumple con los estándares de calidad del producto, es decir paros por producto terminado que no cumple con Ovalidad, resistencia, presenta rayaduras.

Según (Herry et al., 2018) y (Azizi, 2015) existen seis factores de pérdida llamado six big losses (SBL) categorizados en tres grupos mostrados a continuación, mismos que fueron relacionados al tipo de paro de producción que la empresa ha establecido para realizar el cálculo en términos del indicador OEE: calidad, disponibilidad y eficiencia (ver Tabla N.4.: Cálculo del indicador OEE)

1. Pérdida por tiempo muerto
  - i. Paros no planeados (B)
  - ii. Paros planeados (C)
2. Pérdida de velocidad
  - iii. Tiempo inactivo y paros menores (M)
  - iv. Velocidad reducida (N)
3. Pérdida por defectos
  - v. Defectos en proceso (R)
  - vi. Capacidad del proceso reducida (S)

U: <b>Tiempo planificado</b>	40 h
A: <b>Disponibilidad (U-D/U)</b>	64%
B: Paros no planeados	0 h
C: Paros planeados	14,5 h
D: Total	14,5 h
P: <b>Rendimiento (U-O/U)</b>	40%
M: Paros menores	23 h
N: Ciclos lentos	1 h
O: Total	24 h
Q: <b>Calidad (U-T/U)</b>	100%
R: PNC	
S: Puesta en marcha infructuosa	
T: Total	0 h
<b>OEE</b>	<b>26%</b>

Tabla N.4.: Cálculo del indicador OEE

## Proceso de trefilado y grafilado: principio de operación

La actividad productiva elegida es una de las operaciones más antiguas de conformado de metales que consiste, en esencia, se trata de reducir las dimensiones de una barra de metal haciéndola pasar a través de dados por estirado en frío (Gálvez et al., 2001) para enseguida darle resaltes o el grafilado que servirá para que el alambre tenga mejor adherencia al hormigón (ver flujograma del proceso en la Figura N.10.: Flujograma del proceso de trefilado). El proceso estudiado, empieza con el preprocesamiento del alambión, el cual se trata de retirar la oxidación térmica que adquiere el alambión al momento de su fundición. Estas capas de oxidación son frágiles y porosas (+2% del peso del alambre) por lo que para eliminar estas impurezas y llegar alambre de acero, el alambión debe ser doblado, arqueado o torcido por poleas dentro del subproceso de decalaminado y así descamar la capa de óxido frágil (ver Figura N.4.: Decalaminado de alambre). Ahora que se tiene acceso al acero fundido, se puede proceder con la deformación, en el cual por medio de hileras o dados de núcleo de carburo de

tungsteno y la fuerza de tensión del otro extremo el alambre reduce su diámetro inicial con uno deseado (ver Figura N.5.: Esquema visual elementos de trefilación), en donde el volumen (masa) se mantiene constante, la longitud incrementa y el diámetro se reduce (Quinta, 2014). Esta actividad también incluye el uso de lubricantes de tipo sódicos que entran en juego para reducir la temperatura generada por la fricción entre el alambión y el dado, misma que debe ser menor a los 250°C con el fin de evitar una transformación de fase del acero. Una vez que se obtiene el diámetro deseado del alambre se procede por medio de los cabezales que poseen rodillos de dimensionamiento, conformado, reducción y perfilado, que están hechos de carburo de tungsteno (ver Figura N.6.: Formación de alambre corrugado y Figura N.7.: Cabezal formador y grafilador (EUROLLS, 2014)). Mismos rodillos que tienen como función deformar plásticamente al alambre que ingresa, de manera que al salir el alambre posee resaltes que ahora se lo llamará alambre corrugado. Este alambre está destinado, principalmente, para el campo de la construcción, debido a que sus resaltes son esenciales para brindarle a la estructura metálica de alambre una mejor adherencia al hormigón fundido a su alrededor (Emeterio, 2011). Finalmente, el alambre es halado por medio de un motor recogedor, mientras se acumula en el carrito hasta que llega a acumularse suficiente alambre y luego es descargado con un peso de aproximado de 2 Ton de alambre de hormigón armado (ver Figura N.8.: Carretos para alambre trefilado).

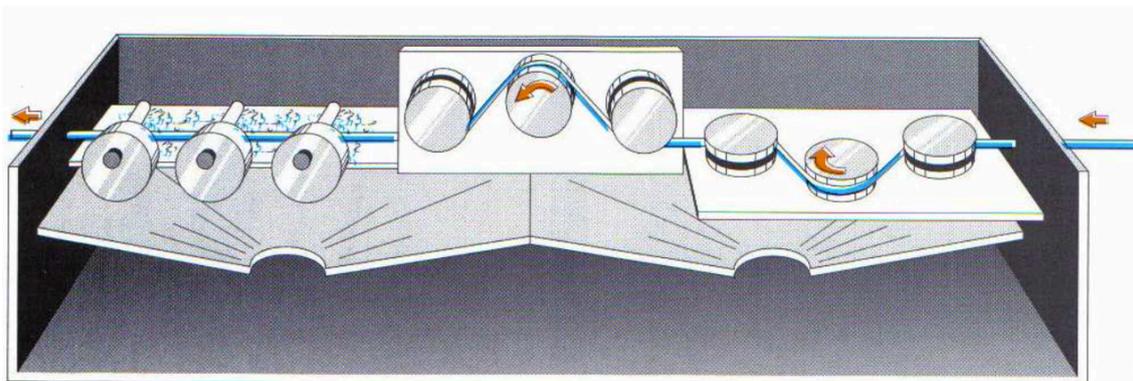


Figura N.4.: Decalaminado de alambre.

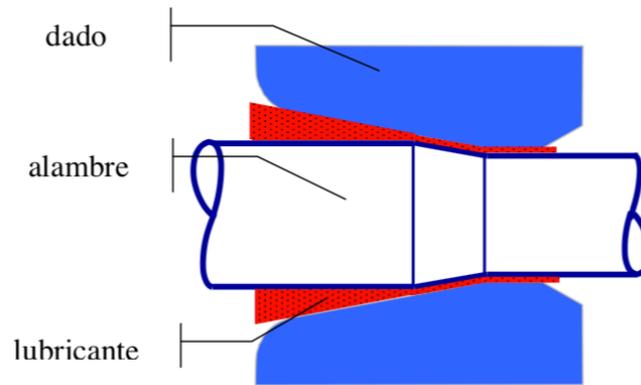


Figura N.5.: Esquema visual elementos de trefilación.



Figura N.6.: Formación de alambre corrugado (EUROLLS, 2014).



Figura N.7.: Cabezal formador y grafilador (EUROLLS, 2014).



Figura N.8.: Carretos para alambre trefilado.

Iniciativas y esfuerzos de mejora en calidad y productividad han fallado o han tomado más tiempo de lo planificado para llegar a las metas objetivo inicialmente planteadas (Schroeder, Linderman, & Zhang, 2005). Una razón en común sucede, de acuerdo, a la incompatibilidad de los valores culturales en la organización con los valores que son clave para la gestión de la mejora (Jabnoun & Sedrani, 2005). Por ejemplo, General Motors (GM) intentó expandir las prácticas de LM en una fábrica de California llamada NUMMI, lo cual lo logró con escaso éxito a causa de los valores impuestos por la cultura de la misma empresa, GM (Inkpen, 2005). Los autores (Kujala & Lillrank, 2004) relacionaron un exitoso desarrollo de proyecto de mejora con los valores cooperativos, que ciertamente, lo verificó en sus investigaciones (Kull & Narasimhan, 2010). Estos dos últimos autores confirman que la influencia de los valores cooperativos en la implementación de las herramientas LM a nivel de los grupos de trabajo es significativo, mientras que esta influencia a nivel organizacional no lo es, en este sentido cuánto más grande sea la organización, menos probable será que surjan valores cooperativos. En la organización tanto a operadores, técnicos o miembros de cualquier área se les exigen altos niveles de compromiso que van de la mano del desarrollo individual y colectivo de valores cooperativos y experiencias positivas generados en los grupos de trabajo. De igual manera, el concepto de “compromiso laboral” se refleja en las empresas como el vínculo de lealtad por el cual el trabajador busca permanecer en la organización, debido a su motivación implícita. Este compromiso como proceso de identificación y de conocimiento acerca de la importancia y

utilidad de su labor en el trabajo. Mismas características son necesarias en programas de mejora continua y de cualquier metodología aplicada a la cotidianidad laboral (Alvarez de Mon et al., 2001).

## Metodología

Durante el transcurso de este trabajo se aplicó la metodología DMAIC debido a que se enfoca a la resolución de problemas y puede ser aplicada a todo tipo de negocio, también será de utilidad para analizar las soluciones a las oportunidades de mejora identificadas. De acuerdo con (Anup & Shende, 2011) DMAIC es un método dinámico que elimina los pasos improductivos, a la vez que se enfoca en nuevas mediciones y usa tecnología o estrategias para la mejora continua.

Desarrollando la metodología DMAIC (ver Figura N.9.: DMAIC, (Fernández, 2018)), a continuación, se detalla cada una de sus fases:

### Definir

En esta primera fase se diagnosticó el problema de la empresa, aspectos claves del proceso, requisitos, y posibles procesos clave que pueden afectar a las demandas de los clientes como posibles proyectos de mejora.

*“Como compañía, el **desempeño del Indicador OEE para el proceso de trefilado A1, máquina MABC es del 25% mismo que no está cumpliendo con la meta del 30% al que queremos llegar. Esto tiene consecuencias de defectos (0,1%), en paros e incidencias en la producción (58%) los cuales, además, se reflejan en pérdidas monetarias (\$480 000/mes) y en tiempo disponible.**”*

Ahora que ya conocemos de lo que trata el proceso, descrito en la sección anterior, Proceso de trefilado y grafilado: Principio de operación. Se debe establecer el tipo de información que

resuma las entradas y salidas del proceso de trefilado y grafilado en la máquina MABC por lo que se usó el diagrama suministros, entradas, procesos y clientes (SIPOC), mismo que forma parte de las herramientas de lean manufacturing y gestión de procesos de negocio. Se comenzó por los suministros de cada subprocesso y terminando en el cliente interno que es el proceso de enderezado. Luego, por medio de la herramienta diagrama de flujo se representó gráficamente las actividades necesarias para obtener el producto terminado alambre de hormigón armado (ver Tabla N.5.: SIPOC del proceso de trefilado A1 y Figura N.10.: Flujograma del proceso de trefilado y grafilado). Luego, con el sentido de encontrar *¿cuáles son las características que el cliente espera del alambre?* Es decir, las características críticas de la calidad del proceso de trefilado A1, y en especial de la máquina que se enfoca este estudio, se realizó un acercamiento al área por el método de la voz del cliente (VOC por sus siglas en inglés), que pretende descubrir las expectativas, deseos o requerimientos de la o las personas que van a adquirir o comprar el producto alambre de hormigón armado, (Griffin et al., 1993). De último método se determinó:

a) Clientes internos: Cuanta con un único cliente interno que es el proceso de Enderezado el mismo que destaca que espera que el producto que recibe de trefilado asegure la resistencia deseada por el cliente, no contenga rayaduras, y posea la ovalidad aceptable. Cabe destacar, de acuerdo con el diagnóstico del problema. Mensualmente existen problemas de defectos del 0,1%, lo que significa que el 99,99% de la producción no posee defectos y está libre para seguir al proceso de enderezado. Por tanto, este porcentaje se lo considera como parte de los defectos inherentes del proceso, así que este trabajo no se enfoca en mejoras de calidad como tales. Sino en problemas de incidencias y paros de la producción que son responsables del 58% de los paros de la producción (ver Tabla N.2.: Eficiencia por máquina). Datos recolectados en la fase medición y de un bajo OEE.

b) Clientes externos: No posee

En este sentido para conocer más de la situación del área. Por medio del método Delphi que según para (Lqbal et al., 2009) es útil para determinar el rango de opiniones o llegar a un consenso de un tema controversial. Se empezó con preguntas abiertas, a todos los operadores trefiladores, 12 en total, donde se destacó que:

- i. Tienen problemas con los diámetros más grandes de alambre que produce la máquina, es decir, emplean mucho esfuerzo físico.

- ii. No poseen valores cooperativos de trabajo en equipo.
- iii. Existen inconvenientes de orden y limpieza, y de paros de la producción.

Con estos resultados se realizó una encuesta más a los mismos 12 operadores, que contiene preguntas de selección que ofrecerán una valoración cualitativa a las preguntas realizadas. De entre las respuestas no se prestó atención a aquellas que tenían ver con pérdidas por calidad o materia prima, debido a lo mencionado anteriormente (el 0,1% de pérdidas es causado por calidad). Así, las otras respuestas ofrecieron un mayor valor a las siguientes fases de la metodología. De lo cual podemos destacar que:

- i. Problemas relacionados a la inexperiencia son causados por cuatro de los 12 operadores (ver Figura N.11.: Encuesta: experiencia de trefiladores).
- ii. Cuatro operarios mencionan controles de velocidad, y tres operadores mencionan que reforzar las mejoras en orden y limpieza serían apropiadas para mejorar la productividad del área (ver Figura N.12.: Encuesta: debilidades del sistema de trefilado).
- iii. Al menos un 25% de los operadores mencionan que el desperdicio más común en el área son los tiempos de paros de la máquina y también el tiempo empleado en ir a buscar una herramienta o elemento requerido (ver Figura N.13.: Encuesta: desperdicio del trefilado).
- iv. Mencionan que las metodologías establecidas en el área tienen una efectividad promedio del 75%. Esta pregunta también es de valor para pretender implementar una nueva metodología en el área distinta a 5S's o mantenimiento preventivo (ver Figura N.14.: Encuesta: efectividad de metodologías).

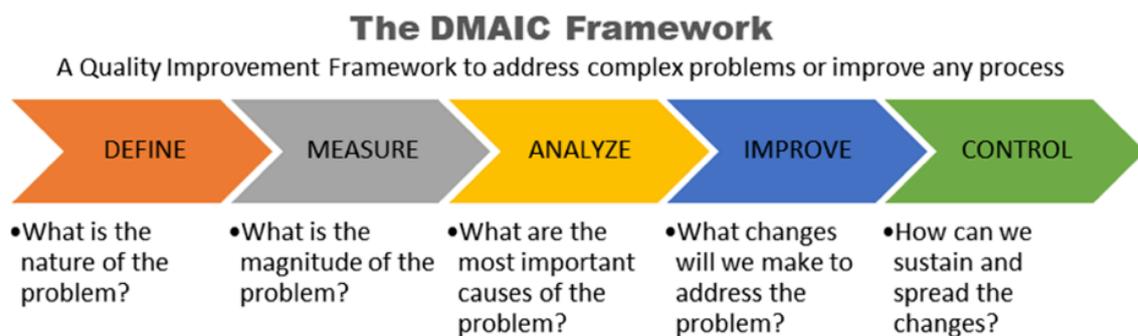


Figura N.9.: DMAIC. Extraído desde: (Fernández, 2018).

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Alambrón	Orden de enhebrar en vela	Enhebrado en vela	Alambre enhebrado	Decalaminado
Velas	Orden de decalaminado	Decalaminado	Alambre decalaminado	Trefilado
Decalaminado	Orden de trefilado	Trefilado	Alambre de diferente diámetro	Grafilado
#Cabezal grafilador	Alambre trefilado	Grafilar	Alambre trefilado y grafilado	Encarretado
Carreto	Configuración de encarretado	Encarretado	Carretos con alambre de hormigón armado	Enderezado

Tabla N.5.: SIPOC del proceso de trefilado A1.

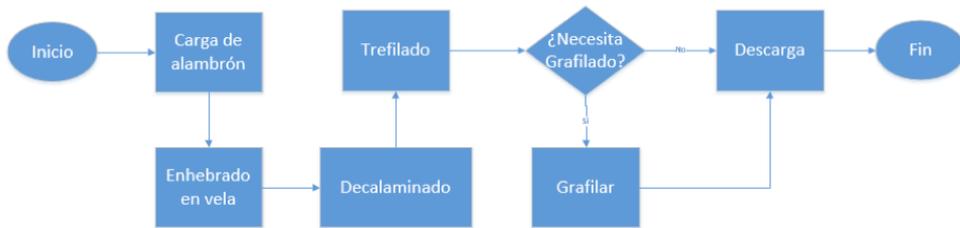


Figura N.10.: Flujograma del proceso de trefilado y grafilado.

¿Por cuánto tiempo ha estado trabajando en en área de trefilado?

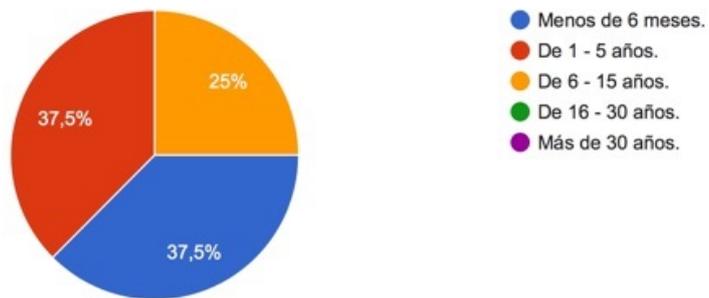


Figura N.11.: Encuesta: experiencia de trefiladores.

Marque la(s) opción(es) que considera se debe reforzar para mejorar la productividad del área de trefilado.

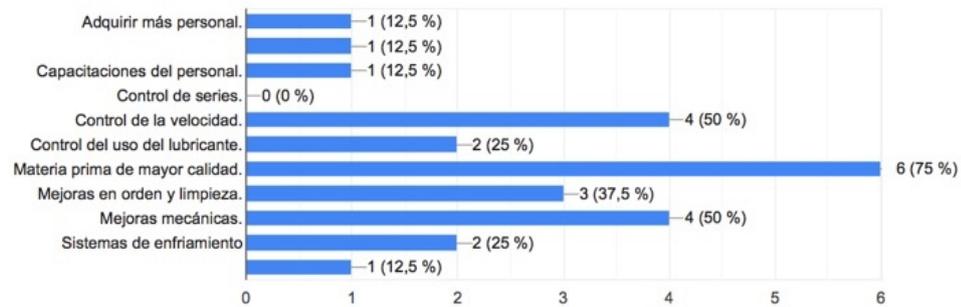


Figura N.12.: Encuesta: debilidades del sistema de trefilado.

Cuál(es) cree que es(son) el desperdicio más común de el área de trefilado:

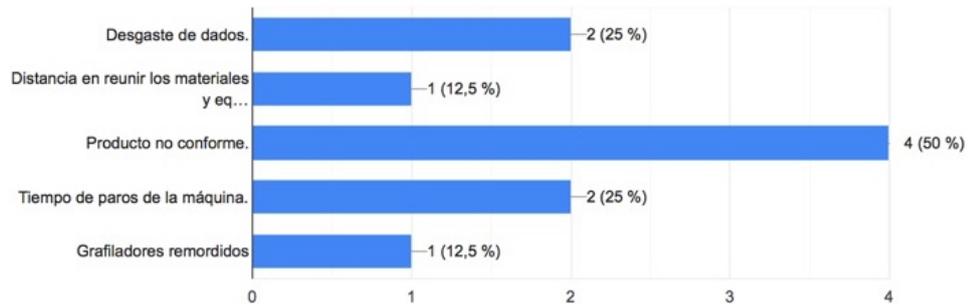


Figura N.13.: Encuesta: desperdicio del trefilado.

Califique del 1-9, cuán buenas (efectivas) han sido las siguientes metodologías en el área de trefilado.

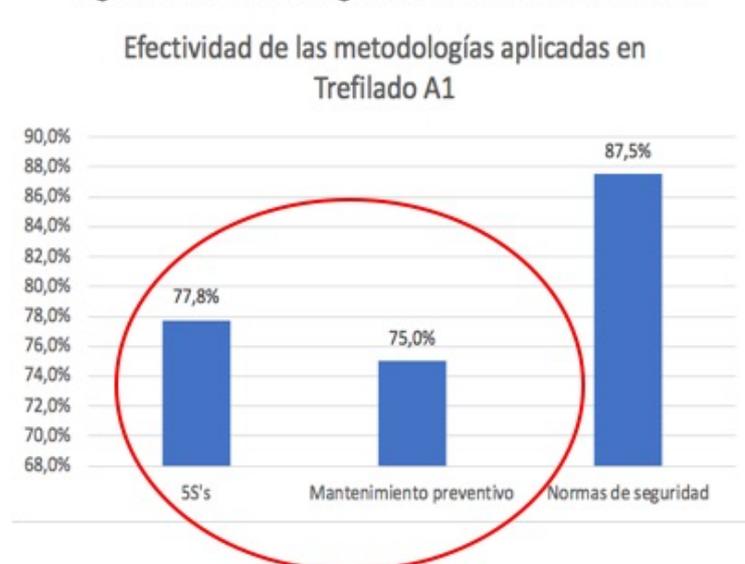


Figura N.14.: Encuesta: efectividad de metodologías.

## Medir

El contenido de esta sección debe establecer la línea base, que sirva de comparación para fase implementar, que responda a la pregunta *¿cuáles son las claves del problema?* Por ello, se comenzó con una reunión entre expertos del trefilado y grafilado de la empresa. Al estilo de mesa redonda se les comentó que sostengan puntos de vista individuales a la pregunta (Toledo, 2015) *¿cuáles son las claves del problema del bajo rendimiento del indicador OEE en la máquina MABC?* Se organizó la información expuesta y como conclusión se estableció que:

- Aquello que afecta al indicador OEE en la máquina MABC son los tipos de paros de la producción frecuentes o que toman mucho tiempo en ser solucionados. Junto a la característica de la máquina que trabaja los diámetros más grandes de alambre del área.
- Falta de compromiso, trabajo en equipo y motivación de los operadores del área de Trefilado.

Misma conclusión que destaca lo identificado en la fase anterior: Definir. En la misma reunión, también, se estableció que se debía empezar con una medición piloto en piso de todos los tipos de paros de la producción evidenciados en la máquina MABC para cada uno de los tres turnos de trabajo, por cinco días. Para luego analizar los datos con el diagrama de Pareto, y así identificar aquellos tipos de paros de la máquina que más afectan a la producción. Por tanto, cada uno de los tipos de paros identificados del resultado del análisis de Pareto fueron considerados como oportunidades de mejora. Entonces, para desarrollar la medición piloto se consideró:

- Evitar el error de no muestreo: para ello se diagramó los estimados de producción, proporcionado por la empresa. Se decidió comenzar la medición en meses de producción normal como lo fueron los períodos de la última semana de mayo y junio (Figura N.15.: Producción mensual estimada).
- La técnica de muestreo del tipo no probabilístico: debido a la incertidumbre de la población. Las órdenes de producción correspondientes espacio muestral (alambre de  $\varnothing 12$ ) son planificadas semanalmente, además, en la semana dichas ordenes pueden cambiar en cuestión de días por motivos de requerimientos comerciales.
- El tipo de muestreo fue por conveniencia: por los motivos anteriores, y de acuerdo con los criterios aceptados y discutidos a través del método de la mesa redonda. En dicha reunión se discutió temas como el tamaño muestral piloto que ya se mencionó, fue de cinco días para cada turno.

- Se estableció una precisión admitida  $\alpha = 10\%$ . También, el nivel de confianza aceptado fue del 90%.

En consideración lo anterior, se desarrolló el muestreo piloto y se usó el formato de registro de paros que la empresa tenía para que operadores trefiladores escriban el tiempo que tardaban en alguno de estos tipos de paros de producción que se había establecido en dicho formato. Sin embargo, este tipo de formato omitía varios tipos de paros evidenciados en la medición piloto, por lo que se desarrolló un nuevo formato que actualmente es usado por la empresa (Tabla N.6.: Formato de toma de datos actual). Del mismo muestreo se determinó los tipos de paros de producción que más afectan al indicador OEE (Figura N. Diagrama de Pareto de tipos de paros de producción). Estos fueron pre analizados en la siguiente etapa de la metodología: Analizar, con el fin de escoger aquellos a los que este trabajo se enfocó. Estos tipos de paros se definen a continuación:

1. SM (Seteo de máquina o cambio de programa): es la actividad de cambiar las configuraciones de la orden de producción actual con una diferente. Requiere cambio del diámetro del alambión, cambio de dados, cambio de cabezal grafilador y cambio de carreto.
2. CT (Cambios de turno): es el tiempo, entre turnos, que toman los grupos de operadores que salen con los que llegan a su turno de trabajo para comentar las novedades del área, programa de producción actual de la máquina, etc...
3. LI (Limpieza de máquina): como política de la empresa cada operador trefilador debe limpiar el interior y el área de la máquina de la que es responsable por turno.
4. DES (Desenhebrado): es la descarga del último carreto, a baja velocidad, de la orden de producción que finaliza antes de cambiarla por otra orden.

Una vez identificados aquellos tipos de paros, se calculó el tamaño muestral apropiado ( $n$ ) de cada uno de estos con la siguiente fórmula, misma que es usada en mediciones para variables de tiempo, (Stevenson, 2018):

$$n = \left(\frac{Z*s}{a*x}\right)^2$$

Donde:

*Z*: valor de tabla normal correspondiente a un nivel de confianza deseado

*x*: promedio muestral de prueba piloto

*a*: porcentaje de precisión aceptada

*s*: desviación estándar de muestra de prueba piloto

Los valores de media (*x*) y desviación estándar (*s*) se los obtuvo de la medición piloto. El valor de exactitud (*a*) se lo estableció en 10%, lo que quiere decir que el resultado obtenido no va a presentar un error de exactitud mayor al 10% (Stevenson, 2018). Dado el nivel de confianza aceptado del 90% buscamos el valor del área bajo la curva de 0 a *Z* (50% del área bajo la curva) en tabla, que es 0,4505 (ver Tabla N.7.: Valores para el área bajo la curva normal, 0 a *Z*, (Stevenson, 2018)). Para obtener toda el área bajo la curva, a este valor se lo multiplica por (2) \* 0,4505 = 0,901. Que equivale a *Z* = 1,65. Estos fueron los valores de las constantes usados en la fórmula del cálculo del tamaño muestral para cada tipo de paro de producción (ver Tabla N.8.: Cálculo de tamaño muestral). Posterior a esto, se recolectó más muestras para cada tipo de paro conforme el resultado del cálculo muestral, considerando el espacio muestral, así como criterios ya establecidos en la reunión mencionada al estilo de la mesa redonda. Un resultado arrojado de la recolección piloto mostró que el turno de la mañana resultó ser el menos eficiente de los tres turnos. Así que, la nueva información se la levantó en el turno de la mañana (ver Tabla N.9.: Resumen de eficiencia por turno).

Una vez completo el muestreo, se estableció la línea base de tiempos promedio que toma cada tipo de paro de la producción. Esto será de utilidad para comparar un antes y después de haber realizado las implementaciones; (ver Figura N.16.: Diagrama de caja y bigotes de principales paros de producción) mismo diagrama que muestra mínimos, máximos, medias, medianas y rango de datos de estos tipos de paros que dan valor de apreciación de la variación de los tiempos y dispersión de datos para una mejor valoración del análisis y mejoras. Como, por ejemplo, el tiempo promedio que tardaban los operadores para realizar la limpieza de la máquina es de 24,5 min. Con la obtención de los datos recolectados en esta fase se realizó el cálculo para obtener el rendimiento del indicador OEE obtenido en dicho período de toma de datos. Este resultado no difiere sustancialmente del cálculo realizado por la empresa. Así, se fijó la línea base del indicador OEE en 25% (ver Figura N.18.: Línea base indicador OEE y

Tabla N.4.: Cálculo del indicador OEE). Este último valor tiene consecuencias en pérdidas de producción de alambre de hormigón armado que son de, aproximadamente, 3000 Ton mensuales. En cuanto a la metodología 5S's de limpieza y orden, cabe mencionar que esta técnica ya se encontraba implementada en el área. Así que para declarar el índice de orden y limpieza que tiene el área, se tomaron valores históricos de la empresa y se los diagramó. De manera que esta metodología mostró un rendimiento del 60% (ver Figura N.17.: Línea base 5S's). Se puede observar el resumen de esta fase en (Tabla N.10.: Criterios de estudio MABC y línea base).

CÓDIGO SAP	ORDEN DE PROCESO #			
	FECHA: DIA/MES/AÑO			
	RECURSO			
	OPERADOR			
	TURNO	1ero	2do	3ero
	Categoría			
	1 Reuniones			
→	2 Cambio de turno			
	3 Ausencia/enfermedad de operador			
	4 Falta energía eléctrica			
	5 Mantenimiento preventivo			
	6 Limpieza máquina (interno)			
→	7 Registro y llenado de formatos			
	8 Salida al Almuerzo			
	9 Entrenamiento del personal			
	<b>TOTAL TIEMPO PAROS (S)</b>			
	10 Falta de carretos			
	11 Falta de dados			
	12 Falta de insumos			
	13 Falta de MP			
	14 Falta de soldadora			
	15 Pruebas de procesos			
	<b>TOTAL TIEMPO PAROS (R1)</b>			
	16 Esperas por atención del personal de mantenimiento			
	17 Paro mecánico y eléctrico			
	<b>TOTAL TIEMPO PAROS (R2)</b>			
	18 Ajuste/Calibración de máquina (durante la fabricación)			
	19 Seteo de máquina (cambio de programa)			
	20 Cambio de dados (no incluye programa)			
	21 Cambio de serie			
→	22 Cambio de unidad de entrada o salida			
	23 Deshenebrado			
	24 Problemas durante la producción (escribir tipo)			
	25 Arranque o cierre de la planta			
	26 Espera grúa			
	27 Enredos durante el devanado			
	28 Collarín #C			
	29 Enredo #E			
	30 M. Prima #MP			
	31 Otra causa de rotura #T			
→	32 Diferencia de velocidad con velocidad estándar			
	<b>TOTAL TIEMPO PAROS (R3)</b>			
→	33 Pérdidas por calidad (PNC generados)			

Tabla N.6.: Formato de toma de datos actual.

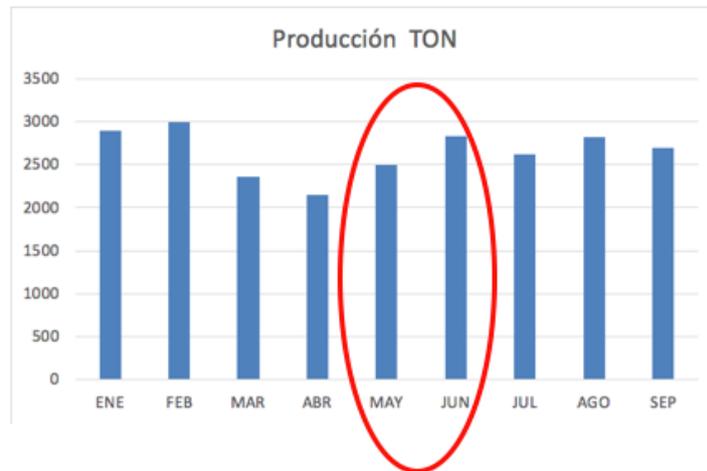


Figura N.15.: Producción mensual estimada.

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0753
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2257	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2517	.2549
0.7	.2580	.2611	.2642	.2673	.2703	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2995	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986

Tabla N.7.: Valores para el área bajo la curva normal, 0 a Z. Extraído de: (Stevenson, 2018).

Tamaño muestral					
	Cambios turno	Seteos M	CUS	Almuerzo	Limpieza M
n	3	13	19	10	21
media	38,93	94,40	12,07	30,13	24,00
std	3,918	19,834	3,127	5,579	6,536
z	1,65				
a	10%				

Tabla N.8.: Cálculo de tamaño muestral

Resumen Eficiencia MABC turno La Mañana.		Resumen Eficiencia MABC turno La Tarde.		Resumen Eficiencia MABC turno La Velada.	
Media	25,2%	Media	53%	Media	48,0%
Error típico	7,0%	Error típico	6%	Error típico	6,7%
Mediana	21,8%	Mediana	48%	Mediana	49,1%
Desviación estándar	14,1%	Desviación estándar	11%	Desviación estándar	13,3%
Varianza de la muestra	1,99%	Varianza de la muestra	1,14%	Varianza de la muestra	1,8%
Rango	32,7%	Rango	19%	Rango	30,2%
Mínimo	9,8%	Mínimo	46%	Mínimo	31,8%
Máximo	42,5%	Máximo	65%	Máximo	62,0%

Tabla N.9.: Resumen de eficiencia por turno.

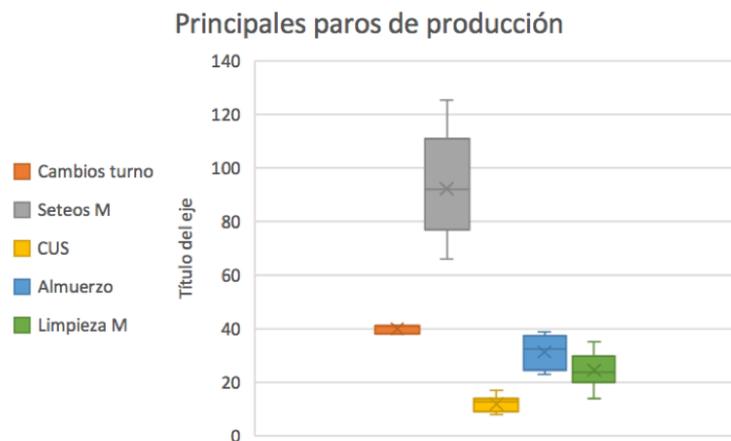


Figura N.16.: Diagrama de caja y bigotes de principales paros de producción.



Figura N.17.: Línea base 5S's

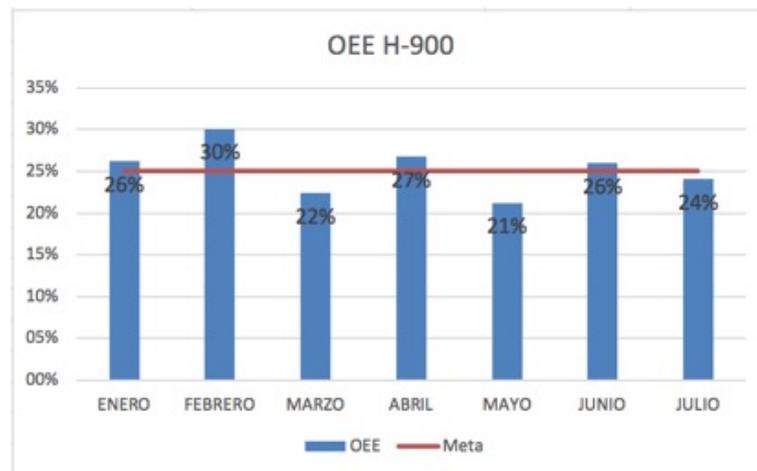


Figura N.18.: Línea base indicador OEE

Necesidad	Indicador	Línea Base
Disminuir the 6 big losses	OEE	25,18%
Cambio de turno	Tiempo	40 min
Cambio de programa		92,1 min
Cambio de unidad de salida: Deshenebrado		11,8 min
Limpieza máquina		24,5 min
Rendimiento 5S's	Orden y limpieza	60%

Tabla N.10.: Criterios de estudio MABC y línea base.

## **Analizar**

Como se mencionó en la fase medir, para la recolección de datos se estableció nuevas categorías para los tipos de paros de producción que fueron evidenciadas durante esa fase. Mismas categorías aportan a una baja productividad de la máquina MABC y por tanto al rendimiento del indicador OEE. Se analizó junto al jefe de producción para actualizar el formato de registro de paros de la producción donde considere estas nuevas categorías de tipos de paros (ver Tabla N.6.: Formato de toma de datos actual). Una vez recolectados los tiempos de cada tipo de paro, considerando el espacio y tamaño muestral, se realizó el tratamiento de datos. Se decidió por medio del valor P si eran puntos atípicos o no. Si el valor era atípico se procedió a retirar ese dato. En caso de que sea requerido se volvió a tomar dicho valor y se continuó con el análisis. Al final de esta fase se identificó aquellos tipos de paros de producción a los que este proyecto se enfocó considerados como oportunidades de mejora. También, se analizó con la herramienta de análisis FODA las implementaciones que se realizaron para cada oportunidad de mejora.

Luego de la recolección de los tiempos de tipos de paros de producción que se realizó en la prueba piloto, se realizó un diagrama de Pareto donde se muestran los tipos de paros que representan el 81% de los tiempos muertos en la producción (ver Figura N.19.: Diagrama de Pareto de tipos de paro de producción), que de acuerdo con esta herramienta se consideran los más significativos. Luego de descartar aquellos a los que este trabajo no se enfocó, se continuó con aquellos tipos de paros considerados oportunidades de mejora:

1. SM (Seteo de máquina o cambio de programa): es responsable del 31% del tiempo improductivo. Esta actividad cambia las condiciones y configuraciones de la orden de producción actual con una diferente. Requiere cambio del diámetro del alambón, cambio de dados, cambio de cabezal grafilador y cambio de carrito.
2. CT (Cambios de turno): es causante del 19% del tiempo infructuoso. Es la actividad entre turnos, que toman los operadores, para comentar las novedades del área, programa de producción actual de la máquina, diámetro trabajado, etc...
3. LI (Limpieza de máquina): como política de la empresa cada operador trefilador debe limpiar el interior y el área de la máquina que le corresponde por turno. Categoría corresponde al 14% del tiempo inoperante.

4. A/M (Almuerzos o meriendas): es el tiempo de los operadores en ir a servirse su almuerzo, merienda o comida a lo largo del día. Con el tiempo establecido de 35 minutos, la empresa decidió que es un tiempo el cual los operadores tienen derecho y no se va a tener en cuenta para alguna mejora.
5. DES (Desenhebrado): es la descarga del último carrito lleno de una orden de producción antes de cambiarla por otra orden. Este tipo de paro también hace referencia al tipo de muda “aguardar o esperas” donde el proceso está mal diseñado y el operador debía esperar a que termine el desenhebrado a una velocidad de 30 metros/minuto lo cual tarda, aproximadamente, 12 minutos.
6. CC (Cambio de carrito): cada carrito lleno se cambia por uno vacío para que pueda continuar la producción; es una actividad repetitiva a lo largo del turno. Se determinó que, en promedio, son 4.5 minutos por cambio de carrito hasta poner en marcha la máquina. Esta actividad y tiempo es inherente al proceso y por tanto no se tomará en cuenta para las mejoras.

Una vez completa la toma de datos, explicado en la fase medir. Se ejecutó el tratamiento de datos. Primero se filtró aquellos valores que encontrados como atípicos por medio del valor P. Este valor es una medida de significación estadística de contrastes de hipótesis, (Greenland et al., 2016). Se aplicó este procedimiento de validación de datos para cada tipo de paro con la ayuda del software estadístico Minitab, estableciendo los siguientes criterios de hipótesis:

*H<sub>0</sub>: hipótesis nula. Al menos un valor de la muestra es atípico*

*H<sub>1</sub>: hipótesis alternativa. Los datos no son atípicos.*

Donde:

*$\alpha$  : valor de aceptación o rechazo 0,05*

Luego de haber filtrado los datos, se buscó conocer qué rango de valores y cuál es la dispersión de cada conjunto de valores perteneciente a los tipos de paros de producción. Por esto, el diagrama de caja y bigote fue de utilidad (ver Figura N. Diagrama de caja y bigotes de las oportunidades de mejora). De este diagrama, principalmente, se observa que para los “SM” de

seteos de máquina o cambios de programa existe una alta variabilidad. Esto debido a que puede llegar a complicarse la actividad por razones de:

- Alto diámetro trabajado: el diámetro enfocado en este estudio,  $\varnothing 12$  mm, proviene de un alambón  $\varnothing 14$  mm. Se conoce que es muy complicado y de gran esfuerzo físico de trabajar estos diámetros de alambre. Para el cambio de programa el operario debe enhebrar este alambón. Proceso que va desde la carga del alambón hasta el bobinado en el proceso de trefilado.
- Problemas adicionales: por ejemplo, taponamiento del sistema de enfrió y jabonera por solidificación del jabón. Arreglar esto causa suciedad extra en el piso y agua regada. Por lo que el operador trefilador se puede tardar un poco más en realizar la actividad.
- Falta de orden y limpieza: adicionalmente, las herramientas se encontraban alejadas. El operario tuvo que realizar varios viajes para buscar la herramienta indicada, lo que ocasionó máximos de cambios de programa de 120 minutos. Este factor pertenece al tipo de muda “movimientos innecesarios” debido a las distancias que deben recorrer para encontrar una herramienta que no se encuentra en su lugar. Tema que fue abordado en las mejoras de la herramienta 5S’s que se detalla en la fase de implementaciones.
- En otros casos cuando las herramientas estaban en su lugar, el sistema de enfrió y jabonera no daban problemas, el operador tenía más habilidad con el diámetro alto del alambre se registró mínimos de 65 minutos. Se estableció un tiempo de 92 minutos por cambio de programa y a un mínimo de 5 cambios de programa a la semana, que resultan en 460 minutos improductivos.

Se pudo observar también que, toman 25 minutos promedio en la limpieza de las máquinas. Esta actividad la realizan con la máquina completamente apagada. No poseen un método ni estrategia de limpieza. En otro tipo de paro, en promedio pierden 40 minutos entregando el turno donde se transmiten las novedades y la situación del área. Donde tratan temas como diámetro de alambre que está trabajando la máquina. Existen tres cambios de turno al día, por lo que son 120 minutos diarios. También, toman 35 minutos en ir al almuerzo o meriendas, que dejan 630 minutos infructuosos a la semana. En este tiempo los operarios no se organizan para que, del total del grupo de trefiladores, la mitad del grupo vaya a comer, mientras la otra mitad realiza el relevo del trabajo de los compañeros que fueron al almuerzo. Luego, el grupo que se retiró primero realizaría el relevo al grupo que se quedó en el área. Otro tipo de paro son las pruebas de calidad (PC). Esta actividad no está estandarizada. Se nota que pierden tiempo llevando muestras al laboratorio cuando con las pruebas que realizarían en la mesa de ensayos

es suficiente. Sin embargo, este tema no está en el alcance del estudio debido a que la empresa decide prefiere disponer algo de tiempo extra en que los operarios realicen el viaje hasta laboratorio y confirmar que las características de calidad se encuentren conformes los parámetros de producción.

Recopilando la información de los mismos operadores trefiladores, expertos del área y eventos observados en planta al momento de la medición, y análisis, se desarrolló el Diagrama de causa y efecto considerando el método de las 7M: Mal capacitado, mediciones, material, personal, entorno, métodos, máquina (Figura N.20.: Diagrama de causa y efecto). Esto con el fin de justificar el propósito de este trabajo está alineado con el rendimiento de producción del proceso productivo de la empresa que este trabajo se enfocó. De igual manera, para determinar la causa raíz del bajo rendimiento del indicador OEE, (Azizi, 2015). Como resultado de este diagrama, se muestra al operario trefilador:

- Con ausencia o baja frecuencia y evaluación de capacitación en cuanto a cómo realizar las diferentes actividades establecidas en los manuales de operación del proceso de Trefilado. Se observó que tenían claro aspectos de los procedimientos estándar de operación de trefilado. Lo que muestra que debería robustecerse el seguimiento y aplicación adecuada de los procedimientos estándares de trabajo.
- Carencia de motivación y valores individuales para realizar su trabajo apropiadamente y en equipo. Lo que hace referencia al tipo de muda “no utilización del potencial humano”, debido al bajo rendimiento de los operadores del área. Así que, para mejorar la motivación del equipo, en las reuniones se mencionó los beneficios que podrían tener las mejoras como un menor desgaste físico. Lo cual fueron muy perceptivos a esto (ver Figura N.21.: FODA: SMED y Figura N.23.: FODA: Limpieza de máquina).
- Se conoció que, en aquel período, la materia prima que recibe la empresa no cumple con sus requisitos de resistencia. Sin embargo, es un tema apartado de este trabajo que la empresa lo trabaja con el proveedor.
- Además, el entorno presenta suciedad inherente debido al proceso y los operadores tienen gran dificultad y emplean grandes cantidades de esfuerzo para trabajar con diámetros más grandes  $\varnothing 14, 12$ .
- La falta de políticas o métodos que nacen de la evidencia en planta son causa de largos períodos en tiempos perdidos de producción. Esto debido a paros largos y continuos.

Por ejemplo, no existen relevos para la hora del almuerzo o que la máquina permanezca apagada en los cambios de turno.

Con esta información en mente, se desarrolló el análisis FODA para cada oportunidad de mejora, de lo cual se destacan oportunidades y debilidades de cada implementación. A continuación, se detalla:

1. Cambio de programa: se implanta el desarrollo de la técnica SMED explicada con anterioridad para los cambios de programa. Para esto, se adquirió la confianza de los operadores para que realicen la actividad en equipo y soliciten apoyo adicional para este tipo de paro. Se les recordó la dificultad y el gran esfuerzo físico de trabajar con los diámetros de alambre grandes. Por lo que estaban motivados de mejorar (ver Figura N.21.: FODA: SMED).
2. Cambios de turno: las políticas implementadas fueron que en los cambios de turno los operadores deben entregar la máquina produciendo a la mitad de la velocidad estándar establecida en la orden de producción. Teniendo tiempo suficiente para que se reúnan y comenten las novedades de cada turno. A la vez, que están pendientes de cargar materia prima o cambiar los carretos llenos (ver Figura N.22.: FODA: Cambios de turno).
3. Limpieza de máquina: con el fin de reducir su esfuerzo físico, se les ofreció realizar la limpieza de la máquina una única vez al día y con la ayuda de los operadores de limpieza. Lo cual estaban entusiasmados debido al desgaste físico que ocasiona esta actividad (ver y Figura N.23.: FODA: Limpieza de máquina).
4. Desenhebrado: implementando refuerzos mecánicos alrededor de la bobina de la máquina y puertas donde el alambre se encuentra suelto y golpeando al momento de realizar el desenhebrado se puede aumentar la velocidad de descarga de 30 m/min a 60 m/min (ver Figura N.24.: FODA: Desenhebrado).

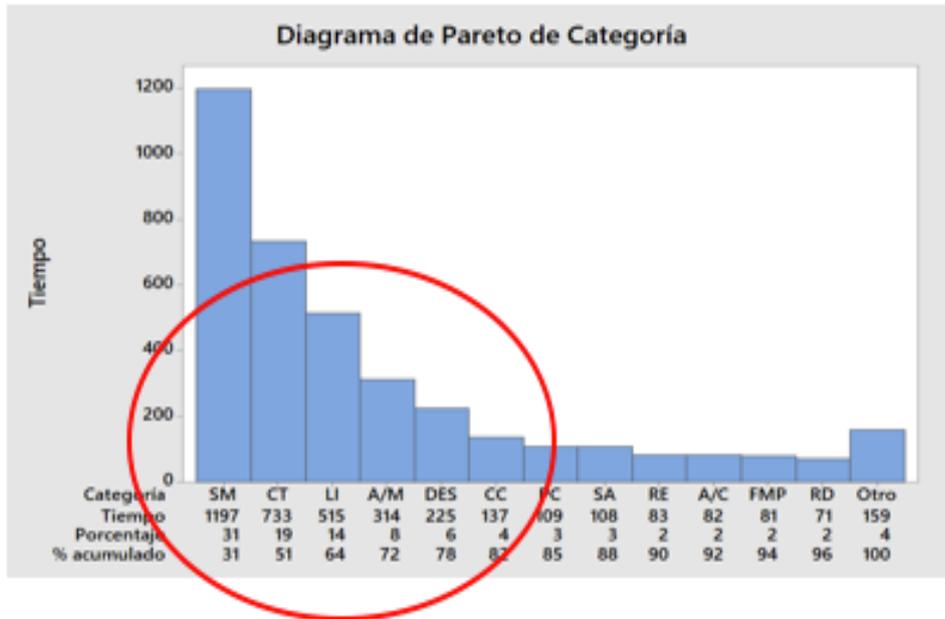


Figura N.19.: Diagrama de Pareto de tipos de paro de producción.

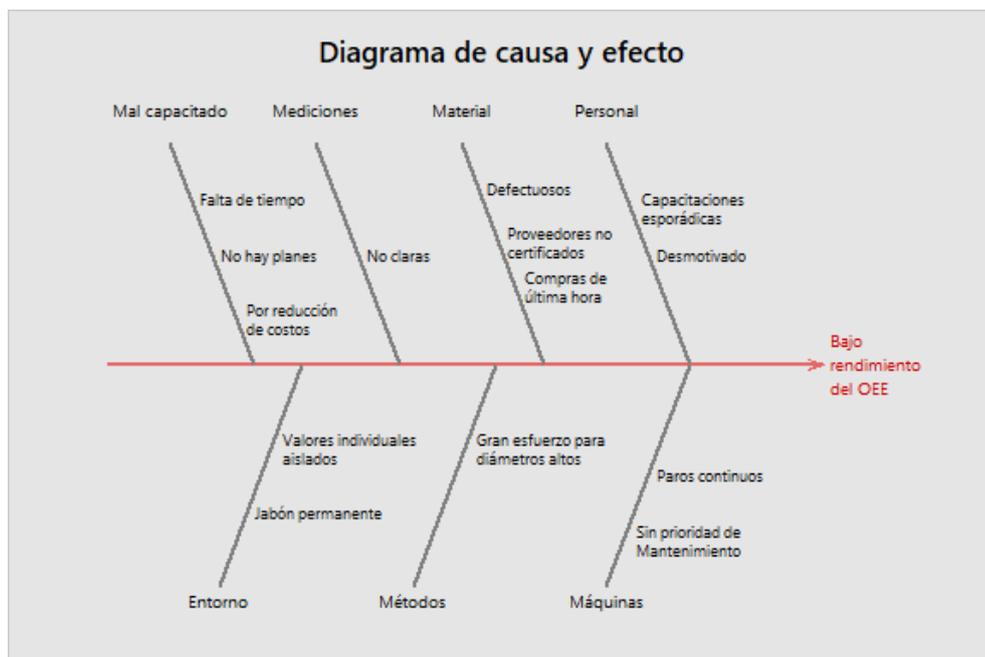


Figura N.20.: Diagrama de causa y efecto.

## SMED EN CAMBIO DE PROGRAMA

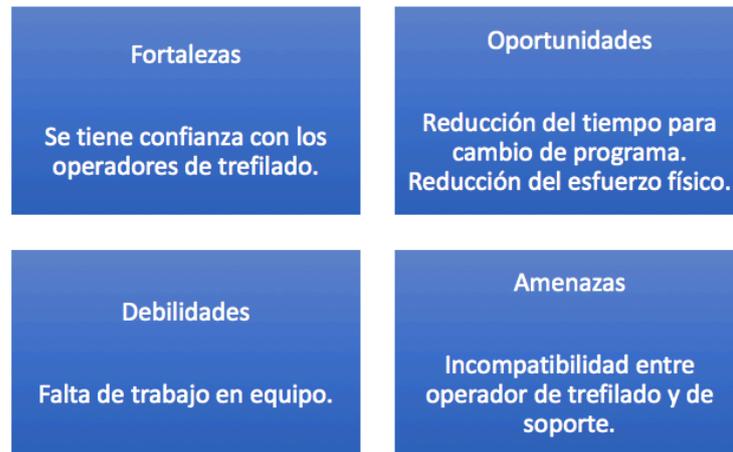


Figura N.21.: FODA: SMED.

## NUEVAS POLÍTICAS DE CAMBIOS DE TURNO

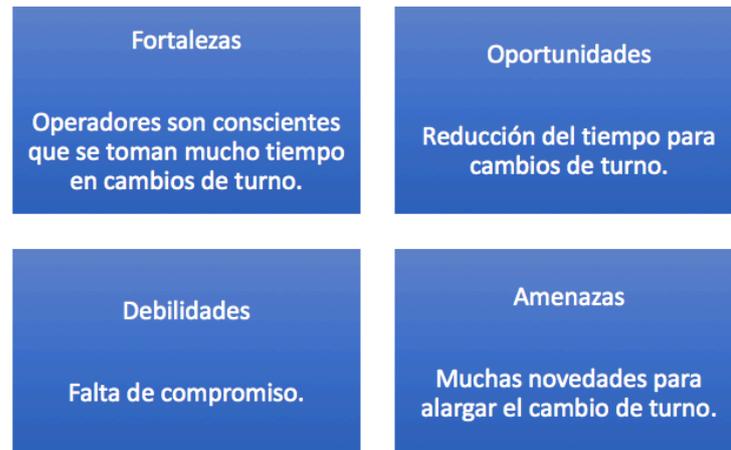


Figura N.22.: FODA: Cambios de turno.

## PROGRAMA DE LIMPIEZA DE MÁQUINA

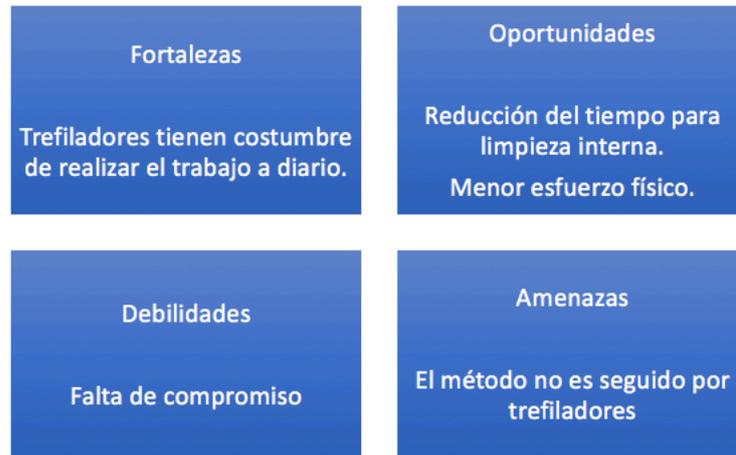


Figura N.23.: FODA: Limpieza de máquina.

## MEJORA MECÁNICA PARA DESENHEBRADO

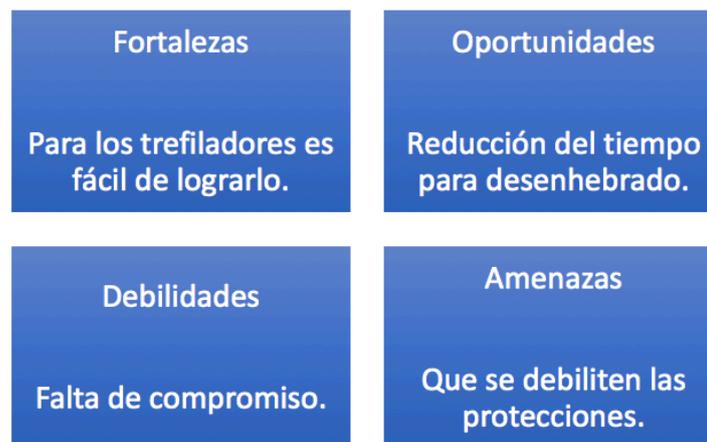


Figura N.24.: FODA: Desenhebrado.

## Mejorar

Identificadas y analizadas las oportunidades de mejora en la fase anterior. Se desarrolló un plan de acción y se lo puso en marcha (ver Figura N.25.: Plan de acción) donde se comienza con una renovación de la metodología 5S's, que existe en el área, luego con las mejoras mecánicas, de programas, políticas para la limpieza de máquina, cambios de turno y el desenhebrado, así como la herramienta lean implementada: SMED (ver Figura N.26.: Resumen de mejoras e implementaciones).

Como se indica en el plan de acción. En primer lugar, se decidió mejorar el factor limpieza y orden del lugar ya que es la base para cualquier mejora. Así que con el fin de evaluar faltantes o debilidades de la metodología 5S's, recordemos que la línea base fue de 60%, se realizó una auditoría de tres participantes. Esto fue discutido y se consideró un adecuado. Los tres participantes fueron: Un miembro del área y dos externos. Se debe mencionar que la empresa proporcionó las preguntas de evaluación para la auditoría, ya que este check-list de evaluación es parte del programa de mejora continua, que lo realizan mes a mes. El resultado mostró debilidades que afectan al orden y limpieza. Por lo que, en cada una de las S's de las técnicas, se detalla lo desarrollado:

### 1. (整理) SEIRI · CLASIFICAR

Para esta etapa se estableció un lugar como “zona de tarjetas rojas” que, en un principio, los operarios no tenían claro donde ubicar aquellos elementos innecesarios que estaban en exceso o estaban demás (ver Figura N.28.: Área de tarjetas rojas trefilado A1).

### 2. (整頓) SEITON · ORDENAR

Cada elemento del área que fue clasificado como necesario, se lo etiquetó y se colocó dicha etiqueta en la ubicación determinada como fija (ver Figura N.31.: Clasificación de herramientas necesarias y determinar una ubicación fija y etiquetada). Con esto, se realizó reuniones entre los turnos de trabajo a manera de difusión de mantener en orden las herramientas luego de cada turno. Cabe mencionar que los elementos carecían de una ubicación fija o de etiquetado. Por ejemplo, la lana de acero, que se usa al final del proceso de decalaminado, sirve para limpiar la calamina pegada al alambre al final del proceso. Para ubicarlo se debió diseñar un sistema mecánico al estilo de dispensador.

Que actualmente está soldado a una estructura metálica, donde el operador pueda, fácilmente, recoger la cantidad necesaria de este elemento cuando sea necesario. Además, se colocó la etiqueta “Lana de acero” junto a la posición de este elemento para establecerlo como fijo (ver ejemplo en Tabla N.11.: Análisis de la 2S: Ordenar y Figura N.29.: Lana de acero).

### 3. (清掃) SEISO · LIMPIAR

Para abordar esta S se adecuó una mejora mecánica a la máquina decalaminadora, y también la implementación de un canal de limpieza de calamina regada. En un principio la calamina se acumulaba en el piso (ver Figura N. 30.: Canal de limpieza). Para limpiar, el operador debía barrer con la escoba y usar el tacho metálico para recoger la calamina regada. Al terminar, debía vaciar el tacho en el contenedor adecuado, ubicado a diez metros del lugar. Ahora, en caso de que exista calamina regada, el operador barre esta suciedad hacia el canal de limpieza (ver Figura N.30.: Canal de limpieza).

### 4. (清潔) SEIKETSU · ESTANDARIZAR

Con el fin de estandarizar y mantener la metodología 5S's. Se desarrolló el programa de limpieza del área y equipos, estableciendo la frecuencia y manera de realizar la actividad. Cabe mencionar que este programa no lo tenía la empresa y era más complicado para los encargados saber cuándo y qué limpiar (ver Tabla N.13.: Programa de limpieza). Asimismo, este programa de limpieza fue de utilidad para la metodología implementada, TPM, de la que se hablará más adelante. También, se actualizó el lay-out de las áreas identificadas para equipos, herramientas, máquinas y materiales (ver Figura N.32.: Lay-out y difusión de las áreas identificadas para equipos, herramientas, máquinas y materiales) y se difundió que cada elemento tenía su lugar demarcado con bandas amarillas en el suelo, si eran pasillos, carriles de tránsito o celdas de trabajo. Líneas celestes si eran áreas de materia prima, rojas si era zona de cuarentena con producto defectuoso (BRADY, 2016).

### 5. (躰) SHITSUKE · DISCIPLINA

Las reuniones entre turnos sirvieron para empezar a generar la disciplina de limpieza y orden en el área. Sin embargo, no se pudo realizar una campaña más extensa y

persuasiva para robustecer radicalmente esta herramienta 5S's. Aunque, con el fin de evaluar el rendimiento de esta herramienta se integró varios ítems al check-list semanal del área de trefilado A1 que posee la empresa.

De esta manera se espera que los operadores trefiladores tengan la disciplina de mantener el orden y la limpieza del área, no solo por evaluación semanal por parte de los jefes de área, sino para que ellos puedan realizar más fácilmente y sin tanto desgaste físico y mental sus actividades. Ya que, cumpliendo esta herramienta se puede observar un lugar de trabajo limpio y ordenado que es de ayuda para generar la motivación del personal. (ver Figura N.44.: Ítems añadidos al check-list semanal). Luego de haber concluido con cada fase se realizó una nueva auditoría con los mismos tres participantes antes mencionados y con las hojas de evaluación proporcionados por la empresa donde como resultado fue el incremento del indicador 5S's a un 71% (ver Figura N.39.: Evolución indicador 5S's).



Figura N.25.: Plan de acción.



Figura N.26.: Resumen de mejoras e implementaciones.

TARJETA ROJA	
ARTÍCULO:	
CANTIDAD:	FECHA CLASIFICACIÓN:
PROPIEDAD:	DECIDE DESTINO:
CATEGORÍA	RAZÓN
Máquinas	No se necesita
Accesorios y herramientas	Defectuoso
Materiales	Uso desconocido
Material de oficina	Material de desperdicio
Producto terminado	No se usará pronto
Producto en proceso	Otros: _____
DESTINO	
Enviar a cuarentena	Reciclar
Destruir/Tirar	Ajustar cantidad
Enviar a almacén	Compartir
Reubicar	Otros: _____

Figura N.27.: Tarjeta roja, (Castañeria, 2015).



Figura N.28.: Área de tarjetas rojas trefilado A1.



Figura N.29.: Lana de acero.

Herramienta/insumo	Ubicación	Demarcado	Etiquetado	Detalles
Lana de acero	Junto a máquina MABC	No	No	Necesita de soporte mecánico estilo dispensador

Tabla N.11.: Análisis de la 2S: Ordenar



Antes

Canal de limpieza calamina regada



Fuente: elaboración propia.

Después

Figura N.30.: Canal de limpieza.



Figura N.31.: Clasificación de herramientas necesarias y determinar una ubicación fija y etiquetada.

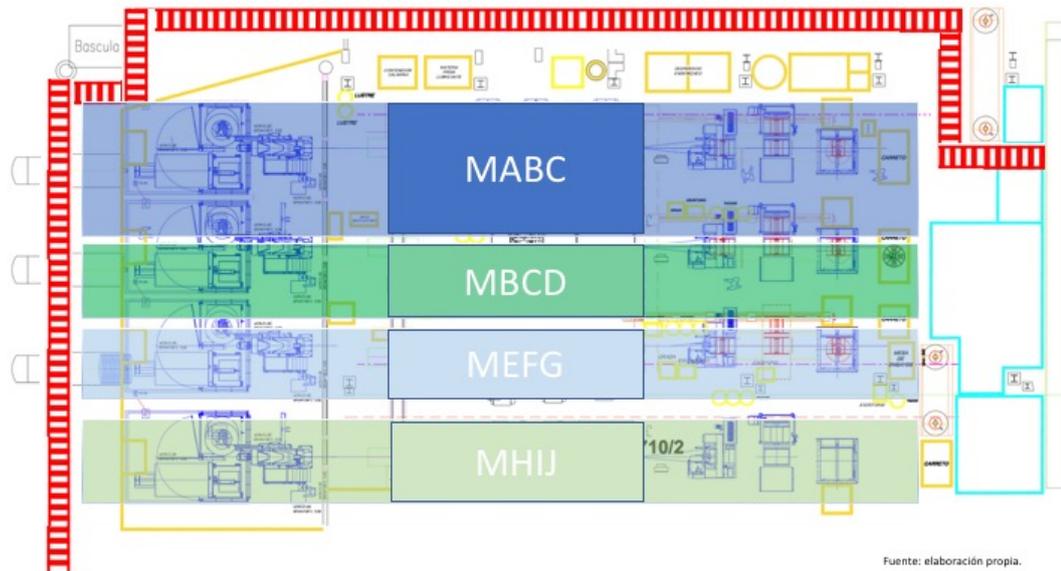


Figura N.32.: Lay-out y difusión de las áreas identificadas para equipos, herramientas, máquinas y materiales.

Con el área de trabajo limpia y ordenada es posible realizar cualquier implementación estudiada a cada una de las oportunidades de mejora identificadas en la fase de análisis. A cada una de estas mejoras se las detalla a continuación:

### *Cambio de programa*

La mejora enfocada para esta situación fue la aplicación de SMED. Los datos de la duración de cambios de programa fueron resultado de la toma de datos de este tipo de paro. Para desarrollar esta herramienta, se comienza listando las actividades y dividiendo aquellas que son realizadas con la máquina detenida o cuando la máquina está en funcionamiento. (Arauzo, 2018) describe cada uno de los pasos para desarrollar esta técnica SMED (ver Figura N.33.: Etapas de SMED). Este trabajo aplicó cada paso al cambio de programa de producción. A continuación, se detallan los cinco pasos:

1. Análisis de la actividad: En este primer paso se analizó los subprocesos que el operador trefilador debe realizar para cambiar el programa de producción con uno de diferente configuración. Para ello se usó:

- i. Diagrama de procesos: tiene como finalidad establecer cuáles son los pasos o actividades para cambiar el programa de producción (ver Figura N.34.: Flujograma cambio de programa).
  - ii. Cronómetro: duración de lo que tarda el operario en cada subproceso.
2. Separar lo interno de lo externo: aquí se define qué actividades son posibles realizarlas con la máquina detenida y cuáles no. Se considera el paso más importante. Si se consigue separar la mayor parte de actividades de preparación como externas, el tiempo total se reducirá, aproximadamente un 40% (Calles, P. (2019)).
3. Organizar las actividades externas: a partir del análisis realizado, se ordenan las actividades externas para realizarlas en un momento dado que la máquina ya se encuentre funcionando. En este caso se encontró tres actividades externas, de las cuales dos se las debe realizar antes del cambio de programa y una de ellas al terminar el cambio de programa.
4. Convertir lo interno en externo: una parte del análisis de las actividades internas es simplificarlas o transformarlas en externas. En el proceso, trefilado y grafilado, este paso no se pudo convertir lo interno en externo debido al diseño del proceso y de la máquina como tal. Esta tiene sensores de seguridad en las puertas, de manera que si la puerta se encuentra abierta la máquina no puede arrancar. Por ello al siguiente paso de esta técnica se le dio mucha más primacía.
5. Reducir tiempos de actividades internas: para que este paso sea más efectivo se decidió añadir a un operario de soporte que colabore con el cambio del programa (ver Figura N.35.: SMED con operador de soporte). Este último operario puede ser aquel con un índice de ocupación laboral del 60%, lo cual es posible, ya que existen operarios con baja ocupación junto al área de trefilado A1. Mismos que conocen del proceso. Sin embargo, para este caso se escogió el apoyo del operador de la máquina MHIJ. Debido a que esta máquina resulta ser la más eficiente por la menor cantidad de paros de la producción presentados (ver Tabla N.2.: Eficiencia por máquina). Luego se tomó en cuenta que exista un balanceo de tareas entre el nuevo operador de soporte y el operador trefilador, para lo cual se desarrolló un diagrama Gantt de los subprocesos. De esta manera, se puede evidenciar la secuencia y el responsable de cada subproceso en (ver Figura N.36.: SMED de cambio de programa).

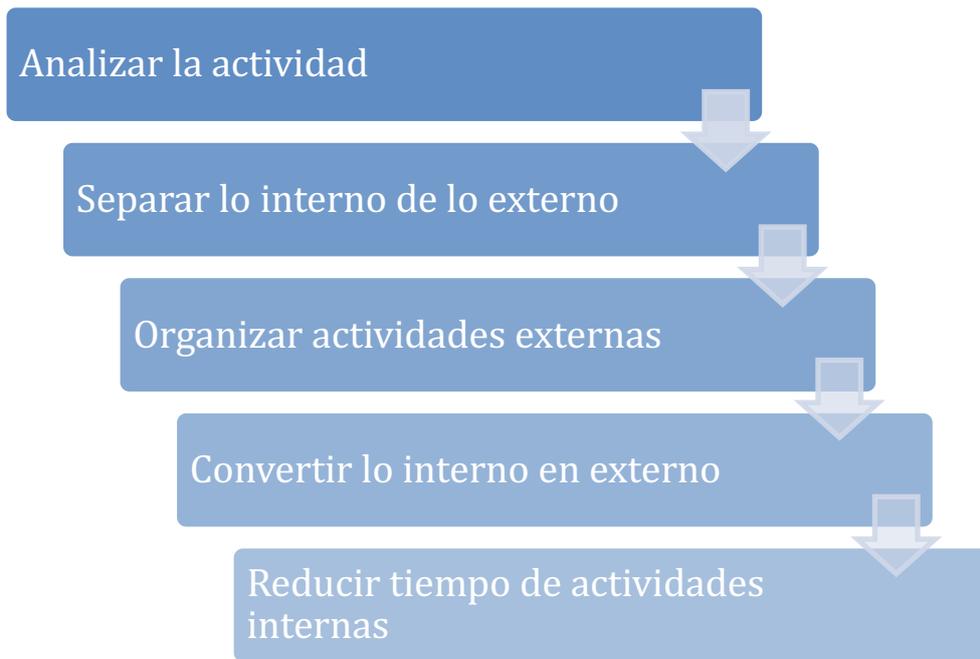


Figura N.33.: Etapas de SMED. Fuente: Elaboración propia

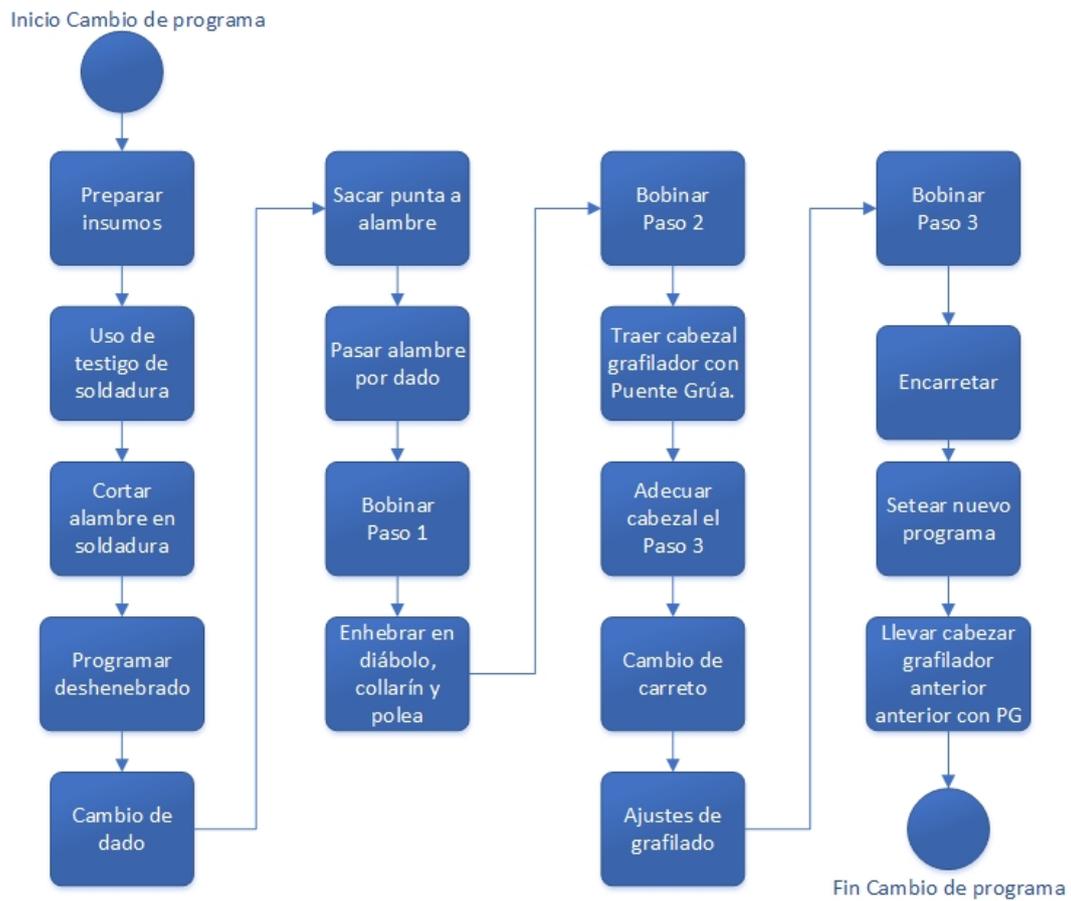


Figura N.34.: Flujograma cambio de programa. Fuente: Elaboración propia.

Luego del desarrollo de la herramienta SMED. Se procedió a recolectar los datos de duración promedio todo el proceso de cambio del programa, de acuerdo con el cálculo de la fórmula de tamaño muestra. En un principio fijó la duración base de este tipo de paro que fue de 92 minutos. Luego de la implementación el tiempo el cual la máquina permaneció detenida fue de 48,7 minutos. El resto del tiempo, los 17,9 minutos son destinados a las actividades externas, cuando la máquina está en funcionamiento. Donde el operador de soporte debe disponer de 49 minutos para ayudar en la actividad y luego puede ir a realizar sus propias actividades. Por lo tanto, existió una mejora del 88% o 14,37 horas al mes adicionales. Adicionalmente, los operadores serían más eficientes realizando los cambios de programa, usarían menor cantidad de esfuerzo físico ya que se divide para dos la carga laboral, aumentando su salud y seguridad con esta difícil actividad.

#### *Cambios de turno*

Para realizar la mejora en este caso, los operarios mencionaron su inconformidad ya que, si entregaban la máquina funcionando a velocidad estándar, no tendrían tiempo de comentar las diferentes novedades del turno a sus compañeros, pues se encontrarían ocupados cargando materia prima o cambiando los carros llenos. Por esto, se implementó la política de entregar a la máquina funcionando a la mitad de su velocidad estándar. Sin embargo, por la falta de motivación del grupo resultó complicado, así que fue necesario estar presente en cambios de turno para impulsar este cambio. En la fase medir se definió que en cambios de turno se toman 40 minutos. Ahora, la mejora equivale a 18 minutos productivos a velocidad estándar. Lo mismo que 25,20 horas mensuales adicionales de productividad, reflejando una mejora del 82%.

#### *Limpieza de máquina*

Se conoce que para realizar esta actividad se emplea mucho esfuerzo físico debido a la suciedad inherente del proceso que se genera día a día. Misma actividad de limpieza diaria se encuentra en la tabla desarrollada para el programa de limpieza (ver Tabla N.13.: Programa de limpieza) de la metodología implementada, TPM. Con el fin de reducir el tiempo y esfuerzo de los operadores trefiladores, se trabajó con el equipo de limpieza de la empresa para que ellos sean

los principales actores de esta tarea. Se estableció, que el equipo de limpieza debe llegar al área de trefilado cada día a las 9 am, hora a la que se encuentran algo más libres, con el equipo de limpieza que consta de las barredoras manuales y dar uso a la aspiradora industrial que se encuentra en el área. El trabajo se lo realiza en conjunto. A la hora que empieza la limpieza los operadores trefiladores detienen la máquina, sacan la suciedad de la máquina hacia los pasillos, mientras pasa la barredora manual y se da uso a la aspiradora. En caso de que, sea calamina regada, se instaló un canal de limpieza de calamina (ver Figura N.30.: Canal de limpieza), como se mencionó en la fase de limpieza 2S, para que esta calamina sea barrida hacia el canal. Si es otro tipo de suciedad, debe ser barrido y recogido en los tachos correspondientes y luego desecharlos en los contenedores adecuados. En un principio, esta actividad se realizaba tres veces al día, una por turno, ahora es una sola vez al día y como resultado este tipo de paro toma 20 minutos diarios a comparación de los 75 minutos. Logrando una mejora del 275% o 25,6 horas mensuales adicionales. Además, de una reducción de la carga laboral para los operadores trefiladores.

### *Desenhebrado*

Esta implementación, requirió de refuerzos mecánicos alrededor de la bobina de la máquina, puertas (ver Figura N.38.: Protecciones de puertas) y contadores de vueltas del cabezal grafilador (ver Figura N.37.: Protecciones de cuentavueltas en cabezales grafiladores) donde el alambre se golpeaba al momento de realizar el desenhebrado. Razón por la cuál se realizaba esta actividad a una velocidad de 30 m/min. Ahora, con los refuerzos, el operador pudo configurar la velocidad de desenhebrado a 60 m/min. En un principio, esta actividad duraba 11,8 minutos, ahora son 8 minutos, existiendo una mejora del 48%.

(Saihong et al., 2016) declaran que su trabajo fue pensado para identificar problemas en la línea de producción y luego implementar herramientas lean para mejorar la productividad. Con el propósito de medir estos efectos en el indicador de productividad OEE. Ellos, primero identificaron el flujo de producción e implementaron 5S's para un flujo efectivo. Así, este trabajo, en primer lugar, abordó la metodología 5S's y cada tipo de oportunidad de mejora logrando reducciones substanciales en tiempo perdido en cada tipo de paro. Con lo que pudo evidenciar una mejora en el indicador de efectividad de la máquina OEE a un 35% (ver Figura N.40.: Mejora del indicador OEE). Logrando superar la línea base de 25,18% y del objetivo de

30%. Con ahorros o beneficios económicos estimados en \$32 000 mensuales. Se puede observar el resumen de las mejoras en (Tabla N.12.: Resumen porcentual de mejoras) donde se representa el porcentaje mejorado y las horas al mes que pueden ser aprovechadas en productividad.

Un objetivo de este trabajo fue implementar la metodología TPM ya que es invaluable al largo plazo, en reducción de fallos, ahorro de dinero, menores paros de producción y mayor calidad. Sin embargo, por el tiempo disponible para realizar este trabajo, únicamente se implementó las mejoras enfocadas y el mantenimiento autónomo, considerado un punto crucial para una mejor producción y por la carencia de inspección y lubricación en puntos identificados como vitales para este proceso. (Saihong et al., 2016) definen como aspecto clave el asegurar que de que los empleados conozcan y sean capaces de construir un ambiente de TPM. Así como el mantenimiento autónomo; actividades diarias como chequeo, lubricación, inspección, reparos y situaciones similares con el fin de mantener al equipo en perfectas condiciones. Para guiar a la mejora en una reducción del tiempo y la disponibilidad de la máquina. Se consideró desarrollar los primeros dos pilares del mantenimiento productivo total (ver Figura N.41.: Pilares TPM, (Vargas, 2016)), mencionados a continuación:

### *Mejoras enfocadas*

Este primer pilas tiene dos objetivos principales:

- Eliminar radicalmente las causas de los problemas crónicos: esto fue otra razón para la implementación del canal de suciedad de calamina regada. Esto se mencionó en la etapa 2S de la metodología 5S's que también considera este punto.
- Mejorar la eficiencia del trabajo humano: Luego de la implementación de la herramienta SMED, los operadores trefiladores son más eficientes al realizar la difícil tarea de cambiar de programa en la máquina MABC. Recordemos que para lograr esto, se realizó el análisis FODA, y las mejoras de limpieza y orden. De esta manera se cumple este segundo objetivo.

### *Mantenimiento autónomo*

Este segundo pilar es muy importante y de gran ayuda para mantener altos niveles de eficiencia de los procesos de producción. De esto se destaca la participación del personal de producción en las actividades de mantenimiento en actividades de inspección y lubricación. Mejorando así la habilidad de estos para mantener una eficiente producción. Para esto se identificó, con expertos del proceso de trefilado y grafilado, junto a técnicos del mantenimiento de la máquina MABC, puntos críticos del proceso y lo siguiente descrito se colocó en el check-list semanal, mencionado en la siguiente fase de control:

- Cantidad y condiciones de la lana de acero en el proceso de decalaminado: este elemento en condiciones normales retira el exceso de calamina mismo que pasa al dado de trefilación y se mezcla con el jabón de lubricación.
- Solidificación del jabón lubricante en jabonera junto al dado de trefilación: se da por el calentamiento del sistema de trefilación y de la mezcla de calamina con el jabón de lubricación, formado jabón duro que recalienta aún más el sistema y se producen rayaduras en el alambre.
- Funcionamiento del sistema de enfrió: tiene la finalidad de mantener frío el sistema y al dado de trefilación. Puede llegar a taponarse debido a que no se cierra adecuadamente la tapa del sistema de enfrió y es cuando ingresan cantidades de jabón de lubricación y suciedad inherente del proceso. Para evitar esto se colocó una ayuda visual (ver Figura N.43.: Ayuda visual sistema de enfrió).
- Lubricación del cabezal formador y grafilador: como consejo del fabricante de los cabezales. Se debe lubricar en los cuatro puntos de lubricación al cabezal formador y grafilador cada cuatro horas. Así, que se generó ayudas visuales (ver Figura N.42.: Ayudas visuales para puntos de lubricación) que recuerden al operador realizar esta actividad dos veces al día. Mismo control establecido en la siguiente fase y visualizado en el check-list semanal (ver Figura N.44.: Ítems añadidos al check-list semanal).

Este mismo pilar de mantenimiento autónomo establece condiciones iniciales de la máquina, como limpieza catalogados como inicial, media y profunda que son detallados en el programa de limpieza realizado donde se considera cada área y equipo que es parte del proceso de trefilado y grafilado al que este trabajo se enfocó, estableciendo frecuencias de limpieza (ver Tabla N.13.: Programa de limpieza). Inspección y lubricación que es lo que se explicó en los

puntos anteriores y que fueron comentados en las reuniones realizadas con los operadores trefiladores.



Fuente: elaboración propia.

Figura N.35.: SMED con operador de soporte.

SMED: Cambio de programa en MABC.					Gantt actividades																				
Tarea	Duración (min)	Interno	Externo	Detalle	Responsable: Op. De Soporte y Op. Trefilador.																				
Preparar insumos: dados, suplex, lubricante, herramientas	3,5		x	Preparar insumos luego del penúltimo carrito de la orden	Op. Soporte																				
Uso de testigo de soldadura	14,1		x	Hacerlo 15 min antes del desenebrado	Op. Trefilador																				
Cortar alambre en señal de soldadura después de decalaminado	2,1	x			Op. Soporte																				
Programar desenebrado velocidad baja	2,0	x			Op. Trefilador																				
Sacar y colocar nuevo dado Paso 1	5,5	x			Op. Trefilador																				
Sacar punta alambre	4,5	x			Op. Soporte																				
Pasar alambre en jabonera y dado	3,5	x			Op. Trefilador y Op. Soporte																				
Bobinar en Paso 1	3,5	x			Op. Trefilador																				
Enhebrar en diábolo y collarín	14,0	x			Op. Trefilador y Op. Soporte																				
Pasar por patea	2,5	x			Op. Trefilador y Op. Soporte																				
Bobinar en Paso 2	3,5	x			Op. Trefilador																				
Traer cabezal con PG	4,3	x			Op. Soporte																				
Adecuar cabezal en Paso 3	4,5	x			Op. Trefilador																				
Cambio de carrito	4,0	x			Op. Soporte																				
Ajustes de grafilado	6,0	x			Op. Trefilador																				
Bobinar Paso 3	4,8	x			Op. Trefilador																				
Encarretar	3,0	x			Op. Trefilador																				
Setear cambio de programa velocidad baja	3,0	x			Op. Trefilador																				
Llevar cabezal con PG	3,8		x	Realizar esta actividad al final del cambio	Op. Trefilador																				
Tiempo total cambio de programa (min)	66,6	48,7	17,9			14,1	2,1	5,5	3,5	3,5	9,0	2,5	4,3	4,5	6,0	4,8	3,0	3,8							

Figura N.36.: SMED de cambio de programa.



Fuente: elaboración propia.

Figura N.37.: Protecciones de cuentavueltas en cabezales grafiladores.



Figura N.38.: Protecciones de puertas.

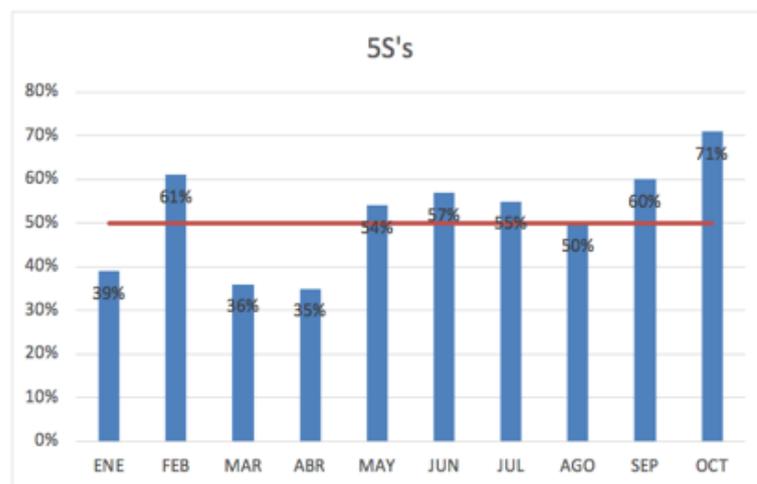


Figura N.39.: Evolución indicador 5S's.

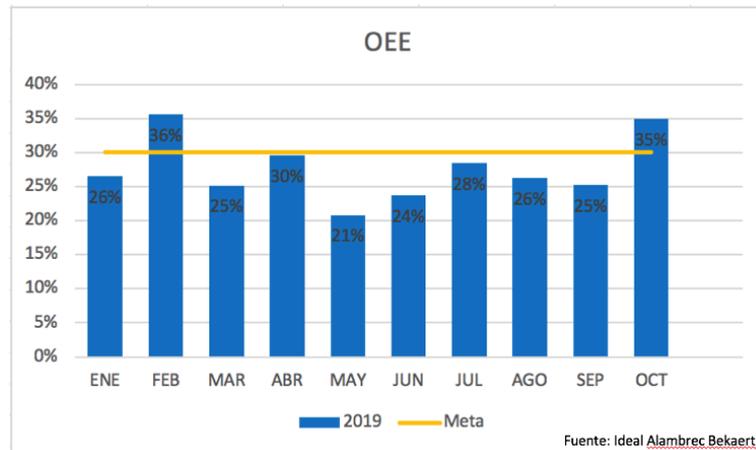


Figura N.40.: Mejora del indicador OEE.

Antes (min)	Ahora (min)	Mejora/Ahorro
<b>Cambio de programa</b>		
92,1	49	<b>88%</b>
Horas mes	14,37	
<b>Cambios de turno</b>		
40	22	<b>82%</b>
Horas mes	25,20	
<b>Limpieza máquina</b>		
75	20	<b>275%</b>
Horas mes	25,67	
<b>Deshenebrado</b>		
11,8	8	<b>48%</b>
Horas mes	1,27	

Tabla N.12.: Resumen porcentual de mejoras.

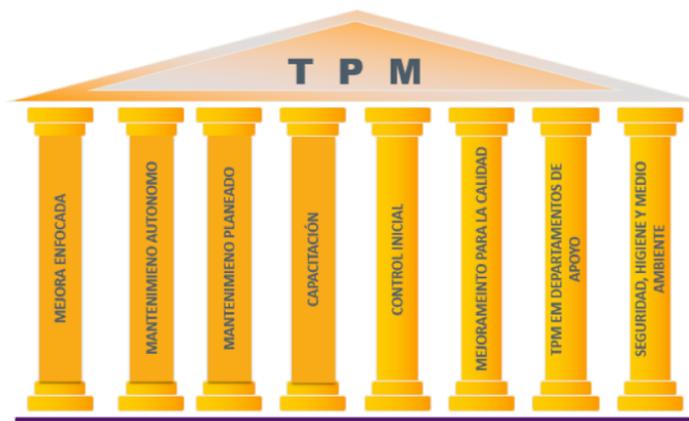


Figura N.41.: Pilares TPM (Vargas, 2016).

<b>Programa de limpieza</b>	
Descripción: Plan de las actividades y etapas de la limpieza en el área de trefilado A1. Máquina MABC	
<i>Diario</i>	<i>Frecuencia</i>
<p>Limpieza del área realizada por cada operario o en equipo con el operario de limpieza. El operador trefilador empieza llamando al operario de limpieza por la radio.</p> <p>1. Comienza la limpieza deteniendo la máquina y limpiando el interior de la máquina, excluyendo zonas de difícil acceso (esquinas y debajo de máquina); de manera que el jabón cae en el pasillo, luego prende de nuevo la máquina y sigue con sus actividades.</p> <p>2. El operario de limpieza realiza la limpieza de pasillos con la barredora móvil, comenzando por el área de encarretado, sigue con pasillos paso 3, 2, 1, luego por pasillo de la máquina decalaminadora. Al llegar a la cañonera se detiene la máquina, por seguridad del operador, y continúa la limpieza del área.</p> <p>3. Se enciende la máquina.</p>	Cada día a las 9am
<i>Semanal</i>	
<p>Limpieza profunda semi intensiva del área. 1. Comienza la limpieza a traer la aspiradora y tachos metálicos. 2. Se detiene la máquina, y usando la aspiradora se limpia las zonas de difícil acceso (esquinas) comenzando por el área de cañoneras, sigue con el Paso 1, 2 y 3.</p> <p>2. Se enciende la máquina y continúa la limpieza por Pasillos Paso 3, 2, 1 y resto del área.</p>	En cambios de 2do y 3er turno lunes y jueves
<i>Mensual</i>	
<b>Cañoneras</b>	
Realizar la limpieza debajo de cañoneras.	Primer lunes de cada mes
Limpieza a acrílicos de esmeriles de máquinas de soldar y de máquinas.	Primer lunes de cada mes
<b>Decalaminado</b>	
Dar limpieza al interior de máquina decalaminadora y a la salida donde están las protecciones de alambre. Retirar, recoger o limpiar elementos que se encuentren ubicados dentro o entre este espacio.	Primer lunes de cada mes
Realizar limpieza del canal y del interior de banda transportadora	Cada 3er martes de cada mes
<b>Paso 1, Paso 2 y Paso 3</b>	
Realizar limpieza debajo de la máquina, retirando las tapas laterales y retirando la suciedad con la ayuda de la aspiradora.	Cada 3er martes de cada mes

Realizar la limpieza de cañerías debajo de la máquina. El encargado de la limpieza debe usar pala, carretilla y el traje protector desechable. Detiene la máquina, realiza la limpieza debajo de la máquina y en sistema de enfriamiento retirando tapas del suelo, de manera que se retire el lodo.	6 meses
<b>Recogedor, cama de carrete y volteadora</b>	
Limpiar dentro de recogedor, dentro de cama de carrete y volteadora, incluye esquinas.	Cada 3er martes de cada mes

Tabla N.13.: Programa de limpieza.



Figura N.42.: Ayudas visuales para puntos de lubricación.



Figura N.43.: Ayuda visual sistema de enfriamiento.

## Controlar

Debido al corto período disponible en la empresa ABC, no se pudo llegar a aplicar esta fase. Sin embargo, se agregó planes de control que mantienen sostenibles en el tiempo las mejoras realizadas a cada oportunidad identificada a los planes de control que la empresa posee. Esto, también, es de utilidad para medir el rendimiento de las políticas implementadas en la empresa, el compromiso de los trabajadores y una posible evaluación o cambio para llegar a un nivel deseado. Con los planes de control aquí mostrados se destaca que:

- Check-list semanal: dentro del check-list semanal para el área productiva de trefilado A1 y en especial para la máquina MABC, se incluyó todas las nuevas políticas de mejora para reducir los tiempos de paros de producción. Incluye el aporte de los operarios de soporte a los del trefilado para los cambios de programa, así como la presencia diaria del equipo de limpieza al momento de la limpieza de máquina. Asimismo, las nuevas actividades del programa de mantenimiento autónomo del TPM, Además, de evidenciar el compromiso del personal en cuanto a orden y limpieza (ver Figura N.44.: Ítems añadidos al check-list semanal).
- Cartillas gemba TPM: se desarrolló cartillas de caminata gemba destinado a evaluar el programa TPM (ver Figura N.45.: Cartillas Gemba TPM) que van de la mano con cartillas de caminatas gemba que la empresa está acostumbrado a realizar mes a mes.

		CHECK LIST SEMANAL															SUBPROCESO: REFILADO			TREFILADO MABC		
DATOS INICIALES	Día	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			DOMINGO		
	Fecha	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Turno																					
	Grupo																					
	Operador que recibe el turno (Anotar iniciales)																					
ORDEN Y LIMPIEZA	Se revisó la cantidad y condiciones de lana de acero en decalaminadora?	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No
	Se realizó el check list de Inspección de herramientas y equipos?																					
	Se recibió apoyo/ayuda durante un cambio de programa, entredo o rotura?																					
	Se entregó la máquina funcionando en el cambio de turno?																					
	Se realizó un relevo a la hora del almuerzo?																					
	Se mantuvo la máquina encendida durante la limpieza?																					
	Se realizó el check list de Inspección de herramientas y equipos?																					
	Se recibió apoyo/ayuda durante un cambio de programa, entredo o rotura?																					
	Se entregó la máquina funcionando en el cambio de turno?																					
	Se realizó un relevo a la hora del almuerzo?																					

Figura N.44.: Ítems añadidos al check-list semanal.

**TPM**

Área: \_\_\_\_\_ Máquina: \_\_\_\_\_

Realizado por: \_\_\_\_\_

Prioridad 

A	B	C
1	2	3

Síntoma/Anomalia 

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----

Descripción de la anomalía

---

Causa raíz

Acción implementada 

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----

Descripción de la reparación

Inicio: dd/mm/aa Hora \_\_\_\_\_ Fin: dd/mm/aa Hora \_\_\_\_\_ Firma de técnico de MTTT \_\_\_\_\_

Área: Lugar donde se encuentra el equipo		
Máquina: Equipo en el que presenta la anomalía		
Prioridad		
A	Alto impacto en seguridad, calidad, operación o máquin	
B	Medio impacto en seguridad, calidad, operación o máquin	
C	Bajo impacto en seguridad, calidad, operación o máquin	
Síntoma/Anomalia		
1	Calentamiento	11 Ruido
2	Corrosión	12 Vibración
3	Desgaste	13 Fugas
4	Desalineación	14 Daño eléctrico
5	Fijación	15 Sensores
	6 Holgura	16 Sobre carga
	7 Lubricación	
	8 Roptura/grieta	
	9 Refrigeración	
	10 Contaminación/suciedad	
Causa raíz: Causa raíz que originó la anomalía		
Acción Implementada		
1	Alineación	11 Regulado
2	Balanceado	12 Limpiado
3	Conectado	13 Montado
4	Lubricado	14 Capacitado
5	Fijado/Ajustado	
	6 Acoplado	
	7 Reiniciado	
	8 Soldado	
	9 Reemplazado	
	10 Sellado	

Fuente: Elaboración propia.

Figura N.45.: Cartillas Gemba TPM

## CONCLUSIONES

Una vez finalizado este trabajo, todas sus aplicaciones y mejoras se concluye que:

- Se muestra que las aplicaciones mostradas son de provecho para aquellos profesionales que deseen mejorar el rendimiento de cualquier tipo de máquina. Además, la metodología DMAIC es apropiada para cualquier tipo de proyecto de mejora.
- Los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad San Francisco de Quito, en especial aquellos relacionados a la manufactura esbelta fueron de gran utilidad para realizar este trabajo.
- Del problema identificado en la fase definir, se ha logrado superar la meta del rendimiento de indicador OEE del 30% a un resultado del mes de octubre del 35% que fue cuando se terminaron las validaciones de las mejoras.
- Luego de establecer la línea base que sirvió para comparar las mejoras de la fase implementación. Las soluciones aplicadas tuvieron un efecto del 40% en el incremento del indicador, o 10 puntos de diferencia. Mismo indicador que fue establecido en 25%
- Se estimó que las soluciones ahorraron en promedio 66 horas al mes que pueden ser aprovechadas en una producción de 254 Toneladas de alambre de hormigón armado o en \$32 000 de ingresos extras.
- Se concluye también que, de las implementaciones, la más efectiva fue el programa de limpieza de máquina y canal de limpieza con una mejora del 275%. En segundo lugar, está la implementación de la herramienta SMED con 88%. En tercer lugar, las políticas de cambio de turno con un 82%. Las mejoras para el desenhebrado tuvieron un rendimiento del 48%.
- Con la ayuda de los diferentes expertos del proceso y del mantenimiento de la máquina MABC se logró identificar características críticas que fueron mencionados en el pilar de mantenimiento autónomo del TPM.
- Después del robustecimiento de la metodología 5S's. Se logró un mayor orden y limpieza en el área, De un 60% a un 71%.
- Los indicadores son herramientas clave que permiten conocer la realidad y la situación de las operaciones, procesos, métodos, etc... Cualquier aspecto que no pueda ser medido debe ser desechado y buscar uno nuevo.

## LIMITACIONES

Las mejoras realizadas, durante el período de trabajo, en la empresa fue de seis meses lo cual puede llevar a un sesgo de las métricas en este trabajo expuesto, así como para brindar la adecuada sostenibilidad en el tiempo a lo implementado.

Principalmente, existen limitaciones del tipo humano en cuanto a la falta de compromiso y de motivación del grupo de trabajo que se desearía fuera lo contrario, y que otro trabajo en el área pueda mejorar esto.

A continuación, se exponen las limitaciones de cada oportunidad de mejora:

### Cambio de programa

- Falta de coordinación y/o compañero de soporte por decisión de Logística y Producción por prioridad en otras áreas en momentos de cambio de turno.
- Operadores inexpertos

### Cambio de turno

- Compañeros no entregan encendida la máquina y no hay seguimiento permanente del Jefe de Producción hasta que adquieran compromiso.

### Limpieza de máquina.

- Falta de coordinación con departamento de limpieza en hora de limpieza por prioridades diferentes.
- Decisiones gerenciales.
- Creación de mucha suciedad por órdenes especiales y duplicar la rutina diaria.

### Desenhebrado

- El operador debe conocer bien del proceso, no puede ser inexperto.

### TPM

- Que no se de seguimiento apropiado acerca del mantenimiento autónomo en el check-list semanal.

## RECOMENDACIONES

- La empresa debería brindar mayor seguimiento a sus procedimientos estándar de operación ya que son claves para generar resultados conformes a lo esperado.
- Sería ideal generar programas de motivación efectiva para influir en un trabajo más efectivo.
- Para procesos complicados como cambios de programa, tratado en este trabajo, se recomienda dar prioridad de otorgar, permanentemente, los recursos necesarios como el operador de soporte que se implementó en dicha mejora. Pues son actividades de alto impacto que pueden generar fácilmente lesiones músculo esqueléticas en los operadores. Además, debido al gran esfuerzo físico implementado en esta actividad como en la limpieza de la máquina, es un factor para desmotivar al personal y tener bajos niveles del rendimiento del indicador OEE.
- Implementar los demás pilares del TPM y generar campañas para una mejor aceptación del programa.
- Anualmente generar, programas de mejora continua efectivos para mantener las condiciones de las máquinas en perfecto estado.
- Actualizar y facilitar un verdadero seguimiento los formatos de seguimiento, control y auditorías anualmente debido a ítems que no aplican o que podrían ser mejor enfocados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abhishek, J., & Bhatti, H. (2015). OEE enhancement in SMEs through mobile maintenance: a TPM concept. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 32. Iss 5, pp. 504 – 516.
- Ahuja, I., & Khamba, J. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* Vol: 25, Issue 7 .709–56.
- Álvarez de Mon, S., & Cardona, P., & Chinchilla, M., & Miller, P., & Pérez, J., & Pin, J., & Poelmans, S., & Rodríguez ,C., & Rodríguez, J., & Torres, M. (2001). *Paradigmas del liderazgo*. Madrid: McGraw Hill.
- Anup, A. (2011). Minimization of rework in belt industry using DMAIC, *international journal of applied research in mechanical engineering*. Vol. 1, Issue 1, pp. 54.
- Arauzo, J. (2018). *Sistemas avanzados de producción. Enfoques de la gestión de la producción. OPE.* Extraído desde: [https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=240EO316/2016/1/55080/tr\\_sap2016\\_gestion\\_produccion-5727.pdf](https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=240EO316/2016/1/55080/tr_sap2016_gestion_produccion-5727.pdf)
- Alpízar, E. (2008). Capítulo 5: Mantenimiento. Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida, manual IV: operación, mantenimiento y control de calidad. Extraído desde: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual4/cap5.pdf>
- Azizi, A. (2015). Evaluation improvement of production productivity performance using statistical process control, overall equipment efficiency, and autonomous maintenance. *Procedia Manufacturing*, 186–190.
- BRADY. (2016). Guías para marcaje de piso. Extraído desde: [https://d37iyw84027v1q.cloudfront.net/common/floor\\_marking\\_guide\\_latina\\_america.pdf](https://d37iyw84027v1q.cloudfront.net/common/floor_marking_guide_latina_america.pdf)

- Cabrera, C. (2011). Lean six sigma TOC. Extraído el 13 de marzo desde: [https://books.google.com.ec/books?id=psDDitEx\\_gC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=psDDitEx_gC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Calles, P. (2019). Diseño del método SMED en un proceso de troquelado. Extraído desde: <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/34837/TFG-I-1053.pdf;jsessionid=4CEEC5AAB0BCCCD582143BA05458C543?sequence=1>
- Castañeria, J. (2015). Técnica de las 5S's. SGM. Extraído desde: <https://sgmspanish.wordpress.com/tag/5s/>
- Dadashnejad, A., & Valmohammadi, C. (2017). Investigating the effect of value stream mapping on overall equipments effectiveness: a case study. Total Quality Management & Business Excelente. Extraído el 12 de marzo desde: <https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1308821>
- Emeterio, J. (2011). Armaduras pasivas en las estructuras de hormigón. Extraído desde: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-3550-armaduras-pasivas-estructuras-hormigon.aspx>
- EUROLLS. (2014). Wire drawing. Extraído desde: <https://www.eurolls.com/en/main/products/wire-products>
- Fam, S., & Loh, S. L., & Haslinda, M., & Yanto, H., & Mei, L., & Khoo, S., ... Yong, Y. (2018). Overall equipment efficiency (OEE) enhancement in manufacture of electronic components & boards Industry through total productive maintenance practices, 05037, 4–8.
- Gerdau, A. (2000). Compendio de normas para productos de acero. Extraído desde: <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/dctos/normas.pdf>

- Greenland, S., & Senn, J., & Rothman, J., Poole, C., & Goodman, S., & Altman, D. (2016). Statistical tests, P value confidence intervals, and power: a guide to misinterpretations. Springer. Extraído desde: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4877414/>
- Griffin, A., & Hauser, J. (1993). The voice of the customer. *Marketing Science*. Vol. 12, No.1. Extraído desde: <https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/mksc.12.1.1>
- Herry, A., & Farida, F., & Luftia, N. (2018). Performance analysis of TPM implementation through overall equipment effectiveness (OEE) and six big losses. Indonesia: IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 453. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/453/1/012061>
- Inkpen, A. C. (2005). Learning through alliances: General motors and NUMMI. *California Management Review*, 47(4), 114–136.
- Jabnoun, N., & Sedrani, K. (2005). TQM, culture, and performance in UAE manufacturing firms. *The Quality Management Journal*, 12(4), 8–21.
- Kull, T. & Narasimhan, R. (2010). Quality Management and Cooperative Values: Investigation of Multilevel Influences on Workgroup Performance. Decision Sciences Institute.
- Kujala, J., & Lillrank, P. (2004). Total quality management as a cultural phenomenon. *The Quality Management Journal*, 11(4), 43–55.
- NEC-SE-HM. (2014). Norma Ecuatoriana para la Construcción. Extraído desde: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-HM-Hormigón-Armado.pdf>
- Lqbal, S., & Pison-Young, L. (2009). The Delphi Method. *The Psychologist*. Vol. 22. 598-601. Extraído desde: <https://thepsychologist.bps.org.uk/volume-22/edition-7/delphi-method>

- Quinta, M. (2014). Diseño de un sistema de control para motores de una trefiladora mediante sistema SCADA. *Jour.In.Tec.* Vol. 14. La Paz.
- Rami, H. F., & Adnan, M. (2010). Statistical process control tools: A practical guide for Jordanian industrial organizations. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Volume 4, Issue 6, 693-700.
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española*. 23a ed. Madrid, España.
- Saihong, T., & Tanching, N., & Weijian, C., & Kahpin, C. (2016). Case Study on Lean Manufacturing System Implementation in Batch Printing Industry Malaysia. 05002, 4–7. DOI: 10.1051/mateconf/20167005002
- Schroeder, R. G., & Linderman, K., & Zhang, D. L. (2005). Evolution of quality: First fifty issues of production and operations management. *Production and Operations Management*, 14(4), 468–481.
- Stevenson, W. (2018). *Operations management*. Thirteenth edition. New York, NY: McGraw-Hill Education.
- Sujová, E., & Čierna, H. (2018). Optimization and improvement of test processes on a production line. *Management Systems in Production Engineering*. Vol: 25. Issue 2. 88-92. Extraído desde: <https://doi.org/10.2478/mspe-2018-0014>
- Toledo, S. (2015). La mesa redonda como técnica de presentación en un evento científico. Extraído desde: <http://www.uvsfajardo.sld.cu/la-mesa-redonda-como-tecnica-de-presentacion-en-un-evento-cientifico>
- Vargas, M. (2016). Implementación del pilar mantenimiento autónomo. Extraído desde: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3162/3/VargasMonroyLisseth%20Camila2016.pdf>