

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

**Fecha de entrega:** 19 de junio del 2019

**Estudiante:** Emilio Pérez Adán

**Director:** Ing. Ivonne Angélica Castiblanco Jiménez

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

**Documentos anexos Copia digital del Trabajo de Grado (1)**

**Firma Director**

**Firma Estudiante**

**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA GENERAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO A TRAVÉS DE LA INTEGRACIÓN DE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*, *WORLD CLASS MANUFACTURING* Y *LEAN MANUFACTURING* APLICABLE EN PROCESOS DE TREFILADO DE ALAMBRÓN**

**CASO DE ESTUDIO: EMPRESA MEXICANA DEL SECTOR DEL ACERO**

**Emilio Pérez Adán**

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

**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA GENERAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO A TRAVÉS DE LA INTEGRACIÓN DE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*, *WORLD CLASS MANUFACTURING* Y *LEAN MANUFACTURING* APLICABLE EN PROCESOS DE TREFILADO DE ALAMBRON**

CASO DE ESTUDIO: EMPRESA MEXICANA DEL SECTOR DEL ACERO

**Emilio Pérez Adán**

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

Director

M. Sc. Ivonne Angélica Castiblanco Jiménez

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

# Agradecimientos

A dios, por darme la sabiduría para realizar de este trabajo.  
A mis padres, profesores y evaluadores por ser la guía en este camino y poder lograr esta meta.  
A mi hijo por ser el motivo principal para enfrentar este gran reto en mi vida.

Ing. Emilio Pérez Adán

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se presenta el diseño de una metodología integrada por diversas herramientas de *Reliability Centered Maintenance (RCM)*, *World Class Manufacturing (WCM)* y *Lean Manufacturing*, para generar un plan de mantenimiento aplicable en el procesos de trefilado de alambón, particularmente como caso de estudio en una empresa mexicana del sector del acero, dado que dicha empresa presentó altos índices de paros en sus equipos de producción en el periodo del 22/11/2016 al 31/01/18. Para llevar a cabo la integración de las herramientas se toma apoyo de la metodología del *Design Thinking* (Empatizar, Definir, Idear, Prototipar, Evaluar).

Con base en lo anterior, el desarrollo de la investigación se lleva a cabo en dos etapas. En la etapa 1 se muestran las fases: empatizar, definir e idear, en las cuales se describe el problema que enfrenta la empresa mexicana y se conocen las opiniones de 18 empresas colombianas del sector del acero, sobre los problemas que han enfrentado en sus procesos de producción. Posteriormente, se realiza una revisión de literatura sobre las metodologías mencionadas y con base en la información recolectada se hace un análisis seleccionando herramientas acordes al problema de la empresa mexicana y a los objetivos planteados en esta investigación.

La etapa 2 hace referencia a las fases prototipar y evaluar, en las cuales se integran las herramientas seleccionadas en las fases anteriores, con el propósito de estructurar la metodología que dará pie a la elaboración del plan de mantenimiento. La integración de herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, se llevará a cabo debido a que estas metodologías muestran un enfoque directo en el tema de estudio (mantenimiento), considerando al factor humano como elemento fundamental en su desarrollo. Adicionalmente, con estudios posteriores se espera que dicha metodología pueda ser aplicable en empresas de Colombia y otras empresas del mismo sector.

### Abstract

*In the present work of investigation presents the design of a methodology integrated by diverse tools of Reliability Centered Maintenance (RCM), World Class Manufacturing (WCM) and Lean Manufacturing, to generate a plan of applicable maintenance in the processes of wire drawing, particularly as a case study in a Mexican company in the steel sector, given that the company had high stoppage rates in its production equipment during the period from 11/22/2016 to 01/31/18. To carry out the integration of the tools, we take support from the Design Thinking methodology (Empathize, Define, Devise, Prototype, Evaluate).*

*Based on the above, the development of the research is carried out in two stages. Stage 1 shows the phases: empathize, define and devise, in which the problem faced by the Mexican company is described and the opinions of 18 Colombian companies in the steel sector are known about the problems that have been faced in its production processes. Subsequently, a review of the literature on the methodologies will be carried out based on the information collected and with an analysis selecting appropriate tools in the problem of the Mexican company and the objectives set out in this research.*

*Stage 2 refers to the prototyping and evaluation phases, in which the tools selected in the previous phases are integrated, with the purpose of structuring the information described in the maintenance plan. The integration of tools RCM, WCM and Lean Manufacturing, is a subject of these methodologies approach direct focus on the subject of study (maintenance), human factor as a fundamental element in its development. In addition, with subsequent studies it is expected that this information may be applied in companies in Colombia and other companies in the same sector.*

**Keywords:** *Maintenance plan, World Class Manufacturing, Reliability Centered Maintenance, Lean Manufacturing*

## ÍNDICE

1. Introducción.....	9
1.1 Problemática .....	10
1.2 Objetivo General.....	11
1.2.1 Objetivos específicos .....	11
1.3 Pregunta de Investigación .....	11
1.4 Alcance .....	11
1.5 Limitaciones.....	12
1.6 Marco Teórico.....	12
1.6.1 Mantenimiento.....	12
1.6.2 Plan de mantenimiento.....	12
1.6.3 Investigación cualitativa .....	12
1.6.4 RCM .....	12
1.6.4.1 Funciones.....	13
1.6.4.2 Fallas Funcionales .....	13
1.6.4.3 Modos de Falla.....	13
1.6.5 <i>Lean Manufacturing</i> .....	13
1.6.6 WCM .....	14
1.6.7 <i>Design Thinking</i> .....	15
1.6.7.1 Empatizar .....	15
1.6.7.2 Definir .....	15
1.6.7.3 Idear .....	15
1.6.7.4 Prototipar .....	15
1.6.7.5 Evaluar .....	15
1.7 Marco metodológico .....	15
1.7.1 Fase 1 Empatizar:.....	16
1.7.2 Fase 2 Definir .....	16
1.7.3 Fase 3 Idear .....	16
1.7.4 Fase 4 Prototipar.....	16
1.7.5 Fase 5 Evaluar .....	17
1.8 Resultados esperados .....	17
2. Marco Operativo.....	17
2.1 Análisis y selección de herramientas de <i>RCM</i> , <i>WCM</i> y <i>Lean Manufacturing</i> para la integración y diseño de una metodología.....	18
2.1.2 Revisión de literatura.....	18
2.2 Fase 1 Empatizar: Aplicación de encuestas a 18 empresas del sector del acero en Colombia y una empresa mexicana .....	24
2.2.1 Caso particular: proceso de trefilado de una empresa mexicana del sector del acero .....	27
2.2.2 Diagrama de Pareto de mantenimientos correctivos empresa mexicana .....	28
2.3 Fase 2 Definir: Definición del problema con enfoque directo considerando la revisión de literatura de <i>RCM</i> , <i>WCM</i> y <i>Lean Manufacturing</i> .....	29
2.3.1 Herramientas de <i>Lean Manufacturing</i> .....	29
2.3.2 Pilares técnicos de <i>WCM</i> .....	30

2.3.3 Matriz de correspondencia pilares de <i>WCM</i> y herramientas tradicionales .....	33
2.3.4 Herramientas de <i>RCM</i> .....	33
2.4 Fase 3 Idear: Selección de herramientas de <i>RCM</i> , <i>WCM</i> y <i>Lean Manufacturing</i> para el diseño de la metodología.....	34
2.4.1 Descripción de herramientas seleccionadas .....	38
2.4.2 herramientas de apoyo en solución a los problemas identificados .....	41
3. Diseño de un plan de mantenimiento para el proceso de trefilado de alambón a través de la integración de herramientas de <i>RCM</i> , <i>WCM</i> y <i>Lean Manufacturing</i> .....	42
3.2 Fase 4 Diseño de la metodología a través de la Integración de herramientas de <i>RCM</i> , <i>WCM</i> y <i>Lean Manufacturing</i> .....	42
3.2.1 Indicadores esperados: empresa mexicana y casos de estudio (revisión de literatura) .....	42
3.3 Fase 5. Plan de mantenimiento para el proceso de trefilado de alambón de una empresa mexicana .....	43
3.3.1 Metodología de plan de mantenimiento basada en <i>RCM</i> , <i>WCM</i> y <i>Lean Manufacturing</i> .....	43
3.3.2 Diagrama de relación de actividades de mantenimiento.....	45
3.3.4 Descripción de actividades de la metodología (punto de vista de la literatura) .....	45
3.4 Plan de mantenimiento para el proceso de trefilado de alambón. ....	46
3.4.1 Tareas de mantenimiento.....	46
3.4.2 Tareas de mantenimiento máquina BULL 2 .....	48
3.4.3 Recomendaciones.....	50
3.4.4 Descripción de llenado de formato de tareas de mantenimiento .....	51
3.5 Resultados y discusión .....	53
3.6 Bibliografía .....	53

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fase 1 basada en el Design Thinking.....	16
Tabla 2. Fase2 basada en el Design Thinking.....	16
Tabla 3. Fase 3 basada en el Design Thinking.....	16
Tabla 4. Fase 4 basada en el Design Thinking.....	17
Tabla 5. Fase 5 basada en el Design Thinking.....	17
Tabla 6. <i>WCM</i> en Fiat Group Automobiles .....	19
Tabla 7. Empresas líderes en la implementación de herramientas de <i>Lean Manufacturing</i> en la ciudad de Medellín	19
Tabla 8. Empresas que han utilizado herramientas de <i>Lean Manufacturing</i> .....	20
Tabla 9. Cantidad de empresas que han implementado herramientas de <i>Lean Manufacturing</i> .....	21
Tabla 10. Relación de los pilares de TPM con <i>RCM</i> .....	22
Tabla 11. Características y objetivos de las metodologías de diseño .....	22
Tabla 12. Máquinas del área piloto de estudio y número de fallos. ....	28
Tabla 13. Clasificación de mantenimientos correctivos máquina BULL 2 .....	29
Tabla 14. Herramientas de <i>Lean Manufacturing</i> .....	30
Tabla 15. Pilares técnicos de <i>WCM</i> .....	30
Tabla 16. Herramientas tradicionales para llevar a cabo <i>WCM</i> .....	31
Tabla 17. Herramientas utilizadas en caso de ampliación de <i>RCM</i> .....	33
Tabla 18. Problemas e indicadores de casos de estudio: revisión de literatura .....	34
Tabla 19. Herramientas de <i>RCM</i> , <i>WCM</i> y <i>Lean Manufacturing</i> .....	38
Tabla 20. Descripción de herramientas seleccionadas.....	39
Tabla 21. Métodos y herramientas utilizadas en la solución a los problemas en procesos de producción .....	41
Tabla 22. Indicadores esperados por la empresa mexicana vs indicadores esperados en casos de estudio (revisión de literatura) .....	42

Tabla 23. Necesidades de los procesos: empresa mexicana, empresas encuestadas y revisión de literatura. Casos de aplicación .....	43
Tabla 24. Descripción de herramientas acorde al plan de mantenimiento. ....	45
La tabla 25. Tareas de mantenimiento preventivo para equipos de trefilado de alambón de la empresa mexicana .	47
Tabla 26. Tareas de mantenimiento mecánico: Máquina BULL 2 .....	48
Tabla 27. Tareas de mantenimiento eléctrico: Máquina BULL 2 .....	49
Tabla 28 Descripción del rol de trabajo.....	50
Tabla 29. Formato de tareas de mantenimiento. ....	50

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Empresas que han implementado herramientas de Lean Manufacturing .....	20
Figura 2. Herramientas de Lean Manufacturing utilizadas por empresa. ....	21
Figura 3. Aspectos importantes fase 1.....	24
Figura 4. Problemas relevantes que enfrentan las empresas encuestadas. ....	25
Figura 5. Conocimiento de las empresas sobre herramientas de mejora.....	25
Figura 6. Necesidad de implementar herramientas de mejora en los procesos. ....	25
Figura 7. Tipos de mantenimiento que desarrollan .....	26
Figura 8. Evaluación sobre la utilización de un software de mantenimiento.....	26
Figura 9. Opinión del factor humano sobre el diseño del plan de mantenimiento. ....	26
Figura 10. Evaluación de la aceptación del plan de mantenimiento. ....	27
Figura 11. Evaluación sobre la resistencia a la implementación del plan.....	27
Figura 12. Base de datos de fallas actual de la empresa mexicana .....	28
Figura 13. Diagrama de Pareto de mantenimientos correctivos máquina BULL2. ....	28
Figura 14. Aspectos importantes: Fase 2. ....	29
Figura 15. Relación pilares de WCM vs herramientas de operación utilizadas. ....	33
Figura 16. Aspectos importantes: Fase 3. ....	34
Figura 17. Relación de herramientas de Lean Manufacturin & problema de estudio .....	35
Figura 18. Relación de herramientas de WCM & problema de estudio .....	36
Figura 19. Relación de herramientas de RCM & problema de estudio .....	37
Figura 20. Aspectos importantes. Fase 4. ....	42
Figura 21. Aspectos importantes fase.....	43
Figura 22. Diagrama de objetivos esperados .....	44
Figura 23. Metodología basaba en herramientas de RCM, WCM y Lean Manufacturing.....	44
Figura 24. Relación entre actividades del plan de mantenimiento.....	45
Figura 25. Diagrama de flujo de actividades de mantenimiento .....	52



## 1. Introducción

En el entorno actual donde la competencia global entre las empresas es cada vez mayor y los niveles de exigencia en calidad son más estrictos por los mercados existentes, se considera necesaria la implementación de estrategias que permitan a las organizaciones mejorar los procesos productivos. Dentro de las estrategias utilizadas para la optimización de recursos se encuentra la metodología de *Lean Manufacturing*, la cual, a través de la identificación de desperdicios (tiempo, materiales, recorridos, etc) y actividades que no agregan valor, desarrolla una serie de técnicas que permiten la eliminación de dichos elementos mejorando la eficiencia del proceso (Castañeda, 2016). En este sentido Arrieta, Botero, Martínez & Jimena (2010) mencionan que actualmente gran parte de la industria manufacturera en el mundo, ha comenzado a aplicar *Lean Manufacturing* para el mejoramiento de sus operaciones y Colombia que no puede quedarse ajena a dichos cambios. Empresas tales como General Motors-Colmotores, Tetrapak, Unilever Andina y Siemens son ejemplos puntuales de líderes en la implementación de estas técnicas.

Por otra parte, los fabricantes en las industrias están comprometidos a proporcionar productos de calidad para permanecer en el mercado actual y enfrentar la fuerte presión competitiva en todo el mundo, produciendo a un costo mínimo.

Ante esta situación surge la necesidad de buscar nuevas alternativas para mejorar las operaciones de mantenimiento del proceso de trefilado de alambón de una empresa mexicana del sector del acero. Por tal motivo, en el presente trabajo de grado se realiza la selección e integración de herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, con el propósito de diseñar una metodología que permita generar un plan de mantenimiento particularmente para los equipos de producción del proceso de trefilado de la empresa mencionada. La selección de las herramientas se lleva a cabo considerando que estas metodologías muestran un enfoque directo en el tema de estudio (mantenimiento) y en el desarrollo del factor humano como elemento fundamental. Adicionalmente, se espera que dicha metodología con estudios posteriores sea aplicable en empresas colombianas y otras empresas del mismo sector.

Para el diseño de la metodología se toma apoyo del *Design Thinking* (Empatizar, Definir, Idear, Prototipar, Evaluar), debido a que este método de diseño se enfoca en el factor humano, conociendo sus necesidades y realidades e involucrándolos en el desarrollo para la generación de ideas y alternativas de solución a los problemas que se presentan (Ortega & Ceballos, 2015).

La estructura de esta investigación consta de tres secciones principales, la primera hace referencia al marco metodológico de las fases necesarias para el desarrollo de la investigación, las cuales están basadas en el *Design Thinking*. En la segunda y tercera etapa se muestra el marco operativo de las fases planteadas en el marco metodológico.

## 1.1 Problemática

En la actualidad, la mayoría de las empresas se encuentran inmersas en la enorme presión de entregar productos con calidad en el menor tiempo posible. Sin embargo, si dentro de sus procesos presentan problemas críticos en los equipos de producción, es difícil que puedan competir en el mercado actual (Ortiz, Vilchis, Alvarado, Báez & Raygoza, 2010). Por el contrario, mantener un equipo de producción en condiciones adecuadas (funcionando como el usuario lo desea dentro del contexto operacional), muestra efectos satisfactorios en la productividad. No obstante, para llevar a cabo ciertas actividades que ayuden a mantener el funcionamiento de los equipos de producción, se requiere de un enfoque sistémico en conjunto con el personal operativo, administrativo y de servicios, debido a que existen patrones de falla ante los cuales el personal de mantenimiento de las empresas no está familiarizado, lo que genera dificultad para gestionar y mantener un plan de mantenimiento que asegure la mayor disponibilidad de los equipos (Moubray, 2004a).

Con base en lo anterior, el presente trabajo se centra en el caso particular de una empresa mexicana del sector del acero dedicada al trefilado de alambón, debido a que en el periodo del 22/11/2016 al 31/01/18 presentó paros por averías en sus equipos de trefilado con un índice de 87.83% del total de maquinaria, además de que no cuenta con un plan de mantenimiento definido para sus equipos y no mantiene un control en la administración de las tareas de mantenimiento. Adicionalmente, se consideran las opiniones de 18 empresas que desarrollan diferentes procesos del acero en Colombia sobre los problemas que han enfrentado en el área de producción.

Una de las metodologías para indicar las tareas de mantenimiento a partir del análisis de modos de falla y probabilidad de ocurrencia es el *RCM*, en el cual se definen las funciones del equipo a partir de lo que el usuario quiere que haga según Moubray (2004a). La aplicación de dicha metodología en distintos sectores industriales ha mostrado resultados significativos, tal es el caso de una planta egipcia de proceso de vapor, la cual consta de una caldera de tubo de fuego, distribución de vapor, secadora, bomba de agua de alimentación y calentador de proceso; donde se obtuvieron como resultados: la reducción del tiempo entre las fallas y la probabilidad de fallas repentinas entre los equipos. Además, el costo laboral disminuyó de \$ 295,200 US /año a \$ 220,800 US /año (aproximadamente el 25.8% del costo total de mano de obra) para la planificación de mantenimiento preventivo propuesto. Adicionalmente, se generó un ahorro de aproximadamente el 80% en el costo total de tiempo de inactividad de los componentes de la planta de cogeneración en comparación con el mantenimiento actual. También se desarrollaron programas de repuestos propuestos para los componentes de la planta; mostrando que aproximadamente el 22.17% del costo anual de piezas de repuesto se guarda cuando se propone una planificación de mantenimiento preventivo y otro mantenimiento actual (Afeby, 2010).

Dado que el *RCM* muestra un enfoque sistemático para identificar tareas efectivas y eficientes de mantenimiento preventivo según Rausand & Vatn (2008). En *Lean Manufacturing*, una herramienta importante que ofrece un enfoque diferente del mantenimiento es el *Total Productive Maintenance (TPM)*, este enfoque se basa en involucrar los empleados a través de actividades con equipos pequeños, este tipo de mantenimiento proporciona una nueva dirección para la producción, es un sistema de mantenimiento de equipos a nivel de la empresa que puede soportar instalaciones de producción sofisticadas. El objetivo de *TPM* es cero desgloses y cero defectos de la mejora general de la empresa que se refleja en la operación del equipo, la reducción de costos e inventarios, y el aumento de la productividad del personal (Zambrano, Segura & González, 2017).

La participación del personal operativo es un factor importante en el desarrollo de actividades de mejora, por lo tanto, al igual que el *TPM* en *Lean Manufacturing*. El *Autonomous Maintenance (AM)* es un pilar que pertenece a la *WCM*, en el cual, a través de un programa de mantenimiento paso a paso, los operarios sistemáticamente entrenados realizan actividades de limpieza, inspecciones y ajustes menores diariamente con el fin de lograr los estándares de *WCM* (Borges, Abreu & Vaz, 2014; Yamashina, Stefan & Massone, 2013). Para el logro de dichos estándares se requiere la implementación de un conjunto de actividades coordinadas en: mejora de la calidad, seguridad en el trabajo, organización y gestión del trabajo, cooperación con los alrededores, servicios, gestión de recursos racionales, desarrollo de empleados y gestión de costos (Ortiz et al., 2010).

La relación clave entre *RCM*, *TPM* perteneciente a *Lean Manufacturing* y el pilar *AM* de *WCM*, estriba en que los principios de una organización y confiabilidad se combinan para garantizar una excelente operación y gestión del mantenimiento. La utilización conjunta de estas herramientas permiten alcanzar un manejo intensivo y exitoso de los instrumentos básicos y avanzados del mantenimiento, en especial del recurso humano (*TPM* y *AM*) y la metodología (*RCM*), según Mora (2009). Por tal motivo, resulta importante realizar combinaciones de herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* creando un enfoque sistémico para el desarrollo de planes de mantenimiento.

En el presente trabajo de investigación se desarrolla una serie de etapas basadas en el *Design Thinking* para diseñar una metodología a través de la integración de diversas herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, la cual permita generar un plan de mantenimiento para los equipos del proceso de trefilado de alambón de la empresa mexicana, esperando que dicha metodología con estudios posteriores sea aplicable además en otras empresas del mismo sector.

## 1.2 Objetivo General

Diseñar una metodología a través de la integración del *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* para generar un plan de mantenimiento aplicable en el proceso de trefilado de alambón.

### 1.2.1 Objetivos específicos

1. Identificar el problema o necesidad en el proceso de trefilado de alambón en una empresa mexicana del sector del acero.
2. Conocer la opinión de 18 empresas colombianas del sector del acero sobre los problemas que enfrentan en sus procesos de producción a través de la aplicación de encuestas.
3. Analizar y seleccionar herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* acordes al problema identificado.
4. Integrar herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* para el diseño de una metodología.
5. Elaborar un plan de mantenimiento para el proceso de trefilado de alambón de la empresa mexicana basado en la metodología propuesta.

## 1.3 Pregunta de Investigación

¿El diseño de una metodología integrada por herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, permitirá generar un plan de mantenimiento que contribuya a mitigar los tiempos improductivos por paros de los equipos y reducir los costos asociados de mantenimientos correctivos, mejorando el proceso de trefilado de alambón en una empresa mexicana?

## 1.4 Alcance

México produjo en 2017 un total de 20 millones de toneladas de acero crudo, logrando generar 1.19 millones o 6.33 por ciento por arriba de los 18.81 millones del año anterior, de acuerdo con un reporte de *Worldsteel Association*.. Nuevo León es el tercer mayor productor de acero en el país después de Michoacán y Coahuila, sin embargo, aquí se concentran los corporativos de las principales empresas acereras del país como Ternium, Deacero y recientemente Arcelor Mittal (Diario el financiero, 2018). Sin embargo, México registró en el 2018 una Producción anual: 20.2 millones de toneladas de acero crudo un posicionándose en el 14° Productor de acero del mundo (CANACERO, 2019).

La industria de acero en Colombia produjo en el 2018 1.2 millones de toneladas de aceros largos registrando un decrecimiento del 12% versus el 2017, dos de los principales productos acero para concreto y alambón que representan el 88% de la producción nacional experimentaron fuertes caídas del (-7%) y del (-26%) respectivamente. Las importaciones de aceros largos hacia Colombia durante el 2018 registraron un incremento significativo del 21%, para un total de las 951.584 toneladas, (equivalente a 167 mil toneladas adicionales frente al 2017). El acero para concreto el cual representa el 78% de la producción nacional registro un incremento en las importaciones del 28%. En Colombia durante el 2018 se registró un incremento significativo del 21%. Actualmente Colombia cuenta con una Industria Siderúrgica desde 1938 y hoy en día cuenta con 6 plantas de acería y 10 plantas de laminación en caliente para la producción de aceros largos. La producción de acero la realizan las 5 Siderúrgicas que representan el 100% de la producción nacional de aceros largos en el país, que son Acerías Paz del Río, Gerdau Diaco, Sidenal, Sidoc y Ternium. Esta producción está destinada principalmente al sector de la construcción e infraestructura y abastecen la mayor parte del mercado nacional (ANDI, 2018).

Considerando lo anterior y contribuyendo al desarrollo de los procesos de sector del acero, el alcance del presente proyecto se centra en mejorar el plan de mantenimiento en los equipos de producción proceso de trefilado de alambón de una empresa mexicana, a través de la integración de herramientas de mejora continua de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, considerando que la aplicación de dicha metodología con estudios posteriores pueda llevarse a cabo en empresas de Colombia y otras empresas del mismo sector; esto derivado de los convenios que existen entre México y otros países, entre los cuales se encuentra la alianza del pacífico, la cual busca la movilidad de estudiantes para el desarrollo de productos de investigación a través del intercambio específico entre instituciones.

## 1.5 Limitaciones

Al llevar a cabo una investigación o implementación de alguna nueva forma de trabajo en un cierto sistema productivo, existe una serie de limitaciones sobre el cumplimiento de algunos objetivos, lo que provoca un lento desarrollo de las actividades definidas en el proyecto. Para el caso de la mejora en el plan de mantenimiento de los equipos del área de trefilado de alambón, se mencionan algunas limitaciones.

- La empresa requiere resultados favorables en la implementación del plan a corto plazo.
- El personal de mantenimiento mantiene paradigmas sobre la aplicación del mantenimiento de forma tradicional y por lo tanto se resiste al cambio.
- Adaptación del personal técnico y de operación a la nueva forma de trabajo.

## 1.6 Marco Teórico

Como parte del contexto del tema de estudio se mencionan algunos conceptos y definiciones que se abordan durante el desarrollo: De acuerdo con Hernández, Fernández & Baptista (2010), se considera a la investigación como base del conocimiento científico, por lo que la presente investigación es de tipo cualitativa, ya que permitirá encontrar mecanismos o estrategias para el logro de un objetivo concreto tomando el mantenimiento como factor particular de estudio.

### 1.6.1 Mantenimiento

El mantenimiento según Mora (2009), es un conjunto de acciones que aseguran que los bienes físicos continúen cumpliendo las funciones que sus usuarios esperan. Lo que los usuarios quieren dependerá exactamente de donde y como el bien está siendo usado en el contexto operativo. Sin embargo Hung (2009) define al mantenimiento como: "El conjunto de acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema y/o equipo a su estado normal de operación para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorables y de acuerdo a las normas de seguridad integral.

Olarte, Botero & Cañón (2010) hacen referencia a la importancia que tiene la planificación del mantenimiento, dentro cualquier tipo de empresa que desee alcanzar niveles elevados de calidad y definen al mantenimiento industrial como, el conjunto de actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones, que conforman un proceso de producción permitiendo que éste alcance su máximo rendimiento, siendo el objetivo general del mantenimiento industrial el de planear, programar y controlar todas las actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de los equipos utilizados en los procesos de producción.

### 1.6.2 Plan de mantenimiento

Es un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programadas que se debe realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido (Garrido, 2010).

### 1.6.3 Investigación cualitativa

Las investigaciones cualitativas se fundamentan en un proceso inductivo (explorar, describir y luego generar perspectivas teóricas), van de lo particular a lo general. El enfoque se basa en métodos de recolección de datos no estandarizados. No se efectúa una medición numérica, por lo cual el análisis no es estadístico. La recolección de los datos consiste en obtener las perspectivas y puntos de vista de los participantes (sus emociones, experiencias, significados y otros aspectos subjetivos) (Hernández et al., 2010).

### 1.6.4 RCM

El *RCM*, es una metodología presentada para apoyar la toma de decisiones en la selección de los trabajos de mantenimiento basada en la aplicación de una secuencia de tareas (Barajas & Cruz, 2011). Es un proceso para determinar cuáles son las operaciones que se deben hacer para que un equipo o sistema continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, siempre y cuando ellas sean rentables para la empresa (Fernández, 2005).

El proceso de análisis de *RCM* se lleva a cabo como una secuencia de actividades (algunas se superponen en el tiempo) y debe responder adecuadamente las siguientes siete preguntas (Fernández, 2005; SAE, 2002).  
Cualquier proceso *RCM* debe responder satisfactoriamente a siete (7) preguntas en la secuencia indicada:

- 1- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional? (funciones)
- 2- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas necesidades? (fallas funcionales)
- 3- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? (modos de falla)
- 4- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? (efectos de falla)
- 5- ¿En qué sentido es importante la falla? (consecuencias de falla)
- 6- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla? (tareas proactivas)
- 7- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (tarea de búsqueda de fallas o rediseño).

La elección de la mejor estrategia de mantenimiento es uno de los principales puntos del *RCM*, siendo su objetivo reducir los recursos destinados al mantenimiento centrándose en las funciones más importantes del sistema y evitar o eliminar acciones de mantenimiento que no sean estrictamente necesarias en los procesos de producción (Barajas & Cruz, 2011).

### 1.6.4.1 Funciones

Según Moubray (2004a) lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer, estas se divide en dos categorías:

- 1.- Funciones Primarias: “La razón por la cual cualquier organización adquiere cualquier activo o sistema para que cumpla una función o funciones específicas”.
- 2.- Funciones Secundarias: “Reconocen qué se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, y hasta la apariencia del activo”.

### 1.6.4.2 Fallas Funcionales

Moubray (2004) define las fallas funcionales como “Es el estado en el cual el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable”

Falla Total: Estado de falla en el cual el activo pierde su función principal en su totalidad (negación del verbo).

Falla Parcial: Estado de falla en el cual el activo cumple con su función principal fuera de los parámetros de desempeño especificados. Para ello, deben también definirse los límites superior e inferior de desempeño del activo.

El mantenimiento cumple con sus objetivos cuando se adopta una política correcta de manejo de fallas. Previo a esto, debe identificarse qué fallas deben ocurrir. *El RCM* propone dos niveles:

1. Identificar las circunstancias que llevaron a la falla (modos de falla).
2. Identificar qué eventos pueden provocar que el activo falle (efectos y consecuencias de falla).

### 1.6.4.3 Modos de Falla

Según Moubray (2004) el modo de falla: “es un evento simple que causa una falla funcional”. El efecto de falla es lo que ocurre cuando se suscita cada modo de falla.

### 1.6.5 Lean Manufacturing

Es un conjunto de técnicas desarrolladas por la compañía Toyota partir del decenio de 1950 que sirven para mejorar y optimizar los procesos operativos de cualquier compañía industrial, independientemente de su tamaño, estas técnicas se están utilizando en la optimización de las operaciones de forma que se puedan obtener tiempos de reacción más cortos, mejor atención servicio al cliente, mejor calidad, costos más bajos, eliminación de cualquier actividad que no agregue valor al producto, servicio o proceso, eliminación de cualquier tipo de desperdicio (sobreproducción, retrasos, transporte, el proceso, inventarios, movimientos y calidad), mayor eficiencia del equipo, entre otros Arrieta, Domínguez, Echeverri & Gutiérrez (2011). *Lean Manufacturing* se apoya en una serie de herramientas como son: los sistemas kanban, el Mantenimiento Productivo Total (*TPM*), los sistemas Kaizen, las 5's, Seis Sigma, Poka Yoke, Jidokas, entre otros (Arrieta et al., 2011; Correa, 2007; Posada, Herrera & Martínez, 2010). Estas herramientas se describen a detalle en la sección del marco operativo.

## 1.6.6 WCM

Yamashina (2009) define *WCM* como el nivel de excelencia de todo el ciclo logístico productivo, que trata sobre las metodologías aplicadas y el desempeño alcanzado por las mejores organizaciones en todo el mundo.

Según Borges et al. (2014), *WCM* tomó los conceptos de:

- Mantenimiento productivo total (*TPM*)
- Control de Calidad Total (*TQC*)
- Ingeniería Industrial Total (*TIE*)
- Justo a tiempo (*JIT*).

Según Yamashina (2009), los empleados del nivel operativo están comprometidos con la filosofía y forman parte de uno de los pilares técnicos para el buen progreso de la unidad de fabricación. Para los 10 pilares que se describen a continuación se citan algunos autores que los han tomado y llevado a la práctica (Borges et al., 2014; Wrońska, 2016; Yamashina, 2009; Yamashina et al., 2009). El primer pilar, seguridad (*SF*), este pilar trabaja con la integridad física y psíquica del operador, reduciendo los actos y las condiciones inseguras, analizando y eliminando las causas, desarrollando una actitud preventiva, evitando accidentes o accidentes cercanos.

El segundo pilar Organización del lugar de trabajo y mantenimiento autónomo (*AM / WO*), mantenimiento y organización autónomos del lugar de trabajo. Este pilar se divide en otros dos pilares: el mantenimiento autónomo y la organización del trabajo. El pilar *AM* funciona con la eficiencia general del equipo. Los operadores que trabajan en este pilar desarrollan competencias para la mejora de productos, procesos y equipos, Yamashina (2010). La Organización del Lugar de Trabajo (*WO*) trabaja para mejorar la eficiencia y la productividad del sector productivo. Elimine las actividades sin valor agregado (*NVAA*, por sus siglas en inglés), Este pilar desarrolla mejoras para que cada herramienta esté en una posición cómoda para el operador.

El tercer pilar Mantenimiento Profesional (*PM*), trabaja para intentar reducir a cero el número de fallas de la máquina, actuando en el análisis de fallas, controlando y reduciendo las roturas para que no ocurran. Problemas de producción. Este pilar trabaja con el pilar de Mantenimiento Autónomo restaurando las condiciones básicas del equipo y planificando el mantenimiento preventivo Yamashina (2010). El cuarto pilar, control de calidad (*QC*). Según Borges et al., (2014), este pilar trabaja para garantizar la satisfacción del cliente, actuando sobre la conciencia de los operadores y la importancia de la calidad en la actividad de cada proceso y sus acciones. El quinto pilar, Logístico y de Servicio al Cliente (*CS & L*) tiene como objetivo garantizar el servicio al cliente con un menor tiempo de entrega y un menor costo. Este pilar trabaja en la reorganización de los procesos, lo que garantiza un flujo más bajo y mejor, reduce el inventario, la manipulación y el transporte de materiales, así como el trabajo con toda la cadena logística del cliente y el proveedor Yamashina (2010).

Para el sexto pilar, Gestión Temprana de Equipos (*EEM*), Yamashina (2010) menciona que este pilar trabaja para asegurar que al comprar nuevos equipos, la compañía debe comprar una máquina que sea igual o mayor que la que ya está instalada en la fábrica. Su función es aumentar el ciclo de vida de los equipos y desarrollar proyectos en conjunto con los pilares del *AM* y *PM* e integrar proveedores. El séptimo pilar Desarrollo de Personas (*PD*) según Yamashina (2010) le incumbe a este pilar desarrollar y motivar a las personas, reducir el error humano y trabajar junto con el pilar de seguridad para reducir los actos inseguros. Este pilar identifica y organiza la capacitación de las herramientas necesarias para que los grupos del proyecto desarrollen mejoras en los equipos. El octavo pilar Medio Ambiente (*ENV*) se basa en realizar mejoras en el entorno de la empresa, específicamente reduciendo el consumo de energía y el uso de energías alternativas, promoviendo la conciencia ambiental Yamashina (2010).

El pilar nueve se refiere a la Implementación de Costos (*CD*), para Yamashina (2010) este pilar es la brújula de *WCM*, ya que guía todos los demás pilares, siendo responsable de convertir todas las pérdidas con retrabajo, desecho, falta de material, tiempo de parada de la máquina en una unidad financiera, identificando el tipo de pérdida será atacado. Después de cada implementación de mejoras, este pilar evalúa los ahorros obtenidos.

Finalmente, la Mejora Enfocada (*FI*), este pilar funciona junto con el pilar de costos compartidos, que, una vez que se han identificado las pérdidas, el pilar de *FI* elige qué pilares recibirán la mayor atención de la gerencia y en la guía técnica sobre qué herramientas y metodologías se deben aplicar para un tipo particular de problema. Este pilar se refiere a la mejora enfocada porque no se limita a realizar una acción de contención, sino a investigar la causa raíz del problema y atacarlo para que no vuelva a ocurrir Yamashina (2010).

### **1.6.7 Design Thinking**

La metodología del *Design Thinking* empieza centrándose en las necesidades humanas y a partir de ahí, observa, crea prototipos y los prueba, consigue conectar conocimientos de diversas disciplinas (psicología, sociología, marketing, ingeniería, etcétera) para llegar a una solución humanamente deseable, técnicamente viable y económicamente rentable y proceso general de esta metodología consta de 5 fases (González, 2012; Ortega & Ceballos, 2015):

#### **1.6.7.1 Empatizar**

En este punto se construye empatía con el recurso humano de las organizaciones, para poder conocer mejor al usuario y centrar en el gran parte de la investigación a través de una serie de cuestionamientos. El proceso empezará entendiendo las necesidades de las partes interesadas, para ello se debe tomar el lugar de estas partes para generar soluciones de acuerdo con sus necesidades y realidades, ya que esta etapa del proceso se enfoca principalmente en las personas.

#### **1.6.7.2 Definir**

Con base en los resultados de la etapa anterior y tras haber filtrado la información obtenida, en esta etapa se define el problema existente que deba ser resuelto. Esta etapa se basa en seleccionar la información obtenida en la etapa de empatía y recopilar aquello realmente importante y para esto, se debe mirar detalladamente a los individuos captando y analizando sus comportamientos diarios.

#### **1.6.7.3 Idear**

En esta etapa se toma en cuenta el problema definido y la exploración de observaciones de los usuarios en la etapa empatizar. Ésta es la etapa de ideación y el objetivo es generar diversas opciones (ideas) impulsando el pensamiento colectivo del grupo y la participación de cada uno para construir ideas de solución al problema identificado, aprovechando de una mejor manera las distintas visiones de los integrantes del equipo de trabajo.

#### **1.6.7.4 Prototipar**

En esta etapa se plasman las ideas de forma que ayuden a visualizar problemas, detalles que mejorar y sus posibles soluciones. Es importante generar un prototipo físico o un elemento gráfico informativo que permita ver la relación entre los diferentes conceptos o realizar una comparación entre las diversas opciones de solución planteadas usando un lenguaje de comprensión sencillo para el equipo que llevará a cabo las actividades diarias.

#### **1.6.7.5 Evaluar**

En este paso se evaluarán los prototipos creados (esquemas, diagramas, etc.) generando retroalimentación (*feedback*) y opiniones de los mismos usuarios y partes involucradas, además, puede ser otra oportunidad para obtener empatía con las personas. Adicionalmente, en esta etapa se pueden identificar posibles fallos, refinar las soluciones y poder mejorarlas.

### **1.7 Marco metodológico**

En esta sección se presentan cinco fases basadas en el *Design Thinking* “Empatizar, Definir, Idear, Prototipar, Evaluar” (En el estado del arte se muestra un análisis de varias metodologías de diseño y se justifica el uso del *Design Thinking* como base para el desarrollo de esta investigación), con el propósito de diseñar una metodología que permita generar un plan de mantenimiento específicamente para el proceso de trefilado de alambón de un empresa mexicana del sector del acero, a través de la integración de herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, considerando que dicha metodología a través de estudios posteriores pueda ser aplicable en empresas colombianas y otras empresas del mismo sector.

### 1.7.1 Fase 1 Empatizar: Aplicación de encuestas a empresas del sector del acero en Colombia y una empresa mexicana del mismo sector.

En esta primera fase se describe el problema del proceso de trefilado de alambón de la empresa mexicana, se diseña una encuesta cualitativa y se aplica a 18 empresas colombianas del mismo sector, para identificar y conocer los principales problemas que han enfrentado en sus procesos de producción, el tipo de mantenimiento que desarrollan y el conocimiento que tienen sobre las metodologías *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, considerando las dificultades que pueda presentar el personal sobre la adaptación a una nueva forma de trabajo.

Algunas variables que se consideran en esta fase se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. Fase 1 basada en el Design Thinking

Aspectos de la fase 1		
Variables que analizar	Instrumentos de apoyo	Resultados
Empresas del sector del acero en Colombia y una empresa en mexicana del mismo sector.	Aplicación de encuestas cualitativas	Identificar el problema o necesidad en el proceso de trefilado de alambón en una empresa mexicana del sector del acero y de 18 empresas del mismo sector en Colombia.

Fuente: elaboración propia

### 1.7.2 Fase 2 Definir: Definición del problema con enfoque directo considerando la revisión de literatura de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*.

En esta fase se analiza la información obtenida de la fase 1 y se realiza una revisión de literatura sobre casos de aplicación de las metodologías *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* en diferentes sectores productivos. La tabla 2 muestra las variables y los instrumentos de apoyo, así como los resultados que se esperan en esta fase.

Tabla 2. Fase2 basada en el Design Thinking

Aspectos de la fase 2		
Variables que analizar	Instrumentos de apoyo	Resultados
Problemas y necesidades del proceso de trefilado de alambón y opiniones de las empresas encuestadas.	Resultados de aplicación de encuestas cualitativas. Revisión de literatura	Definición del problema con enfoque directo del proceso de trefilado de alambón de la empresa mexicana y revisión de resultados de empresas encuestadas

Fuente: elaboración propia

### 1.7.3 Fase 3 Idear: Selección de herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* para el diseño de la metodología.

En esta fase se realiza un análisis para la selección de herramientas de las metodologías *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, acorde problema definido en el proceso de trefilado de alambón de la empresa mexicana y la opinión de las empresas encuestadas, considerando el objetivo general y la pregunta de investigación planteada. Los resultados esperados en esta fase se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Fase 3 basada en el Design Thinking

Aspectos de la fase 3		
Variables que analizar	Instrumentos de apoyo	Resultados
Analizar cada una de las herramientas que integran las metodologías <i>RCM</i> , <i>WCM</i> y <i>Lean Manufacturing</i> seleccionando aquellas que contribuyan al mejoramiento del plan de mantenimiento del proceso de trefilado de alambón.	Cuadro comparativo de aplicación de las herramientas metodológicas en sectores industriales.	Selección adecuada de las herramientas de <i>RCM</i> , <i>WCM</i> y <i>Lean Manufacturing</i> para la integración y diseño de la metodología que dará pie a la generación de un plan de mantenimiento.

Fuente: elaboración propia

### 1.7.4 Fase 4 Prototipar: Diseño de la metodología a través de la Integración de herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*

De acuerdo con González (2012) en la fase 4 del proceso de *Design Thinking*, prototipar “es la generación de elementos informativos como dibujos, diagramas, objetos, (...), con los que se pretende responder las inquietudes que nos acercan a la solución final”. En esta fase se integran las herramientas seleccionadas para el diseño de la



metodología, generando prototipos que permitan llevar a cabo correctamente las actividades o tareas de mantenimiento, específicamente en el proceso de trefilado; tales prototipos en esta investigación son considerados como diagramas o esquemas. La tabla 4 muestra los resultados esperados en esta fase, así como las variables a analizar.

Tabla 4. Fase 4 basada en el Design Thinking

Variables que analizar	Aspectos de la fase 4	
	Instrumentos de apoyo	Resultados
Análisis e integración de herramientas seleccionadas considerando factores negativos que influyan en el correcto desempeño de los procesos y/o equipos de producción.	Herramientas de <i>RCM</i> , <i>WCM</i> y <i>Lean Manufacturing</i> .	Una metodología a través de la integración de <i>RCM</i> , <i>WCM</i> y <i>Lean Manufacturing</i> para generar un plan de mantenimiento aplicable en procesos de trefilado de alambón particularmente para la empresa mexicana del sector del acero.

Fuente: elaboración propia

### 1.7.5 Fase 5 Evaluar: Plan de mantenimiento para el proceso de trefilado de alambón de una empresa mexicana

En esta fase, como evaluación de la metodología propuesta, se generará un plan de mantenimiento aplicable en el proceso de trefilado de alambón de una empresa mexicana del sector del acero, la cual se ha tomado como caso de estudio, solicitando opiniones sobre la pertinencia del plan generado. En la tabla 5 se observan los resultados esperados en esta fase de la metodología propuesta.

Tabla 5. Fase 5 basada en el Design Thinking

Variables que analizar	Aspectos de la fase 5	
	Instrumentos de apoyo	Resultados
Evaluación de la metodología propuesta a través de la generación de un plan de mantenimiento aplicable en el proceso de trefilado de alambón en una empresa mexicana del sector del acero.	Metodología diseñada a través Integración de herramientas de <i>RCM</i> , <i>WCM</i> y <i>Lean Manufacturing</i>	Plan de mantenimiento aplicable en el proceso de trefilado de alambón en una empresa del sector del acero en México.

Fuente: elaboración propia

## 1.8 Resultados esperados

- 1) Integración de herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* para el diseño de una metodología que permita generar un plan de mantenimiento aplicable en el proceso de trefilado de alambón de una empresa del sector del acero en México.
- 2) Diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología diseñada como prueba piloto para el proceso de trefilado de alambón en una empresa del sector del acero en México.

## 2. Marco Operativo

En la primera etapa (2.1) de esta sección, se muestra el desarrollo de las tres primeras fases de la metodología propuesta, en las cuales se describe el problema que enfrenta la empresa mexicana y se analizan las opiniones de 18 empresas colombianas del sector del acero, sobre los problemas que han enfrentado en sus procesos de producción a través de la aplicación de encuestas. Posteriormente, se realiza una revisión de literatura sobre las metodologías *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* y con base en la información recolectada se hace un análisis seleccionando herramientas acordes al problema de la empresa mexicana y a los objetivos planteados en esta investigación.

## 2.1 Análisis y selección de herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* para la integración y diseño de una metodología.

### Caso de estudio: empresa mexicana del sector del acero

En esta sección de la investigación se desarrollan tres fases basadas en el *Design Thinking* (Empatizar, Definir, Idear). En la fase "Empatizar" se describe el problema que enfrenta la empresa mexicana y se conocen las opiniones de 18 empresas colombianas del sector del acero, sobre los problemas que han enfrentado en sus procesos de producción a través de la aplicación de encuestas. En la fase "Definir" se identifica el problema de las empresas encuestadas y se realiza una revisión de literatura sobre casos de aplicación de las metodologías *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* en diferentes sectores productivos. Por último, en la fase "Idear", se hace un análisis de la información recolectada en la fase anterior, seleccionando herramientas acordes al problema de la empresa mexicana y a los objetivos planteados en esta investigación.

Para el desarrollo de las fases mencionadas, se tomó como un caso de estudio particular al proceso de trefilado de alambro de una empresa mexicana del sector del acero, dado que esta empresa en el periodo del 22/11/2016 al 31/01/18 presentó paros por averías en los equipos de dicho proceso con un índice de 87.83% del total de maquinaria, además de que no cuenta con un plan de mantenimiento definido para sus equipos y no mantiene un control en la administración de las tareas de mantenimiento. Adicionalmente, se consideran las opiniones de 18 empresas que desarrollan diferentes procesos del acero en Colombia sobre los problemas que han enfrentado en el área de producción. En este sector del acero, el mantenimiento se ha desarrollado por personal que cuenta con experiencia en el área, esto ha ocasionado paradigmas al llevar a cabo procedimientos para mantener los equipos en condiciones funcionales (resistencia al cambio).

Ante esta situación, surge la necesidad de buscar nuevas alternativas para mejorar las operaciones de mantenimiento del proceso de trefilado de alambro de una empresa mexicana del sector del acero. Por tal motivo, en la presente investigación se realiza la selección e integración de herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, con el propósito de diseñar una metodología que permita generar un plan de mantenimiento, particularmente para los equipos de producción del proceso de trefilado de la empresa mencionada. La selección de las herramientas se lleva a cabo considerando que estas metodologías muestran un enfoque directo en el tema de estudio (mantenimiento) y desarrollo del factor humano como elemento fundamental. Adicionalmente, se espera que dicha metodología con estudios posteriores sea aplicable en empresas colombianas y otras empresas del mismo sector.

Para el diseño de la metodología se toma apoyo del *Design Thinking* (Empatizar, Definir, Idear, Prototipar, Evaluar), debido a que este método de diseño se enfoca en el factor humano, conociendo sus necesidades y realidades e involucrándolos en el desarrollo para la generación de ideas y alternativas de solución a los problemas que se presentan (Ortega et al., 2015; Center, 2015).

### 2.1.2 Revisión de literatura

A continuación se citan algunos de los trabajos que se han reportado sobre la aplicación de herramientas de *RCM*, *WCM*, y *Lean Manufacturing* en los diferentes procesos industriales.

Hung (2009) reporta las experiencias adquiridas en la aplicación de los principios y conceptos fundamentales del *RCM* como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en las unidades de generación que conforman la Planta Oscar Augusto Machado (OAM) de C. A. La Electricidad de Caracas. Tras un análisis de las fallas ocurridas en las unidades de generación en la Planta Oscar A. Machado (OAM) se determinó que alrededor del 81% de la muestra analizada se encontraban en los sistemas auxiliares. La distribución de estas fallas fue la siguiente: Alrededor del 36% en el sistema de gas combustible, 22% en el Sistema de Aire de instrumentación, 16% en el Sistema de Aceite Lubricante y 7% en el Sistema de Combustible líquido Gasoil.

Una aportación importante de la metodología *RCM* fue en la aplicación del Análisis Probabilista de Seguridad (APS) de alta potencia de la Central Nuclear de Embalse (CNE) destinada a optimizar el mantenimiento de la instalación, la cual se comenzó a trabajar a partir del año 2006, esta aplicación fue incluida en el Programa de Mantenimiento Orientado a la Seguridad de CNE y consiste en la implementación de la metodología *RCM* a varios sistemas de la instalación. El desarrollo del *RCM* para los primeros seis sistemas tecnológicos analizados en CNE muestra un importante impacto de esta aplicación sobre la política de mantenimiento preventivo y predictivo, actualmente aplicada a estos. Los resultados se enfocan a la redacción o modificación de planillas de inspección, priorización de repuestos, reorientación de técnicas de diagnóstico y modificación de frecuencias y de duración de las acciones de mantenimiento, lo que redundó en un importante ahorro de horas hombre destinadas a este frente (Torres & Perdomo, 2010).

Sin embargo, el establecimiento de programas de mantenimiento demanda un mayor compromiso para el cumplimiento de los cambios en los sistemas productivos, así como el desarrollo de diferentes herramientas que lo apoyen (Olarte, et al., 2010). El RCM, es una metodología presentada para apoyar la toma de decisiones en la selección de los trabajos de mantenimiento basada en la aplicación de una secuencia de tareas. La elección de la mejor estrategia de mantenimiento es uno de los principales puntos del RCM, siendo su objetivo reducir los recursos destinados al mantenimiento centrándose en las funciones más importantes del sistema y evitar o eliminar acciones de mantenimiento que no sean estrictamente necesarias en los procesos de producción (Barajas, et al., 2011).

Por otra parte, para el fortalecimiento de dichos procesos algunas empresas han adoptado técnicas de mejora continua como WCM en sus áreas de operaciones, tal es el caso de *Fiat Group Automobiles* en el sector automotriz, en el cual se ha desarrollado una declaración de filosofía corporativa o misión a la cual los objetivos operativos están estrechamente vinculados. Para *Fiat Group Automobiles*, WCM es un sistema estructurado e integrado que abarca todos los procesos de la planta, el entorno de seguridad, desde el mantenimiento hasta la logística y la calidad (De Felicie, Petrillo & Monfreda, 2013).

Las diversas aplicaciones que ha tenido WCM en el sector industrial han seguido el objetivo de mejorar continuamente el rendimiento de la producción. En la tabla 6 se muestra un programa de WCM realizado por el Prof. Hajime Yamashina en *Fiat Group Automobiles* desde el 2005 involucrando métodos acordes a los procesos que desempeña la empresa (Yamashina et al., 2013).

Tabla 6. WCM en Fiat Group Automobiles

WCM WORLD CLASS MANUFACTURING			
TQM Control Total de la Calidad			
METODOS	ATENCION	OBJETIVOS	VALORES
TIE Ingeniería Industrial Total	Productividad	Cero Desperdicios	Participación de personas,
TQC Control Total de la Calidad	Mejora de la Calidad	Cero Defectos	creación de valor
TPM Mantenimiento Productivo Total	Eficiencia Técnica	Cero averías	y satisfacción del cliente
JIT Justo a Tiempo	Nivel de Servicio	Cero Existencias	

Fuente: Programa de WCM en *Fiat Group Automobiles*, Yamashina 2013.

Los programas de WCM y *Lean Manufacturing* tienen varios enfoques comunes, uno de ellos es mejorar la eficiencia en los procesos industriales y garantizar la fabricación de productos de calidad, eliminando los desperdicios y pérdidas mediante el compromiso y participación de todos los niveles de la organización en la aplicación de actividades de mejora (Yamashina et al., 2013). Ambas metodologías constan de diferentes herramientas y pilares; para el caso de WCM tanto Borges et al., (2014) como Poor, Kocisko & Krehel, (2016), describen los 10 pilares según Yamashina en el siguiente orden: Seguridad (SF), Mantenimiento Autónomo (AM) y Organización del Puesto de Trabajo (WO), Mantenimiento Profesional (PM), Control de Calidad (QC), Servicio al Cliente y Logística (CS & L), Gestión Temprana de Equipos (EEM), Desarrollo de Personas (PD), Medio Ambiente (ENV), Despliegue de Costos (CD) y Mejora Enfocada (FI). Sin embargo, la presente investigación se enfoca en los pilares *autonomous maintenance (AM)* y *professional maintenance (PM)* de WCM, debido a que estos pilares están relacionados directamente con el mantenimiento y contribuyen al cumplimiento de los objetivos de este estudio.

Para el caso de *Lean Manufacturing*, esta metodología consiste en la aplicación sistemática y habitual de diferentes herramientas para el mejoramiento de los procesos productivos (Arrieta et al., 2010).

Por ejemplo, en la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos de un estudio realizado a 15 empresas líderes en la implementación de herramientas de *Lean Manufacturing* en la ciudad de Medellín, Colombia; entre las cuales se encuentra el *Total Productive Maintenance (TPM)*.

Tabla 7. Empresas líderes en la implementación de herramientas de Lean Manufacturing en la ciudad de Medellín

EMPRESA	HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING							
	5s	Kaizen	TPM	Fábrica Visuz	Kanban	Poka Yok	SMEI	SixSigma
Electro (...) Gama	*	*	*	*		*	*	*
Sofasa	*	*	*	*	*	*	*	
Vestimundo	*			*		*	*	
Grupo Mundial								*
Colcafe	*		*					

Cía. (...) Chocolates	*		*	*		
New Stetic			*			
Noel	*		*	*		
Zenu	*		*	*		
Incolmotos	*		*	*		*
Grival			*	*	*	*
Forsa S.A.			*		*	
Cervecería Unión	*	*		*		
Grupo Corona	*	*	*			*
Procter y Gamble			*	*		

Fuente: adaptado de P. J. G. Arrieta et al. (2010)

Además, Arrieta et al., (2010) menciona que el Grupo Empresarial Antioqueño (GEA), se interesó en la filosofía *TPM* como base de mejoramiento permanente de sus procesos, así como la ensambladora de automóviles Sofasa Renault, empresa que ha utilizado desde 1991 diversas herramientas de mejoramiento tales como *SMED*, *5s* y *TPM*, logrando el empoderamiento de todo el personal especialmente de sus empleados de planta, en la búsqueda de la mejora continua de sus procesos.

Con base el estudio realizado por Arrieta et al., (2010) a 15 empresas en Colombia, se observa que las herramientas que más han utilizado dichas empresas son las *5s*, *TPM* y *Fabrica Visual*; de las cuales, *Electroporcelanas Gama* y *Sofasa* son las empresas que implementaron el mayor número de herramientas de *Lean Manufacturing* para la mejora de sus procesos (ver figura 1). La tabla 8 muestra un resumen de las empresas del caso de estudio mencionado y el número de herramientas utilizadas para la mejora de los procesos.

Tabla 8. Empresas que han utilizado herramientas de *Lean Manufacturing*

Electroporcelanas Gama	Sofasa	Vestimundo	Grupo mundial	Colcafe	Cía. Nac. de Chocolates	New Stetic	Noel
11	11	7	2	2	4	1	4
Zenu	Incolmotos	Grival	Forsa S.A.	Cervecería Unión	Grupo Corona		Procter & Gamble
4	6	7	3	4	5		3

Fuente: adaptado de P. J. G. Arrieta et al. (2010)

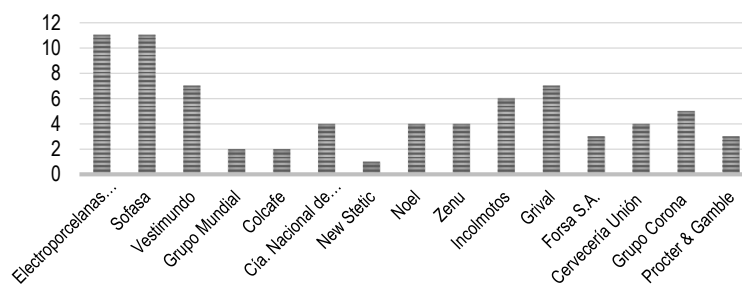


Figura 1. Empresas que han implementado herramientas de *Lean Manufacturing*

Fuente: elaboración propia

En la figura 1 se observa que las empresas *Electroporcelanas Gama* y *Sofasa* implementaron 11 herramientas de *Lean Manufacturing*, entre ellas el *TPM*, posteriormente *Vestimundo* y *Grival* han hecho uso de 7 herramientas para la mejora de sus procesos, es importante notar que todas las empresas han llevado a cabo la aplicación simultanea o combinación de varias herramientas para favorecer y mejorar los resultados.

En la tabla 9 se muestra una clasificación del tipo de herramientas implementadas por las empresas del caso de estudio mencionado, y se puede ver en la figura 2, que 12 empresas han implementado el *TPM* como herramienta de mejora en sus procesos, seguido de la metodología de las *5s* y *Fábrica Visual*.

Tabla 9. Cantidad de empresas que han implementado herramientas de Lean Manufacturing

5s	Kaizen	TPM	Fábrica Visual	Kanban	Poka Yoke	SMED	Six Sigma
10	4	12	10	3	3	4	4

Fuente: adaptado de Arrieta et al., (2010)

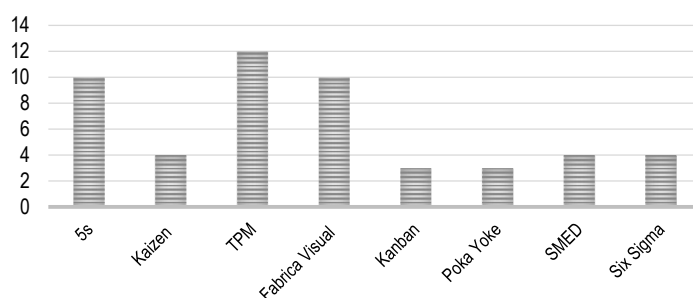


Figura 2. Herramientas de Lean Manufacturing utilizadas por empresa.

Fuente: elaboración propia

Considerando las herramientas de *Lean Manufacturing* como base de la mejora continua, es de gran importancia mencionar al *TPM*, debido a que es un sistema donde cada uno de los elementos contribuye a la búsqueda de la perfección de las operaciones de la planta, a través de acciones ordenadas que permiten eliminar pérdidas en los sistemas productivos. Esta herramienta enfocada a eliminar los tiempos muertos de la maquinaria consiste de siete pasos en el siguiente orden: limpieza básica de maquinaria o equipo, prevención de fuente de contaminación, estándares de limpieza y preparación, capacitación para reparaciones independientes por operadores, reparación independiente por operadores, estándares para asegurar procesos, uso del *AM* (González, 2007).

Inmerso en el sistema *TPM*, se encuentra el *AM* como un pilar fundamental; es el modo principal con el que el departamento de producción participa para mejorar el proceso de producción de la empresa, los pasos que conforman el *AM* se mencionan en el siguiente orden: la limpieza e inspección inicial, medidas contra las fuentes de contaminación, estándares iniciales, inspección general, inspección autónoma, desarrollo de estándares (organización y limpieza del área de trabajo), aplicación completa del sistema de *AM*, estas actividades realizadas por los operarios sistemáticamente entrenados a través de un programa paso a paso (Yamashina et al., 2013).

De la misma forma que el *AM*, el *PM* es un pilar importante de la *WCM* ya que este tipo de mantenimiento tiene como objetivo principal optimizar la confiabilidad de los sistemas de la unidad operativa a un costo accesible aumentando la calidad, mientras se reducen en gran medida los riesgos de accidente. Adicionalmente, el *PM* busca realizar actividades de mantenimiento planificado, así como desarrollar las habilidades de los operadores y los ingenieros de mantenimiento promoviendo actividades planificadas para reducir el número de paradas programadas para ejecutar el sistema de mantenimiento (Yamashina et al., 2013).

Los 7 pasos para el *PM* según (Yamashina et al., 2013) son: eliminación y prevención del deterioro acelerado, análisis de fallas, recuperación y reversión del deterioro, definición de estándares de mantenimiento, medidas que abordan los puntos de las máquinas y la extensión de la vida media de los componentes, construcción de un sistema de mantenimiento periódico (el cual tiene su fundamento en uno de los patrones de falla conocido como curva de la bañera), construcción de un sistema de mantenimiento predictivo (gestión de tendencias), gestión de costos de mantenimiento y construcción del sistema de mantenimiento planificado.

Para la reducción de costos y aumento de la fiabilidad de los equipos ha sido importante generar combinaciones de herramientas metodológicas, un ejemplo de esto es la combinación *RCM* y *TPM* la cual tiene la ventaja de mejorar el proceso para facilitar el trabajo en equipo entre mantenimiento y las funciones de producción, mejorar la fiabilidad de las máquinas y por ende reducir costos de operación, ambas tácticas son complementarias, pues mientras el *TPM* mejora la productividad, el *RCM* aumenta la confiabilidad y la competitividad (Mora 2009). Algunas ideas sobre la relación los pilares del *TPM* y con el *RCM* se observan en la tabla 10:

Tabla 10. Relación de los pilares de TPM con RCM

TPM	RCM
El TPM trata de restaurar el equipo a una condición parecida a la nueva y ayuda a reducir al mínimo las fallas que ocurren en la etapa de mortalidad infantil, durante la instalación y puesta en marcha y el cuidado básico del operador.	El RCM erradica o controla las fallas
El TPM contribuye a la participación del operador en el mantenimiento del equipo	en ocasiones el operador requiere apoyo de especialistas, quienes usan los principios de RCM para el análisis de los modos de fallas y sus efectos
El TPM procura mejorar la eficacia y la eficiencia del mantenimiento.	El RCM de la misma forma procura mejorar el funcionamiento de los equipos.
El TPM requiere que las personas se entrenen para mejorar sus habilidades de trabajo.	El RCM ayuda a identificar las fallas del personal e indica las áreas que requieren entrenamiento.
El TPM usa el control y la prevención del mantenimiento.	Esto es inherente en el RCM que se encarga de identificar y evitar los modos de falla.
El TPM intensifica el uso del mantenimiento preventivo	El RCM lo complementa al utilizar intensamente el predictivo.

Fuente: Mora (2009)

Sin embargo, para Martins & Laugeni (2005), el *TPM* es mucho más que un simple mantenimiento. Es una filosofía gerencial que actúa en la forma de actuar en una organización, en el comportamiento de las personas y en los problemas relacionados con el proceso productivo. El objetivo de *TPM* es lograr una ruptura o fracaso cero, con tres principios fundamentales:

- Mejora de las personas, ya que cada programa comienza con la capacitación.
- Mejora de los equipos, ya que todos los equipos deben mejorarse para obtener grandes ganancias en productividad.
- Calidad total, ya que la creación de un programa *TPM* debe ir de la mano con un *TQC*.

Con base en la revisión de literatura de las diversas aplicaciones de las metodologías *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* en los diferentes sectores productivos se observa que estas generan un gran impacto en la mejora de los procesos y equipos de producción, así como el involucramiento del personal de operaciones en las actividades de mantenimiento. Sin embargo, se considera que para adecuada ejecución de una herramienta de mejora es necesario tomar como base un plan de mantenimiento estructurado para la realización de tareas o actividades para el logro de los objetivos de las organizaciones.

Por tal motivo, en esta investigación se pretende diseñar una metodología a través de la integración de las diversas herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, la cual permita generar un plan de mantenimiento para la empresa mexicana. Un paso importante para llevar a cabo lo anterior, fue hacer un análisis de diferentes metodologías de diseño tales como Ulrich, Schnarch, APQP, *Design Thinking (Stanford)* y Hoshin Kanri, las cuales muestran procedimientos enfocados al diseño y desarrollo de productos. En la tabla 11 se observan las etapas y objetivos de estas metodologías de diseño, de acuerdo a la opinión de diversos autores.

Tabla 11. Características y objetivos de las metodologías de diseño

Metodología	Características	Etapas	Descripción de etapa	Aplicación	Autor
Karl T. Ulrich	Es uno de los métodos más completos. Divide las actividades a desarrollar entre los diferentes departamentos de la empresa (equipos de trabajo).	Planeación	Articular y definir segmentos de mercado. Considerar arquitectura de producto. Identificar restricciones del producto. Finanzas, investigación y administración.	Para la creación de cualquier tipo de producto en general.	(Gutiérrez & Camilo, 2009) (Ulrich, 2004)
		Desarrollo del concepto	Identificar necesidad del cliente. Identificar usuarios. Identificar productos. Desarrollo de conceptos de diseño. Construir y probar prototipos. Calcular costos y factibilidad de producción. Estudiar finanzas y patentes.		
		Diseño a nivel sistema	Desarrollar plan para opciones de producto. Generar arquitecturas alternativas del producto. Identificar proveedores, establecer costos. Analizar beneficio/costo de fabricar contra adquirir.		
		Diseño de detalles	Desarrollar plan de mercadotecnia. Definir geometría, materiales y documento de diseño industrial. Definir procesos de producción y comenzar abastecimiento de herramientas.		
		Prueba y refinamiento	Desarrollar materiales de producción y lanzamiento. Realizar pruebas de fiabilidad, duración, desempeño y aprobación legal. Facilitar el arranque del proveedor, depurar los procesos de fabricación y ensamble. Desarrollar plan de ventas.		
		Producción piloto	Realizar primera producción a disposición del cliente. Evaluar resultados. Comenzar la operación de todo el sistema de producción.		

<b>APQP (Advanced Product Quality Planning)</b>	Es un método estructurado para concretar y establecer los pasos necesarios para asegurar que el producto satisfaga al cliente.	Planear y definir el programa.	Esta fase describe como determinar las necesidades del cliente y sus expectativas, con la idea de que sean la base para definir los objetivos del diseño. Aquí será clave apoyarse en metodologías para escuchar la voz del cliente en forma adecuada.	Prevenir problemas de calidad y resolverlos antes de que el producto llegue al cliente.	(Pulido & Quirarte, 2007)
		Diseño y desarrollo del producto.	En esta etapa se establecen las características del producto y se desarrolla casi en su forma final. Asegurándose que se cumple con los requerimientos y expectativas del cliente (objetivos de diseño).		
		Diseño y desarrollo del proceso	Aquí se desarrolla un proceso que sea capaz de hacer con calidad el producto diseñado, junto con sus planes de control correspondientes.		
		Validación del producto y proceso	Esta etapa se centra en validar el producto y el proceso de manufactura, a través de corridas de producción de prueba y todas las actividades relacionadas. Aquí se pueden detectar requerimientos adicionales, que deben ser incorporados antes de iniciar producción.		
		Retroalimentación, evaluación y acción correctiva.	Aquí se evalúan todos los resultados respecto a causas comunes y especiales de variación, con la idea de reducir la variación. En esta etapa se conoce la efectividad de la aplicación de la planeación de la calidad del producto.		
<b>Hoshin Kanri</b>	Es un sistema gerencial que permite establecer, desplegar y controlar los objetivos de la alta dirección y los correspondientes medios para asegurar su logro en todos los niveles de la organización, basándose en el ciclo PHVA (Planear Y Hacer Y Verificar Y Actuar).	Establecer la visión de la organización	Los principales objetivos del método Hoshin son: a. Integrar a todo el personal de una organización hacia los objetivos clave utilizando medios indirectos en vez de presión directa, para crear un sentimiento de necesidad y convencimiento. b. Integrar todas las tareas, ya sean rutinarias o de mejora, en función de los objetivos clave de la organización para coordinar todos los esfuerzos y recursos. c. Realinear eficazmente los objetivos y actividades en función de los cambios de entorno.	Llevarla a la empresa al proceso de planificación estratégica, tanto de arriba hacia abajo como de abajo hacia arriba. Asegura que la dirección y los objetivos de la empresa se desarrollen racionalmente, estén bien definidos, se comuniquen claramente, se monitoreen y se adapten en función de los comentarios del sistema.	(Jolayemi, 2008) (Carranza & Pablo, 2018)
		Desarrollar plan a corto plazo			
		Desarrollar objetivos anuales			
		Desarrollar planes que incluyan objetivos medios			
		Implementación			
<b>Design Thinking</b>	Es una manera de resolver problemas reduciendo riesgos y aumentando las posibilidades de éxito.	Empatizar	Empieza con un profundo entendiendo de las necesidades de los usuarios involucrados. Observar: ver a los usuarios y su comportamiento en el contexto de sus vidas. Participar: interactuar y entrevistar usuarios. Sumergirse: experimentar lo que el usuario experimenta. Ir más allá de una simple observación, poniéndose en la medida de lo posible en la piel del usuario, siendo capaces de generar soluciones.	El <i>Design Thinking</i> va dirigido a: - Personas que quieran desarrollar sus habilidades creativas y pensar de un modo diferente. - organizaciones que necesiten descubrir técnicas para resolver problemas. - PYMES que se encuentran en momento de cambio y que necesitan un nuevo enfoque para realizarlo. - Emprendedores, innovadores que deseen crear, renovar o reflexionar sobre su modelo de negocio.	(Ortega & Ceballos, 2015) (Center, 2015)
		Definir	- Culminar un profundo entendimiento de los usuarios y el espacio de diseño. - Basándose en el entendimiento, elaborar un planteamiento del problema procesable: teniendo un punto de vista, visión para el diseño que se ha concebido basada en los descubrimientos durante el trabajo de Empatizar y esencial para encontrar soluciones más adelante.		
		Idear	En esta etapa se pretende generar un diseño radicalmente alternativo generando opciones de solución, es la transición entre la identificación del problema y la exploración de las soluciones para los usuarios.		
		Prototipar	Llevar las ideas y exploraciones desde el pensamiento de los miembros del equipo hasta el mundo físico. Los prototipos serán simples y rápidos, para permitir aprender sobre el proceso en poco tiempo e investigar muchas posibilidades diferentes. Los prototipos tienen más éxitos si el equipo puede experimentar e interactuar con ellos.		
		Evaluar (testear)	Es la oportunidad de tener <i>feedback</i> de las soluciones, refinarlas y hacerlas mejores y continuar aprendiendo sobre los usuarios.		

Fuente: elaboración propia

Con base en la literatura, la integración de las herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* para el diseño de la metodología estará basada en el *Design Thinking* (Empatizar, Definir, Idear, Prototipar, Evaluar), dado que este

método muestra un enfoque particular en el factor humano de las organizaciones, lo que permite al personal participar y generar alternativas de solución a problemas a través de aportación de ideas sobre sus necesidades; considerando adicionalmente, que el *Design Thinking* en la actualidad es uno de los métodos más utilizados por diseñadores para pensar y solucionar problemas en las empresas en Europa, Asia y Estados Unidos (Ortega & Ceballos, 2015; Center, 2015)

## 2.2 Fase 1 Empatizar: Aplicación de encuestas a 18 empresas del sector del acero en Colombia y una empresa mexicana.

El primer paso en esta fase, es conocer las opiniones de 18 empresas colombianas del sector del acero, sobre los problemas que han enfrentado en sus procesos de producción, el tipo de mantenimiento que desarrollan y el conocimiento que tienen sobre las metodologías *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, así como las dificultades que pueda presentar el personal sobre la adaptación a una nueva forma de trabajo, esto se lleva a cabo a través de la aplicación de una encuesta cualitativa (instrumento para la recolección de información).

Es preciso mencionar que las empresas encuestadas pertenecen al sector del acero pero no desarrollan un proceso de trefilado de alambón. Sin embargo, para la aplicación de dichas encuestas fue aceptable que desarrollaran un proceso de transformación y que dicho proceso pertenece al sector del acero.

Para llevar a cabo lo anterior fue necesario validar el instrumento de recolección de información. Se entiende por validez qué tan bien los datos recopilados cubren el objeto de investigación (Ghuri & Gronhaug, 2005). Por otra parte, Field (2005) indica que la validez significa "medir lo que se pretende medir". La literatura sugiere tener en cuenta los siguientes tipos de validez: (i) validez de contenido; (ii) validez aparente y validez de constructo (Alarcón, Aidé, Balderrama & Edel, 2017; Taherdoost, 2016).

La validez de contenido se refiere al "grado en que los elementos de un instrumento reflejan el universo de contenido al que se generalizará el instrumento" (Straub, Boudreau & Gefen, 2004). La literatura sugiere que una forma de llevar a cabo este tipo de validación, es a través del empleo de expertos (Taherdoost, 2016). Por lo tanto, la elaboración de las preguntas del instrumento o encuesta arriba referida se hizo con el apoyo de tres (3) expertos. El primero de ellos, un encargado de mantenimiento con 12 años de experiencia en el sector del acero. El segundo, un ingeniero industrial de origen mexicano y que en calidad de consultor empresarial tiene experiencia en mantenimiento y finalmente, un ingeniero electrónico, investigador y docente y con experiencia en el campo del mantenimiento industrial.

Luego se procedió a realizar la validez aparente. Al respecto, la literatura recomienda que este tipo de validez se lleve a cabo con el empleo del juicio de expertos (Alarcón, et al., 2017). Por lo tanto, la encuesta se hizo llegar a dos (2) expertos. El primero, un ingeniero de sistemas, consultor financiero y quien ha desarrollado proyectos donde ha tenido necesidad de realizar encuestas validadas en diversos sectores industriales. El segundo, un docente universitario de México, con experiencia en la formulación de proyectos industriales de diversa naturaleza. Posteriormente se procedió a incorporar en la encuesta los cambios de forma y de fondo que indicaron los dos (2) expertos anteriormente referidos.

Para llevar a cabo esta primera fase del marco metodológico, se consideran importantes los siguientes aspectos:

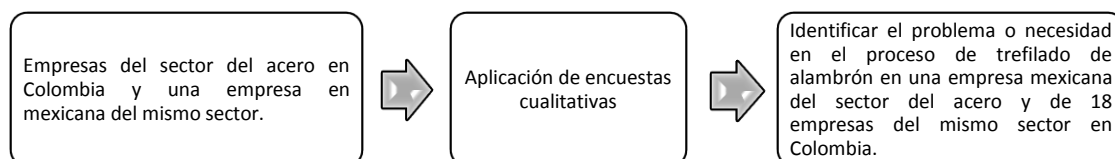


Figura 3. Aspectos importantes fase 1  
Fuente: elaboración propia

Para la aplicación de la encuesta a las empresas del sector acerero en Colombia se asistió a la feria internacional de Bogotá 2018, la cual se llevó a cabo en las instalaciones de Corferias Bogotá D.C. en las fechas del 24 al 28 de septiembre del 2018. Lo anterior se llevó a cabo a través del uso de *survey monkey*, (ver anexo 1) software especializado en la aplicación de encuestas. Los resultados obtenidos de la encuesta se muestran a continuación:

Atendiendo la primera fase de la metodología planteada, uno de los aspectos importantes que se considera en la pregunta 1 son los problemas que han experimentado las organizaciones encuestadas en sus diferentes áreas de producción, los resultados se observan en la figura 4.



1.- ¿Cuáles han sido los problemas que ha experimentado usted en su área de producción?

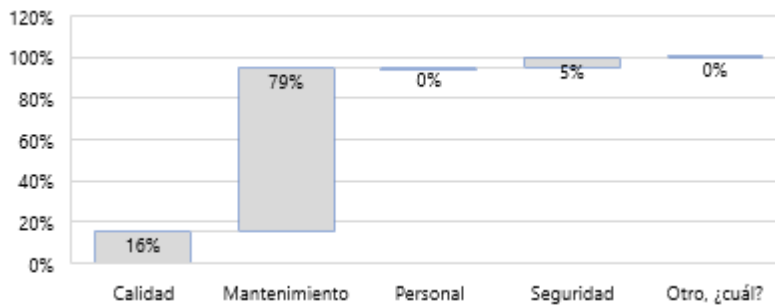


Figura 4. Problemas relevantes que enfrentan las empresas encuestadas.  
Fuente: elaboración propia

De las 18 empresas encuestadas el 79% ha enfrentado problemas en el mantenimiento de sus equipos de producción, sin embargo, el 16% mencionó que también existen problemas de calidad, lo que es posible considerar que el funcionamiento de los equipos de producción contribuye a la calidad de los productos.

Es notable en la figura 5, que un gran porcentaje de las empresas encuestadas no tienen conocimiento sobre herramientas de mejora, por lo que es un factor que se considera importante al desarrollar la metodología.

2.- ¿Conoce usted alguna herramienta para la mejora continua?

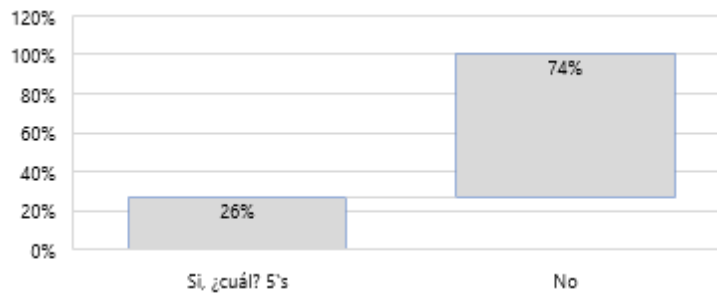


Figura 5. Conocimiento de las empresas sobre herramientas de mejora.  
Fuente: elaboración propia

El 26% mencionó que conocen y han implementado la metodología de las 5s y que ésta ha favorecido en algunos cambios en las áreas de trabajo, mientras que el 74% no tienen conocimiento alguno sobre metodologías de mejora continua.

Con base en la pregunta 2 se evalúa la necesidad de implementar herramientas de mejora para los procesos de producción de las empresas encuestadas, donde el 100% consideran muy necesario contar con planes de mejora continua, lo que reduciría el número de defectos en la producción y el índice de paros inesperados en los equipos, esto se puede observar en la figura 6.

3.- En qué medida considera usted necesario la implementación de herramientas de mejora en los procesos de producción?

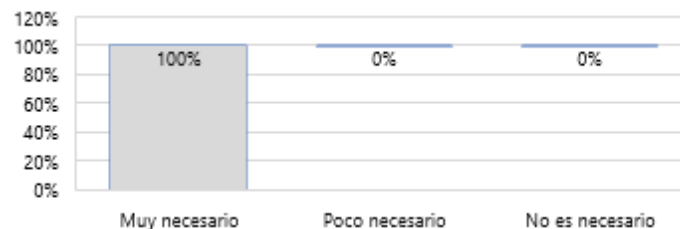


Figura 6. Necesidad de implementar herramientas de mejora en los procesos.  
Fuente: elaboración propia

Por otra parte, en la figura 7 se observa que el 89% de las empresas que se encuestaron realizan la combinación del mantenimiento preventivo y correctivo en sus equipos de producción, comentan que no ha sido posible desarrollar solo el mantenimiento preventivo, el 11% trabajan en la aplicación de este mantenimiento, sin embargo, argumentan que han enfrentado varias acciones correctivas.

4.- ¿Qué tipo de mantenimiento desarrollan en sus equipos de producción?

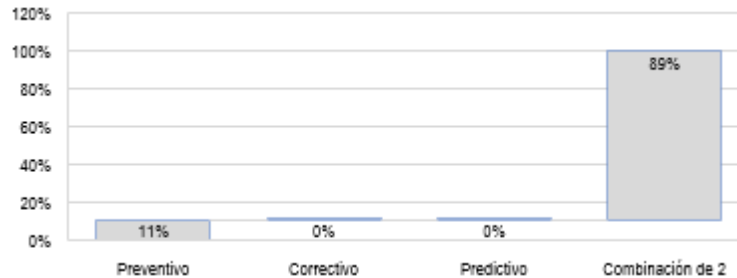


Figura 7. Tipos de mantenimiento que desarrollan

Fuente: elaboración propia

Para la gestión del mantenimiento es necesario el uso de algún paquete especializado o software para el control de tareas, repuestos, registros de mantenimiento, etc. Sin embargo, el 16% comentó que no utilizan un software específico para el mantenimiento, de la misma forma el resto argumentó que usan bases de datos como Excel y SAS para llevar a cabo los registros de los mantenimientos realizados, estos resultados se muestran en la figura 8.

5.- ¿Utilizan algún tipo de software para la gestión del mantenimiento?

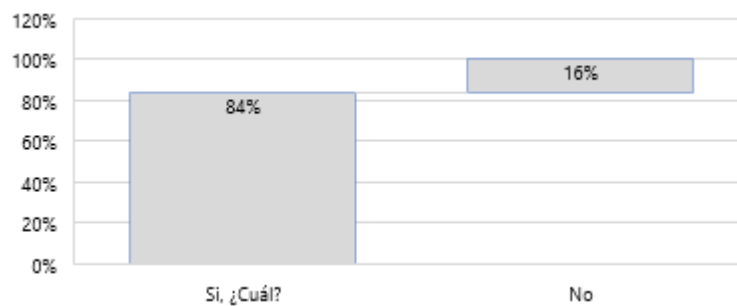


Figura 8. Evaluación sobre la utilización de un software de mantenimiento.

Fuente: elaboración propia

En la pregunta 6 se consideró la opinión del factor humano sobre el diseño de una metodología integrada por herramientas de mejora como: *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, donde el 21% mencionó que es una buena alternativa para la gestión del mantenimiento y reducir el número de fallos, el resto comentó que sería excelente adaptar una nueva metodología en el mantenimiento de los equipos. La figura 9 muestra la representación de estos resultados.

6.- ¿Cuál es su opinión acerca de un plan de mantenimiento diseñado a través de la integración de herramientas de mejora continua?

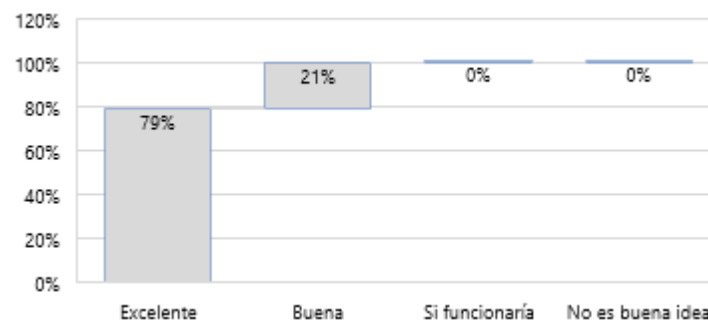


Figura 9. Opinión del factor humano sobre el diseño del plan de mantenimiento.

Fuente: elaboración propia

De la misma forma se evalúa la aceptación del plan de mantenimiento con la pregunta 7, así como la resistencia al cambio de la nueva forma de llevar a cabo las tareas de mantenimiento correspondiente a los equipos (pregunta 8), lo que les permitiría mejorar algunos indicadores de producción como: el número de fallos, tiempo de mantenimientos, asignación de tareas, entre otros, por lo que se observa en la figura 10 que el 95% de las empresas encuestadas estarían dispuestas a implementar un nuevo plan de mantenimiento y el 5% mencionó que tal vez acoplarían el plan con el programa de mantenimiento que actualmente están desarrollando.

7.- ¿Estaría usted de acuerdo en implementar un plan de mantenimiento para mejorar algunos indicadores en su proceso de producción?

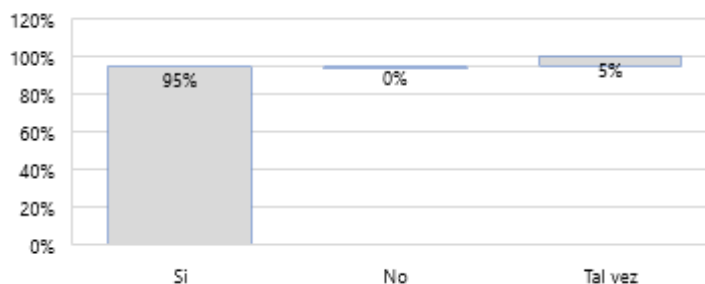


Figura 10. Evaluación de la aceptación del plan de mantenimiento.  
Fuente: elaboración propia

Para la llevar a cabo la implementación de acciones de mejora se requiere de un equipo de trabajo con enfoque sistémico, por lo que la resistencia al cambio es un aspecto importante para la implementación de un nuevo plan de mantenimiento. Considerando este factor, se realiza la siguiente interrogante a las personas encuestadas donde el 63% menciona que no habría resistencia a cambiar la forma de trabajo de mantenimiento, mientras que el resto comentó que habría resistencia pero apoyarían el cambio, los resultados se observan en la figura 11.

8.- ¿Cómo considera usted la resistencia al cambio de los empleados con respecto a la implementación de un nuevo plan de mantenimiento?

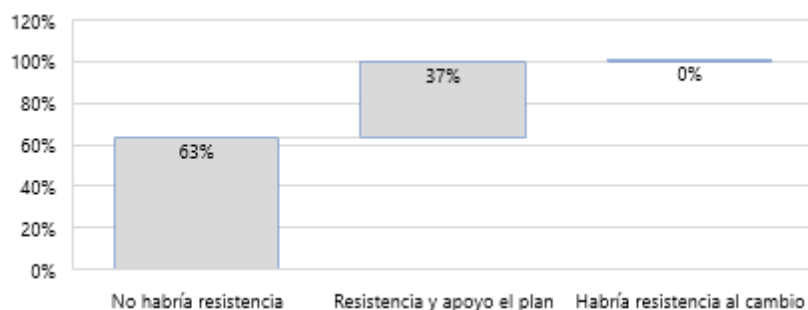


Figura 11. Evaluación sobre la resistencia a la implementación del plan.  
Fuente: elaboración propia

## 2.2.1 Caso particular: proceso de trefilado de una empresa mexicana del sector del acero

Para el caso de la empresa mexicana del sector del acero, se realiza un análisis partiendo de una base de datos sobre la frecuencia de fallas en los equipos de producción en el periodo del 22/11/2016 al 31/01/18. Actualmente la empresa cuenta con 74 máquinas diferentes para llevar a cabo sus procesos, sin embargo, se ha seleccionado un área piloto para el desarrollo del plan de mantenimiento siendo esta el área de trefilado de alambón.

Es preciso mencionar que para la realización de los distintos tipos de mantenimiento se cuenta con personal técnico y especializado en los diferentes trabajos, los cuales son asignados de forma aleatoria (cualquier técnico atiende cualquier tipo de falla), por lo que el tiempo de mantenimiento varía con respecto al técnico que atiende la falla. En la figura 12 se muestra la base datos que actualmente maneja la empresa para el registro y control de sus mantenimientos.

4630		REPORTE DE ORDENES DE TRABAJO						
Fecha	# OTM	Maquina	tipo de mnto	TRABAJO REALIZADO	Hora de Paro	Hora de Arranque	Tiempo total perdido	tecnico enviado
16/11/2001	6024	CORRUGADORA SCHLATTER	CORRECTIVO	SE CAMBIO TORNILLO CAPADO	07:00	08:30	01:30	VICTOR
16/11/2001	6023	BULL # 1	CORRECTIVO	SE CAMBIO CONTACTOR DE MOTOR 2	02:30	05:00	02:30	VICTOR
24/02/2014	790	9 PASOS	CORRECTIVO	SE CAMBIO BANANA	06:00	08:00	02:00	QUIQUE
11/05/2014	2853	MORGAN 10	CORRECTIVO	SE SOLDÓ TURCA EN RECOJEDOR TIPO CARRUSEL	02:30	02:45	00:15	GABRIEL
22/11/2016	650	BECKAM	CORRECTIVO	SE DESARMO BRAZO PARA SACAR ALAMBRE ATORADO	07:00	07:20	00:20	EFRAIN HDZ
25/11/2016	651	ARMADURA # 1	CORRECTIVO	SE CAMBIO BALERO	21:00	21:50	00:50	DAVID LOPEZ
25/11/2016	296	BULL # 1	CORRECTIVO	SE APRETO POLEA DE NAILAMID	17:15	17:30	00:15	ENRIQUE
25/11/2016	305	BULL # 1	CORRECTIVO	SE MODIFICÓ BASE DE RODILLO	12:50	13:40	00:50	FCO RIVERA
25/11/2016	292	bull # 2	CORRECTIVO	SE CAMBIO CENTRO DE POLEA	20:40	21:00	00:20	EDWIN
25/11/2016	295	bull # 2	CORRECTIVO	SE PUSO AUMENTO A CARDA DE MOTOR # 2	17:30	17:45	00:15	ENRIQUE
25/11/2016	300	CORRUGADORA DE EVG 45	CORRECTIVO	SE CAMBIARON BALEROS A POLEA	11:40	12:45	01:05	DAVID LOPEZ
25/11/2016	298	END # 3 NAVE # 6	CORRECTIVO	SE SOLDÓ ENGRANE DE TRANSMISION	20:15	20:40	00:25	DAVID LOPEZ
25/11/2016	297	END # 5 NAVE # 3	CORRECTIVO	SE AJUSTO CUÑA	13:30	14:50	01:20	DAVID LOPEZ
25/11/2016	299	END # 7 NAVE # 6	CORRECTIVO	SE SOLDÓ ENGRANE DE TRANSMISION	22:30	23:15	00:45	DAVID LOPEZ
25/11/2016	367	END# 1 NAVE # 3	CORRECTIVO	SE AJUSTARON FLECHAS DE TRANSMISION	11:00	13:40	02:40	JUAN ASUNCION
25/11/2016	644	EVG GD4	CORRECTIVO	SE INSTALO FLECHA DE TRANSVERSL	15:20	16:45	01:25	ILDEGARDO
25/11/2016	294	FRIGEIRO	CORRECTIVO	SE CAMBIO CONTACTOR DE PASO # 3	17:00	18:00	01:00	FCO RIVERA
25/11/2016	306	FRIGEIRO	CORRECTIVO	SE TENSARON BANDAS DE MOTOR # 3	14:00	14:50	00:50	FCO RIVERA

Figura 12. Base de datos de fallas actual de la empresa mexicana

El área piloto de estudio asignada cuenta con 7 máquinas para el trefilado de alambón. La tabla 12 muestra el número de fallas que presentó cada máquina del área piloto, observando que la BULL2 presentó la mayor cantidad de fallas en el periodo mencionado (La máquina BULL 5 no presentó mantenimientos correctivos en dicho periodo).

Tabla 12. Máquinas del área piloto de estudio y número de fallos.

MÁQUINAS	FRECUENCIA DE FALLA
BULL 2	157
BULL 1	129
BULL 4	57
BULL 7	25
BULL 3	20
BULL 6	12

Fuente: elaboración propia

Para este caso particular de la empresa mexicana el problema principal radica en el área de trefilado de alambón y se observa en la tabla 12 que la BULL 2 presentó mayor índice de mantenimientos correctivos (fallas) en dicho periodo, por lo tanto, se realiza un análisis particular de las fallas de esta máquina, ya que el resto presentaron el mismo tipo de fallas.

## 2.2.2 Diagrama de Pareto de mantenimientos correctivos empresa mexicana

En la figura 13 se observa un diagrama de Pareto, en el cual se muestran los mantenimientos principales que se han realizado a la máquina BULL 2 correspondiente al área piloto de trefilado de alambón de la empresa mexicana, para cual se pretende realizar el plan de mantenimiento basado en la metodología que se realizará a partir de la integración de herramientas de RCM, WCM y Lean Manufacturing.

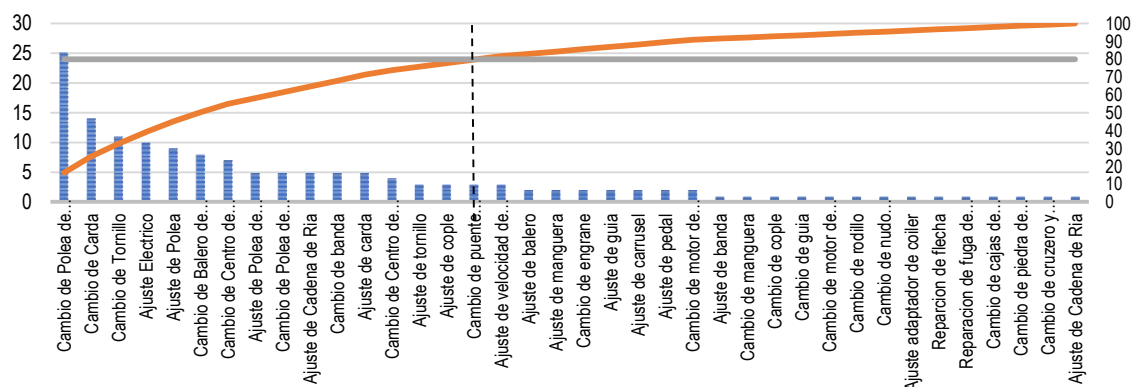


Figura 13. Diagrama de Pareto de mantenimientos correctivos máquina BULL2.

Fuente: Elaboración propia

Con base en el diagrama de Pareto anterior, se muestra en la tabla 13 una clasificación de las fallas de la máquina BULL 2 en el periodo mencionado.

Tabla 13. Clasificación de mantenimientos correctivos máquina BULL 2

Mantenimientos realizado a la máquina BULL 2 en el periodo del 22/11/2016 al 31/01/18						
CÓDIGO	MANTENIMIENTOS	FRECUENCIA	FR. ACU.	FR. REL.	FR. REL. ACUM.	80-20
CPN	Cambio de Polea de Nylamid	25	25	16,34	16	80
CC	Cambio de Carda	14	39	9,15	25	80
CT	Cambio de Tornillo	11	50	7,19	33	80
AX	Ajuste Eléctrico	10	60	6,54	39	80
AP	Ajuste de Polea	9	69	5,88	45	80
CBP	Cambio de Balero de Polea	8	77	5,23	50	80
CCP	Cambio de Centro de Polea de Nylamid	7	84	4,58	55	80
APN	Ajuste de Polea de Nylamid	5	89	3,27	58	80
CPD	Cambio de Polea de Decapado	5	94	3,27	61	80
ACR	Ajuste de Cadena de Ría	5	99	3,27	65	80
CV	Cambio de banda	5	104	3,27	68	80
AC	Ajuste de carda	5	109	3,27	71	80
CCPD	Cambio de Centro de Polea Decapadora	4	113	2,61	74	80
AT	Ajuste de tornillo	3	116	1,96	76	80
AQ	Ajuste de cople	3	119	1,96	78	80
CPR	Cambio de puente rectificador	3	122	1,96	80	80

Fuente: elaboración propia

Fue necesario asignar un código a los mantenimientos realizados a la máquina BULL 2, debido a que el registro en la base de datos de Excel no es clara, dado que cada técnico registra el mantenimiento realizado de forma diferente, esto lleva a una gran dificultad cuando se requiere programar mantenimientos preventivos.

### 2.3 Fase 2 Definir: Definición del problema con enfoque directo considerando la revisión de literatura de RCM, WCM y Lean Manufacturing.

Considerando los resultados obtenidos en la pregunta 1 de la encuesta aplicada, se puede ver que el problema principal en los procesos de producción de 18 empresas encuestadas del sector del acero, es en el mantenimiento de sus equipos y en la calidad del producto, esto se mostró en un 79% y 16% respectivamente de la muestra encuestada. La figura 14 muestra los algunos aspectos considerados en esta fase.

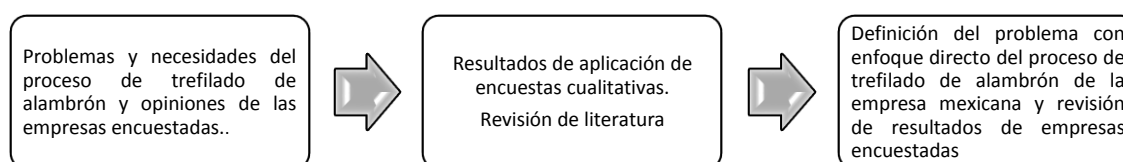


Figura 14. Aspectos importantes: Fase 2.  
Fuente: Elaboración propia

Además de conocer las opiniones de las empresas encuestadas en Bogotá DC. Colombia y el caso de la empresa mexicana, así como la revisión del estado del arte en la fase 1, un paso importante en el desarrollo es tener un contexto sobre las herramientas de las metodologías RCM, WCM y Lean Manufacturing en el campo operativo o en áreas específicas de las organizaciones. Por tal motivo, y como se mencionó en la fase dos del marco metodológico, en esta fase se muestran las diversas herramientas de las metodologías mencionadas con el propósito de realizar un análisis de la aplicación y objetivo de cada una, y de esa forma integrar y diseñar una metodología que permita generar un plan de mantenimiento particularmente para el proceso de trefilado de una empresa mexicana

#### 2.3.1 Herramientas de Lean Manufacturing

Lean Manufacturing consiste en la aplicación sistemática y habitual de diferentes herramientas para el mejoramiento de los procesos productivos. (Arrieta et al., 2010). La tabla 14 muestra un conjunto de herramientas de Lean Manufacturing, así como el objetivo que sigue cada una de estas en su aplicación.

Tabla 14. Herramientas de Lean Manufacturing

HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING	APLICACIÓN / OBJETIVO	AUTOR
Las 5s: Seiri, Seiton, Seiso, Shitsuke, Sheiketsu.	Técnica utilizada para el mejoramiento de las condiciones del trabajo de la empresa. Aquí se desarrollan diferentes pasos orientados hacia el logro de una excelente organización, orden y limpieza en el puesto de trabajo.	(Gajdzik, 2013; Maldonado, 2008; Posada, 2007; Tapia, Escobedo, Barrón, Martínez & Estebané, 2017)
Sistemas SMED (Cambio Rápido de Herramienta)	Técnica empleada para la disminución de los tiempos de cambio de referencia.	(Posada, 2007; Tapia et al., 2017)
Sistemas Poka Yoke (A prueba de Errores)	Técnica empleada para disminuir los errores en el lugar de trabajo.	(Posada, 2007; Tapia et al., 2017)
Administración visual	Técnica empleada para presentar visualmente y al alcance de todo el personal los indicadores de desempeño de la empresa.	(Marchwinski & Shook, 2003; Tapia et al., 2017)
Sistema Kaizen (Mejora Continua)	Técnica que busca el mejoramiento permanente mediante el aporte de ideas de las personas involucradas.	(Maldonado, 2008; Marchwinski & Shook, 2003; Tapia et al., 2017)
6 sigma	Técnica que busca obtener reducir la tasa de defectos menor a un defecto por cada millón de unidades fabricadas.	(Arrieta et al., 2011; Felizzola & Luna, 2014)
El desarrollo de células de manufactura	Técnica que consiste en la implementación de nuevos flujos de producción en la empresa para fabricar artículos con mayor celeridad.	(Maldonado, 2008)
Sistemas TPM (Mantenimiento Productivo Total)	Consiste en la implementación del mantenimiento productivo total, para disminuir el tiempo de paro de las máquinas.	(Fernández, 2005; Mora, 2009; Moubray, 2004b; Tapia et al., 2017)
Value Stream Mapping (Análisis de valor del proceso)	Técnica que se aplica para detectar en qué punto del sistema productivo se presentan los mayores desperdicios durante el proceso.	(Maldonado, 2008; Posada, Herrera & Martínez, 2010)

Fuente: elaboración propia

Es preciso mencionar que la implementación de estas herramientas se lleva a cabo acorde a la necesidad del proceso y pueden ser aplicadas de manera conjunta en el área específica de interés.

### 2.3.2 Pilares técnicos de WCM

Yamashina et al., (2013); De felice et al., (2013) definen 10 pilares técnicos WCM, además, mencionan que los niveles de logro en los campos técnicos se ven afectados indirectamente por el nivel de logro en los campos administrativos. En la tabla 15 se muestran los pilares técnicos de WCM y sus objetivos en la implementación, entre estos pilares se encuentra el AM y el PM los cuales serán considerados para el diseño de la metodología debido a que estos están estrechamente relacionados con el tema de estudio.

Tabla 15. Pilares técnicos de WCM

PILARES TÉCNICOS DE WCM	OBJETIVO	AUTOR
SF La seguridad Mejora continua de seguridad	Reducir drásticamente la cantidad de accidentes. Desarrollar una cultura de prevención. Mejorar la ergonomía del lugar de trabajo.	(Borges et al., 2014; De Felice et al., 2013; Gajdzik, 2013; Yamashina et al., 2013)
CD Despliegue de Costos Análisis de las pérdidas y costos (pérdidas dentro de los costos)	Identificar científica y sistemáticamente los principales elementos de pérdida en el negocio de producción-logística del sistema. Cuantificar los beneficios económicos potenciales y esperados. Abordar los recursos y el compromiso con las tareas de gestión con mayor potencial.	(Borges et al., 2014; De Felice et al., 2013; Gajdzik, 2013; Yamashina et al., 2013)
FI Mejora enfocada Prioridades de las acciones para la gestión de la pérdida identificada por la implementación del costo	Reducir drásticamente las pérdidas más importantes presentes en la planta de fabricación, eliminando las ineficiencias. Eliminar actividades sin valor agregado, para aumentar la competitividad del costo del producto. Desarrollar habilidades profesionales específicas de resolución de problemas.	(Borges et al., 2014; De Felice et al., 2013; Gajdzik, 2013; Yamashina et al., 2013)
AM Mantenimiento Autónomo Mejora continua de la planta y el lugar de trabajo	Está constituido por dos pilares: Mantenimiento autónomo AM Se utiliza para mejorar la eficiencia general del sistema de producción mediante políticas de mantenimiento a través de los operadores (especialistas en equipos). WO Organización del lugar de trabajo. Se desarrolla para determinar una mejora en el lugar de trabajo, porque a menudo	(Borges et al., 2014; De Felice et al., 2013; Gajdzik, 2013; Yamashina et al., 2013)

	los materiales y equipos se degradan; en particular porque en el proceso hay muchas pérdidas (MUDA) para eliminar.	
PM Mantenimiento profesional Mejora continua del tiempo de inactividad y fallas	Aumentar la eficiencia de las máquinas utilizando técnicas de análisis de fallas. Facilitar la cooperación entre los operadores (especialistas de equipos) y los mantenedores (personas de mantenimiento) para llegar a cero averías.	(Borges et al., 2014; De Felice et al., 2013; Gajdzik, 2013; Yamashina et al., 2013)
QC Control de calidad Mejora continua de las necesidades de los clientes	Garantizar productos de calidad. Reducir el incumplimiento. Aumentar las habilidades de los empleados	(Borges et al., 2014; De Felice et al., 2013; Gajdzik, 2013; Yamashina et al., 2013)
CS & L Servicio al Cliente y Logística Optimización de existencias	Reducir significativamente los niveles de las existencias. Minimizar el manejo del material, incluso con entregas directas de los proveedores a la línea de ensamble.	(Borges et al., 2014; De Felice et al., 2013; Gajdzik, 2013; Yamashina et al., 2013)
EEM Gestión temprana de equipos y productos Optimización del tiempo de instalación, los costos, y de las características de nuevos productos	Poner en marcha nuevas plantas según lo programado. Garantizar una puesta en marcha rápida y estable. Reducir el costo del ciclo de vida (LCC). Diseñar sistemas de fácil mantenimiento e inspección	(Borges et al., 2014; De Felice et al., 2013; Gajdzik, 2013; Yamashina et al., 2013)
PD Desarrollo de las personas Mejora continua de las habilidades de empleados y trabajadores	Asegurar, a través de un sistema estructurado de entrenamiento, las habilidades y capacidades correctas para cada estación de trabajo. Desarrollar las funciones de los trabajadores de mantenimiento, tecnólogos, especialistas, como la formación de personal importante	(Borges et al., 2014; De Felice et al., 2013; Gajdzik, 2013; Yamashina et al., 2013)
ENV Medio Ambiente Mejora continua de la gestión ambiental y reducción del gasto energético	Cumplir con los requisitos y estándares de gestión ambiental. Desarrollar una cultura energética y reducir los costos y las pérdidas de energía	(Borges et al., 2014; De Felice et al., 2013; Gajdzik, 2013; Yamashina et al., 2013)

Fuente: elaboración propia

Llevar a cabo los pilares de *WCM* requiere la utilización de herramientas administrativas tradicionales para el análisis de información, por lo que no es posible utilizar una herramienta específica para lograr un rendimiento de clase mundial y abordar todos los componentes de producción, según De Felice et al., (2013). Por tal motivo, en tabla 16 se muestra una descripción de las distintas herramientas útiles en para el desarrollo de *WCM*.

Tabla 16. Herramientas tradicionales para llevar a cabo *WCM*

HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN
5 G	Es una metodología para la descripción y análisis de un fenómeno de pérdida (defectos, fallas de funcionamiento, etc). Se basa en los hechos y el uso de los 5 sentidos
4 M o 5 M	Es estructurado por una lista de posibles factores (causas, subcausas) que dan lugar al fenómeno. Para 4M las causas se agrupan en 4 categorías: Métodos; Materiales; Máquinas; Mano de Obra. Y para los 5M, hay los mismos 4M más el quinto que es el Medio ambiente.
5 s	Se utiliza para lograr la excelencia a través de la mejora del lugar de trabajo en términos de orden, organización y limpieza. La técnica se basa en: Seiri (separar y ordenar); Seiton (organizar y organizar); Seiso (limpio); Seiketsu (estandarizado); Shitsuke (manteniendo y mejorando).
5W + 1H	Se utiliza para garantizar un análisis completo de un problema en todos sus aspectos fundamentales. Las preguntas correspondientes a 5 W y 1 H son: ¿Quién? ¿Qué? ¿Por qué? ¿Dónde? ¿Cuándo? ¿Cómo?
5 porqués	Se usa para analizar las causas de un problema a través de una serie consecutiva de preguntas. Se aplica en análisis de fallas, análisis de anomalías esporádicas, análisis de pérdidas crónicas derivadas de causas específicas.
Etiqueta AM	Es una hoja que, debidamente completada, se aplica en la máquina, para informar cualquier anomalía detectada
Etiqueta WO	Es una hoja que, debidamente completada, se utiliza para informar cualquier anomalía detectada para la Organización del lugar de trabajo
Etiqueta PM	Es una hoja que, debidamente completada, se utiliza para informar cualquier anomalía detectada para el mantenimiento profesional.
Etiqueta SF	Es una hoja que, debidamente completada, se usa para informar cualquier anomalía detectada por Seguridad.

Priorización del equipo ABC	Se usa para clasificar las plantas según sus prioridades de intervención en caso de falla.
Ciclos de limpieza	Se utilizan para actividades de Mantenimiento autónomo, Organización del lugar de trabajo y Mantenimiento profesional.
Ciclos de inspección	Se utilizan para actividades de Mantenimiento autónomo, Organización del lugar de trabajo y Mantenimiento profesional.
Ciclos de mantenimiento	Se utilizan para actividades de mantenimiento autónomo y mantenimiento profesional.
Ciclos de control	Se utilizan para actividades de Mantenimiento autónomo, Organización del lugar de trabajo y Mantenimiento profesional.
AMEF	Análisis de modos y efectos de falla se usa para prevenir los posibles modos de falla.
Kanban etiqueta de instrucción	Utilizada para programación y programación de producción.
El método de dos cámaras de video	Se utiliza para realizar la grabación de video de las transacciones para optimizarlas.
Kaizen	Es un proceso diario, cuyo propósito va más allá de la simple mejora de la productividad. También es un proceso que, cuando se realiza correctamente, humaniza el lugar de trabajo, elimina el trabajo excesivamente duro.
MURI	Análisis ergonómico de estaciones de trabajo.
MURA	Análisis de operaciones irregulares.
MUDA	Análisis de pérdidas.
Tabla de espaguetis	Es un gráfico utilizado para detallar el flujo físico real y las distancias involucradas en un proceso de trabajo.
OPL (Lección de un punto)	Es una técnica que permite un enfoque simple y efectivo en un corto tiempo sobre el objeto del entrenamiento.
SOP (Procedimiento de operación estándar)	Procedimiento estándar para el trabajo
Visual Aid	Es un conjunto de señales que facilita el trabajo y la comunicación dentro de la empresa.
Poka Yoke	Es una técnica de prevención para evitar posibles errores humanos en el desempeño de cualquier actividad productiva.
TWTP (La forma de enseñar a las personas)	Es una entrevista en 4 preguntas para evaluar el nivel de capacitación sobre la operación que se realizará.
5Q 0D (Cinco preguntas para cero defectos)	Análisis del proceso o del equipo (máquina) a través de cinco preguntas para tener cero defectos.
ANOVA	Es una colección de modelos estadísticos, y sus procedimientos asociados, en los que la varianza observada en una variable particular se divide en componentes atribuibles a diferentes fuentes de variación.
PPA (análisis de punto de procesamiento)	Se utiliza para restaurar, mantener y mejorar los estándares operativos de trabajo al garantizar cero defectos.
QA Matrix (Aseguramiento de la calidad de la matriz)	Es un conjunto de matrices que muestra las correlaciones entre las anomalías del producto y las fases del sistema de producción.
QM Matrix ( <i>Matrix Maintenance Quality</i> )	Es una herramienta utilizada para definir y mantener las condiciones de funcionamiento de las máquinas que garantizan el rendimiento de la calidad deseada.
Control de calidad	Red de aseguramiento de la calidad de la red Se utiliza para garantizar la calidad del proceso eliminando el retrabajo.
QuOA	Análisis de la operación de calidad Análisis preventivo de los pasos de trabajo para garantizar la calidad.
SMED ( <i>Single Minute Exchange of Die</i> )	Es un conjunto de técnicas para realizar operaciones de desarrollo, configuración, con una duración <10 minutos
Value Stream Mapping.	Permite destacar el desperdicio de un proceso, representando el flujo actual de materiales e información, en relación con un producto específico, a través del flujo de valor entre el cliente y los proveedores.

Fuente: adaptado de (De Felice et al., 2013)



### 2.3.3 Matriz de correspondencia pilares de WCM y herramientas tradicionales

La figura 15 muestra las principales relaciones entre herramientas descritas en la tabla anterior y los pilares de operación propuestas por el Prof. Hajime Yamashina En *Fiat Group Automobiles* (Yamashina et al., 2013).

HERRAMIENTAS	Seguridad	Despliegue de costos	Mejora enfocada	Mantenimiento autónomo (AM)	Organización del área de trabajo (WO)	Mantenimiento profesional (PM)	Control de calidad	Logística y servicio al cliente	Administración temprana de equipos	Desarrollo de personal	Medio ambiente
4M	x		x			x	x	x	x	x	x
5S	x			x	x	x	x	x		x	x
5W1H	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5 Whys	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
AM Tag	x			x	x	x	x		x	x	x
clasificación ABC	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
AMEF			x			x	x		x	x	x
Kanban			x		x			x			
NVAA			x		x			x			
OPL	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Poka-Yoke	x		x	x	x	x	x	x	x		x
Matriz QA							x				
Matriz QM						x	x		x		
Six Sigma	x		x			x	x				x
SMED			x			x			x		
Value S. Map		x	x					x			
Matriz X						x	x				

Figura 15. Relación pilares de WCM vs herramientas de operación utilizadas.

Fuente: adaptado de (Yamashina et al., 2013)

Por otra parte, en un estudio realizado sobre el impacto causado por el uso de cada una de las herramientas de WCM en la productividad en el cual se entrevistaron 43 empresas en el área metropolitana de Monterrey, México; se determinó que las herramientas de mantenimiento productivo total y la gestión total de la calidad tuvieron el mayor impacto (Zambrano et al., 2017).

### 2.3.4 Herramientas de RCM

De la misma forma que WCM y Lean Manufacturing requieren de un conjunto de herramientas para su implementación; para el caso del RCM algunos autores han aplicado dicha metodología usando herramientas y estrategias acordes al caso de estudio (Barajas et al., 2011). En la tabla 17 se observa una relación de autores y herramientas que estos han implementado para dar solución a las siete preguntas básicas que intenta resolver el RCM durante el desarrollo de su aplicación (SAE JA 1011, 1999).

Tabla 17. Herramientas utilizadas en caso de ampliación de RCM

PREGUNTAS RCM	AUTORES / CASOS DE APLICACIÓN			
	(Deshpande & Modak, 2002)	(Dacheng & Jinji, 2010)	(Gang, Yang & Pecht, 2010)	(Carazas, Salazar & Souza, 2011)
	<b>HERRAMIENTAS Y ESTRATEGIAS UTILIZADAS</b>			
¿Cuáles son las funciones?	DFP, PMA, HC	DFP	AMEF	AF, PMA
¿De qué manera puede fallar?	HC	AMEF	AMEF	AMEF
¿Cuál es la causa de la falla?		RHF	AMEF	AMEF
¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?		RHF	AMEF	
¿En qué sentido cada falla es importante?	AD, HC	MANC, AAF		ACR, AAF,
¿Qué se puede hacer para prevenir cada falla?	AD, HC	RM	MBC, FD-RN	F-DW, D-SM
¿Qué debe hacerse si no se puede encontrar una tarea preventiva adecuada?		PRP		
	<b>DESCRIPCIÓN DE HERRAMIENTAS</b>			
PMA: Programas de mantenimiento actuales	MBC: Mantenimiento basado en la condición			
HC: Hoja de cálculo	FD-RN: Fusión de datos redes neuronales			
AD: Árbol de decisión	AF: Árbol funcional			
DFP: Diagrama de flujo del proceso	ACR: Análisis de causa raíz			
AMEF: Análisis de modos y efectos de fallas	F-DW: Fiabilidad con distribución de Weibull			
RHF: Registros históricos de fallas	D-SM: Disponibilidad con simulación Monte Carlo.			
MANC: Matriz de asignación de nivel crítico	AAF: Árbol de análisis de falla.			
PRP: Programa retroalimentación personal	RM: Mantenimiento radical			

Fuente: adaptado de Barajas and Cruz (2011)

Con base en la revisión de literatura fue posible verificar que una de las herramientas principales que han implementado las empresas para la solución de problemas en el área de mantenimiento ha sido el *TPM*.

Adicionalmente, en la tabla 18 se describen los problemas e indicadores esperados en los casos de estudio revisados en la literatura. Es preciso mencionar que tales casos de estudio revisados en la literatura son de aplicación del mantenimiento en diferentes sectores productivos.

Tabla 18. Problemas e indicadores de casos de estudio: revisión de literatura

PROBLEMAS	INDICADORES DE INTERÉS	AUTORES
Perdidas resultantes por fallas en los dispositivos de producción	Reducción de pérdidas de producción	(Gajdzik, 2013)
Área productiva de forja presenta mayor tiempo de paro.	Reducción del número de paros de los equipos por cambio o ajuste de pieza.	(Ortiz et al., 2010)
Fallas en los sistemas auxiliares de producción	Indicadores de disponibilidad y paradas forzadas	(Hung, 2009)
Tareas y tiempos de mantenimiento	Horas hombre empleadas en tareas de mantenimiento	(Torres, Perdomo, Fornero & Corcuera, 2010)
Tiempo de inactividad y tiempo entre fallas en los equipos de producción.	Reducción de probabilidad de fallas repentinas en los equipos	(Afeby, 2010)
Optimización de la frecuencia de tareas de mantenimiento	Indicadores de Calidad y productividad	(Siqueira, 2004)
Tipo de mantenimiento y asignación de tareas	Reducción de frecuencia de fallas	(Quevedo, Paredes & Chinchayan, 2017)

Fuente: elaboración propia

En los diversos casos presentados sobre la aplicación del mantenimiento, fue posible notar que los problemas que han generado mayor preocupación en las organizaciones son los tiempos perdidos por paros en sus equipos de producción debido a la presencia de fallas inesperadas, así como la asignación adecuada de tareas de mantenimiento.

## 2.4 Fase 3 Idear: Selección de herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* para el diseño de la metodología.

A partir de la revisión de literatura sobre casos de aplicación de las herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, y considerando el problema del proceso de trefilado de alambroón de la empresa mexicana, así como los resultados de la encuesta aplicada a las empresas en Colombia, se realiza una selección de herramientas con el propósito de diseñar una metodología que contribuya a mejorar el mantenimiento de la empresa mexicana, cumplir con el objetivo general y atender la pregunta de investigación. La figura 16 muestra los algunos aspectos considerados en esta fase.



Figura 16. Aspectos importantes: Fase 3.

Fuente: elaboración propia

Cada una de las metodologías que se han mencionado en la literatura contiene herramientas y pilares que apoyan de forma directa e indirecta al diseño de la metodología y en consecuencia a la generación del plan de mantenimiento. Sin embargo, la selección de las herramientas en esta fase, se realiza considerando aquellas que tienen relación directa con elementos tales como: el objetivo de la investigación, el problema identificado, los enfoques definidos en esta fase y los problemas vistos en la revisión de la literatura. La figura 17 muestra la relación directa (D) e indirecta (I) que tiene cada herramienta de *Lean Manufacturing* con los elementos mencionados, de la misma forma se observa en la figura 18 la relación “D” e “I” de las herramientas de *WCM* con dichos elementos, y posteriormente la figura 19 presenta la relación de las herramientas aplicadas en el desarrollo del *RCM* con los elementos antes mencionados.

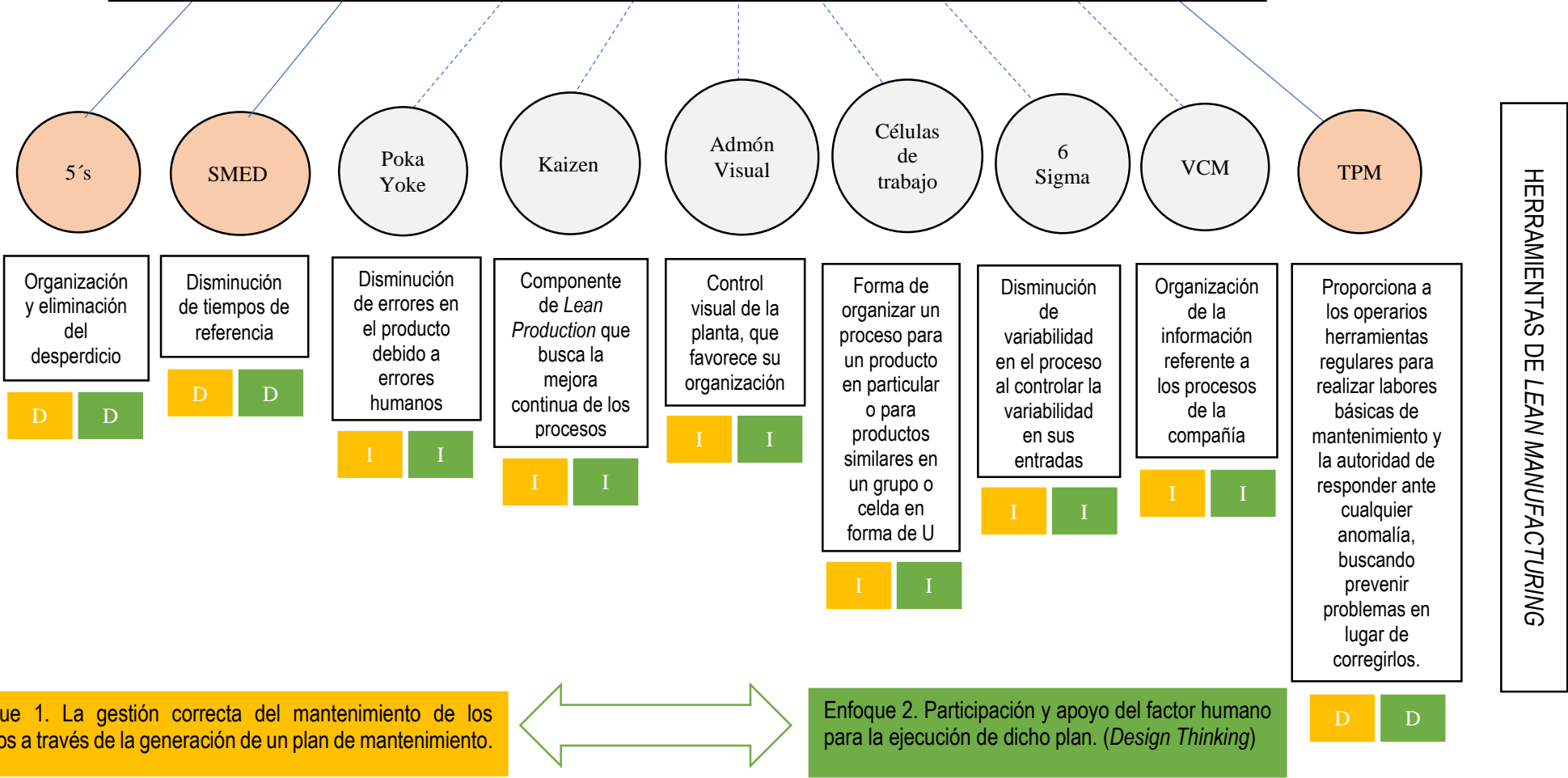
Por otra parte, de acuerdo con (Mora, 2009) la combinación de herramientas de diversas metodologías puede ofrecer resultados satisfactorios en la mejora de los procesos. Por lo tanto, para la selección e integración de herramientas se consideraron dos enfoques principales:

Enfoque 1. La gestión correcta del mantenimiento de los equipos a través de la generación de un plan de mantenimiento. (Herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*)

Enfoque 2. Participación y apoyo del factor humano para la ejecución de dicho plan. (*Design Thinking*)

# PROBLEMAS IDENTIFICADOS

- 1) Paros de los equipos de producción debido a la presencia de fallas inesperadas y tiempos de mantenimiento.
- 2) Asignación inadecuada de tareas de mantenimiento.



5's: Seiri, Seiton, Seiso, Shitsuke, Sheiketzu  
 TPM: (Mantenimiento Productivo Total)  
 SMED: (Cambio Rápido de Herramienta)  
 VSM: *Value Stream Mapping* (Análisis de valor del proceso)

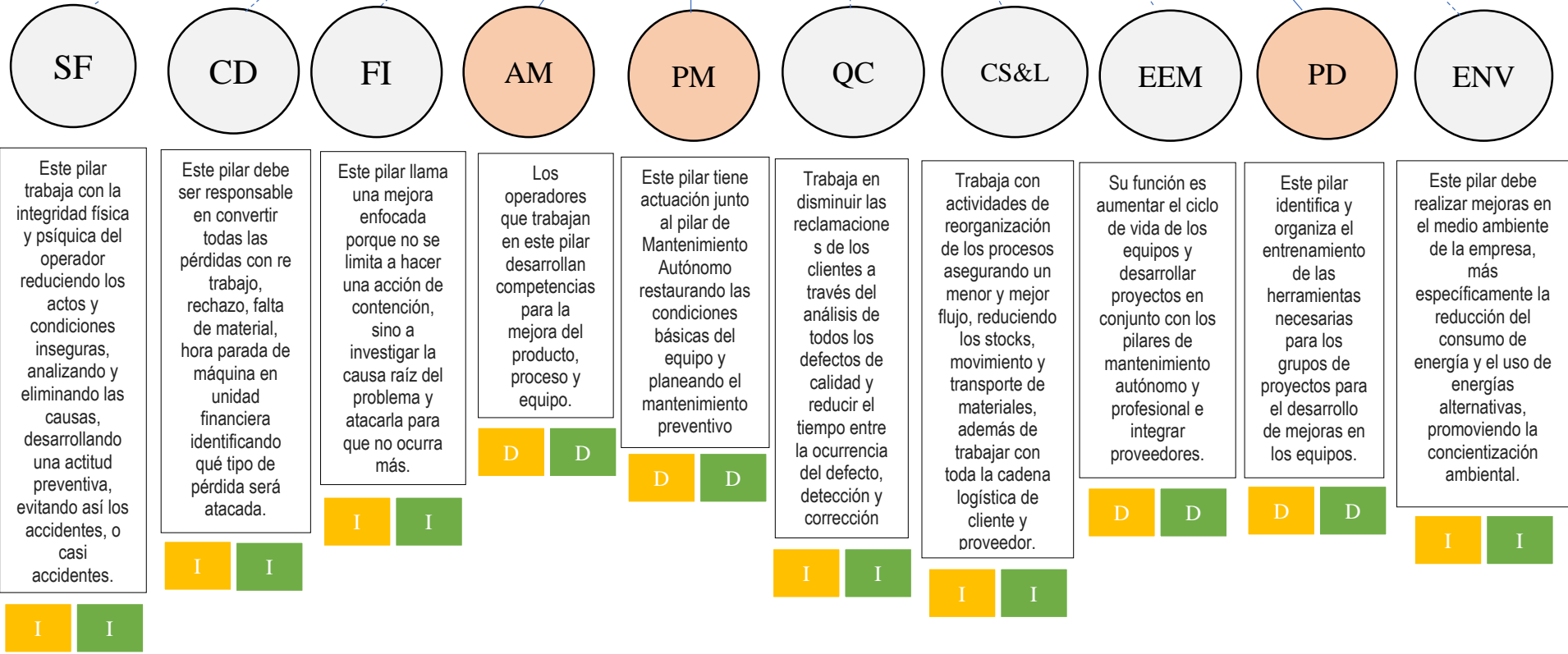
● Herramientas seleccionadas  
 D: Relación directa  
 I: Relación indirecta

Figura 17. Relación de herramientas de Lean Manufacturing & problema de estudio  
 Fuente: elaboración propia

(Arrieta et al., 2011; Tejada, 2011)

## PROBLEMAS IDENTIFICADOS

- 3) Paros de los equipos de producción debido a la presencia de fallas inesperadas y tiempos de mantenimiento.  
 4) Asignación inadecuada de tareas de mantenimiento.



HERRAMIENTAS DE WCM

Enfoque 1. La gestión correcta del mantenimiento de los equipos a través de la generación de un plan de mantenimiento.

Enfoque 2. Participación y apoyo del factor humano para la ejecución de dicho plan. (Design Thinking)



- SF La seguridad
- CD Despliegue de Costos
- FI Mejora enfocada.
- AM Mantenimiento autónomo
- PM Mantenimiento profesional
- QC Control de calidad
- CS & L Servicio al Cliente y Logística
- EEM Gestión temprana de equipos
- PD Desarrollo de las personas
- ENV Medio Ambiente

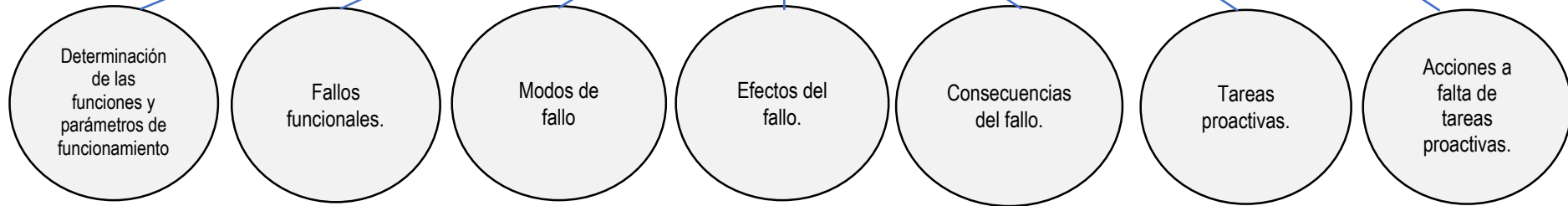
- Herramientas seleccionadas
- D: Relación directa
- I: Relación indirecta

(Borges et al., 2014; Rubrich & Watson, 1998; Yamashina et al., 2013)

Figura 18. Relación de herramientas de WCM & problema de estudio  
 Fuente: elaboración propia

# PROBLEMAS IDENTIFICADOS

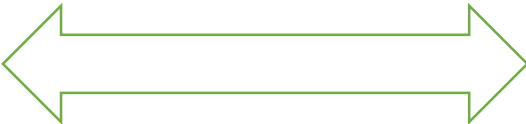
5) Paros de los equipos de producción debido a la presencia de fallas inesperadas y tiempos de mantenimiento.  
 6) Asignación inadecuada de tareas de mantenimiento.



Problema	Herramientas	Relación
Determinación de las funciones y parámetros de funcionamiento	DFP, PMA, HC, AMEF, AF	D
Fallos funcionales	HC, AMEF	I
Modos de fallo	RHF, AMEF	D
Efectos del fallo	RHF, AMEF	D
Consecuencias del fallo	AD, HC, MANC, AAF, ACR	I
Tareas proactivas	AD, HC, RM, MBC, FD-RN, F-DW, D-SM	I
Acciones a falta de tareas proactivas	PRP	D

HERRAMIENTAS DE RCM

Enfoque 1. La gestión correcta del mantenimiento de los equipos a través de la generación de un plan de mantenimiento.



Enfoque 2. Participación y apoyo del factor humano para la ejecución de dicho plan. (Design Thinking)

PMA: Programas de mantenimiento actuales  
 HC: Hoja de cálculo  
 AD: Árbol de decisión  
 DFP: Diagrama de flujo del proceso  
 AMEF: Análisis de modos y efectos de fallas  
 RHF: Registros históricos de fallas  
 MANC: Matriz de asignación de nivel crítico  
 PRP: Programa retroalimentación personal

MBC: Mantenimiento basado en la condición  
 FD-RN: Fusión de datos redes neuronales  
 AF: Árbol funcional  
 ACR: Análisis de causa raíz  
 F-DW: Fiabilidad con distribución de Weibull  
 D-SM: Disponibilidad con simulación Monte Carlo.  
 AAF: Árbol de análisis de falla.  
 RM: Mantenimiento radical.

○ Herramientas seleccionadas  
 D: Relación directa  
 I: Relación indirecta

PRP: implícito el en pilar de desarrollo de PD en WCM  
 AF: Implícito en AMEF  
 AAF: Implícito en AMEF  
 ACR: Implícito en AMEF  
 MBC: implícito el en pilar de PM en WCM  
 RM: implícito el en pilar de AM y PM en WCM

Figura 19. Relación de herramientas de RCM & problema de estudio  
 Fuente: elaboración propia

(Carazas et al., 2011; Deshpande et al., 2002; Li & Gao, 2010; Mora, 2009; Moubay, 2004b; Niu, Yang, & Pecht, 2010)

Para definir la relación directa (D) e indirecta (I) de las herramientas con los elementos mencionados fue necesario realizar un análisis para identificar los procedimientos de cada herramienta que mejor se adaptan a los objetivos y a la solución de los problemas vistos en la fase 1 y 2. Al respecto, es preciso mencionar que algunas herramientas de RCM no fueron seleccionadas ya que se considera que están implícitas en alguno de los pilares de WCM o Lean Manufacturing.

Con base en las figuras 17, 18 y 19, se muestra en la tabla 19 un comparativo de las herramientas de RCM, WCM y Lean Manufacturing en cada una de las columnas, así como un resumen de las herramientas seleccionadas en la parte inferior.

Tabla 19. Herramientas de RCM, WCM y Lean Manufacturing

<b>LEAN MANUFACTURING</b>	<b>WCM</b>	<b>RCM</b>
5 s. Seiri, Seiton, Seiso, Shitsuke, Sheiketsu	SF La seguridad Mejora continua de seguridad	<b>PMA: Programas de mantenimiento actuales</b>
<b>Sistemas SMED (Cambio Rápido de Herramienta)</b>	CD Despliegue de Costos Análisis de las pérdidas y costos (pérdidas dentro de los costos)	HC: Hoja de cálculo
Sistemas Poka Yoke (A prueba de Errores)	FI Mejora enfocada Prioridades de las acciones para la gestión de la pérdida identificada por la implementación del costo	AD: Árbol de decisión
Administración visual	<b>AM Mantenimiento autónomo</b> Mejora continua de la planta y el lugar de trabajo	<b>DFP: Diagrama de flujo del proceso</b>
Sistema Kaizen (Mejora Continua)	<b>PM Mantenimiento profesional</b> Mejora continua del tiempo de inactividad y fallas	<b>AMEF: Análisis de modos y efectos de fallas</b>
6 Sigma	QC Control de calidad Mejora continua de las necesidades de los clientes	<b>RHF: Registros históricos de fallas</b>
El desarrollo de células de manufactura	CS & L Servicio al Cliente y Logística Optimización de existencias	MANC: Matriz de asignación de nivel crítico
<b>Sistemas TPM (Mantenimiento Productivo Total)</b>	EEM Gestión temprana de equipos Optimización del tiempo de instalación, los costos, y de las características de nuevos productos	PRP: Programa retroalimentación personal
<i>Value Stream Mapping</i> (Análisis de valor del proceso)	<b>PD Desarrollo de las personas</b> Mejora continua de las habilidades de empleados y trabajadores	MBC: Mantenimiento basado en la condición
	ENV Medio Ambiente Mejora continua de la gestión ambiental y reducción del gasto energético	AAF: Árbol de análisis de falla.

#### RESUMEN DE HERRAMIENTAS SELECCIONADAS

➤ Las 5s	➤ AM Mantenimiento autónomo	➤ PMA: Programas de mantenimiento actuales
➤ Sistemas SMED	➤ PM Mantenimiento profesional	➤ DFP: Diagrama de flujo del proceso
➤ Sistemas TPM	➤ PD Desarrollo de las personas	➤ AMEF: Análisis de modos y efectos de fallas
		➤ RHF: Registros históricos de fallas

Fuente: elaboración propia

### 2.4.1 Descripción de herramientas seleccionadas

A partir de la experiencia en la implementación de estas herramientas en fábricas japonesas, se puede decir que el éxito de la puesta en marcha de cada herramienta depende de la organización favorable de la empresa (Maldonado, 2008).

En la tabla 20 se presenta una descripción detallada de los pasos que requiere cada herramienta seleccionada de la tabla 19 desde el punto de vista de la literatura, esto para conocer los pasos que requieren para su implementación y con la finalidad de integrar estas herramientas para el diseño de una metodología que permita generar un plan de mantenimiento para el proceso de trefilado de alambros de la empresa mexicana.

Tabla 20. Descripción de herramientas seleccionadas

HERRAMIENTA / MÉTODO	DESCRIPCIÓN	OBJETIVO	AUTOR	
LEAN MANUFACTURING	Método 5S	El nombre del método es una abreviación de palabras japonesas: seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke, que en inglés se han traducido a: ordenar, sistematizar, barrer, desinfectar, auto disciplinar. El método 5S es coherente con los principios de la filosofía japonesa Kaizen, que se centra no solo en los productos, sino también en la calidad del trabajo, los métodos de operación de la máquina, las características del proceso y el enfoque de los procesos y procedimientos.	1) Crear y mantener un lugar de trabajo bien organizado, limpio, altamente eficiente y de alta calidad. 2) Responder a la necesidad de mejorar el ambiente de trabajo, eliminación de despilfarros producidos por el desorden, falta de aseo, fugas, contaminación, etc.	(Maldonado, 2008), (Gajdzik, 2013)
	SMED Cambio de referencia en menos de 10 minutos	Significa Single Minute Exchange 01 Dies o cambio de dispositivos en minutos de un solo dígito. Esto quiere decir que bajo su filosofía, los cambios de referencia y los montajes no pueden demorar más de 9 minutos y 59 segundos.	Responder rápidamente a las fluctuaciones de la demanda y crea las condiciones necesarias para las reducciones de los plazos de fabricación. Fase preliminar: Consiste en describir con claridad las operaciones del cambio de referencia. • Primera etapa: Separación de las operaciones internas y externas. • Segunda etapa: Conversión de las operaciones internas en externas. • Tercera etapa: Mejoramiento de los elementos internos y externos.	(Shingo, 1997)
	TPM Mantenimiento Productivo Total	1) Limpieza básica de maquina o equipo 2) Prevención de fuente de contaminación 3) Estándares de limpieza y reparación 4) Capacitación para reparaciones independientes por operadores. 5) Reparación independiente por operadores. 6) Estándares para asegurar procesos. 7) Uso del Mantenimiento Autónomo.	1) Asegurar que cada máquina esté siempre preparada para las tareas que se requieran. 2) Involucra a los operarios en rutinas de mantenimiento, en proyectos de mejora y en las reparaciones simples. 3) Eliminar las pérdidas de los sistemas productivos tales como: paradas, tiempos de cambio, pequeñas detenciones, disminución de velocidad, chatarra y re trabajos. a) Mejorar significativamente la eficiencia del conjunto de la empresa y la productividad del personal global de producción y mantenimiento. b) Implantar un sentimiento de propiedad de los operarios de producción sobre sus equipos y sistemas, a través de un sistema de formación y, especialmente, de implicación con la nueva técnica. c) Promover la mejora continua a través de grupos con la idea de unión y coordinación entre producción, ingeniería y mantenimiento.	(Shook & Marchwinski, 2003), (González, 2007) (Fernández, 2005))
WORLD CLASS MANUFACTURING	AM Mantenimiento autónomo	1) Limpieza e inspección inicial 2) Contramedidas contra las fuentes de contaminación 3) Estándares iniciales 4) Inspección General 5) Inspección Autónoma 6) Desarrollo de estándares (organización del área de trabajo y limpieza) 7) Aplicación completa del sistema de AM	1) Mantener de las condiciones básicas de la maquinaria. esto se puede lograr asegurando los estándares operativos correctos de la maquinaria, la limpieza, la lubricación y la seguridad 2) Estabilizar las condiciones básicas de la maquinaria, mejorar su fiabilidad y obtener como resultado el alargamiento de su vida útil 3) Mejora continua de los estándares de mantenimiento y el aumento de las competencias de los operadores en términos de conocimiento de las máquinas y mejora de la calidad de la maquinaria con respecto al producto.	(Yamashina et al., 2013)
		1) Eliminación y prevención del deterioro acelerado 2) Análisis de fallas, recuperación y revisión del deterioro	1) Aumentar la confiabilidad y calidad mientras reduce en gran medida el deterioro del equipo y reduce los riesgos de accidentes	

	PM Mantenimiento profesional	<p>3) Definición de estándares de mantenimiento</p> <p>4) Medidas que abordan puntos débiles de las máquinas y prolongación de la vida media de los componentes.</p> <p>5) Construcción de un sistema de mantenimiento periódico, 6) Construcción de un sistema de mantenimiento predictivo (gestión de tendencias)</p> <p>7) Gestión de los costos de mantenimiento, construcción de un sistema de mantenimiento planificado</p>	<p>2) Reducir las averías y el mantenimiento</p> <p>3) Desarrollar actividades de mantenimiento planificado</p> <p>4) Establecer y mantener las mejores condiciones de los sistemas a un costo limitado y de manera eficiente</p> <p>5) Desarrollar las habilidades de los operadores y los ingenieros de mantenimiento</p> <p>6) Promover una buena planificación de actividades, reducir el número de paradas programadas para ejecutar mantenimiento, crear cultura "cero fallas"</p>	(Yamashina et al., 2013)
	PD Desarrollo de las personas	<p>1) Definir principios y prioridades</p> <p>2) Establecer un sistema de capacitación inicial para mejorar habilidades</p> <p>3) Implementar proyectos de mejora de habilidades en equipo</p> <p>4) Establecer un sistema de capacitación adecuado para mejorar habilidades e identificación de expertos</p> <p>5) Establecer un sistema para mejorar y actualizar</p> <p>6) Habilidades específicas y electivas</p> <p>7) Evaluación continua</p>	<p>1) Crear equipos orientados al flujo de valor, trabajando de forma autónoma.</p> <p>2) Involucrar a todas las personas del equipo para unir ejecución y calidad.</p> <p>3) Motivar al equipo a buscar la causa raíz de los problemas e incrementar las probabilidades de éxito.</p>	(Yamashina et al., 2013), (Toledano, Mañes, & García, 2009)
RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE	MP Programas de mantenimiento	La programación del mantenimiento es una programación detallada de todas las actividades de mantenimiento, considerando para ello las necesidades de producción en la escala temporal y el coste de oportunidad para la empresa durante la ejecución de las tareas. La programación del mantenimiento debe efectuarse a corto (< 1 año), medio (1-5 años) y largo plazo (> 5 años).	<p>1) Optimizar la asignación de recursos tanto humanos como materiales, así como minimizar el impacto en la producción.</p> <p>2) Controlar las tareas de mantenimiento llevando a cabo actividades de mantenimiento preventivo asignadas en un periodo definido.</p>	(Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo, 2013)
	DFP Diagrama de flujo del proceso	El diagrama de flujo es una representación gráfica de la distribución de los pisos y edificios que muestra la ubicación de todas las actividades de flujo del proceso. La dirección del flujo se indica colocando pequeñas flechas periódicamente a lo largo de las líneas de flujo.	<p>1) Proporciona la mayor parte de la información pertinente relacionada con un proceso de manufactura.</p> <p>2) Una configuración adecuada del proceso.</p> <p>3) Mostrar un plan pictórico del flujo del trabajo y a partir de esta información es posible desarrollar un nuevo método.</p>	(Niebel, Freivalds, & Osuna, 2004)
	AMEF Análisis de Modos y efectos de falla	Es una técnica analítica que ayuda a identificar el Modo, Efecto y la Causa De falla potencial antes de que se presente un problema en los procesos. Permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención. Es una técnica sistemática diseñada para identificar problemas o para el análisis de modos de fallo y efectos.	<p>1) Identifica fallas o defectos antes de que estos ocurran (principal función).</p> <p>2) Reducir los costos de garantías.</p> <p>3) Incrementar la confiabilidad de los productos/servicios (reduce los tiempos de desperdicios y re-trabajos).</p> <p>4) Acorta el tiempo de desarrollo de nuevos productos o procesos.</p> <p>5) Documenta los conocimientos sobre los procesos.</p> <p>6) Incrementa la satisfacción del cliente.</p> <p>7) Mantiene el Know-How en la compañía.</p>	(Moubray, J. 2004) (Useche, Monroy, & Izquierdo, 2013))
	RH Registro histórico de fallas	Es una base de información histórica de las fallas que ha presentado un sistema o equipo de producción, la cual se alimenta con información como: el tipo de falla, la frecuencia, el tipo de mantenimiento, el personal que desarrolla la actividad, entre otros elementos que se consideran importantes para el control interno de los fallos de los equipos que forman el sistema de producción.	<p>1) Llevar un control de las fallas presentadas en el sistema.</p> <p>2) Facilitar información actualizada al responsable de mantenimiento.</p> <p>3) Tomar acciones de mejora con base en la frecuencia de fallas de los equipos registrados.</p>	(Mora, 2009; SAE JA 1011, 1999)

Formato: elaboración propia

Con base en los problemas encontrados y considerando que el desarrollo de cada herramienta seleccionada requiere del apoyo de herramientas administrativas para su implementación, en la tabla 21 se proponen algunas herramientas de las cuales se puede tomar apoyo para el cumplimiento de los objetivos.



## 2.4.2 herramientas de apoyo en solución a los problemas identificados

Como apoyo en la solución de los problemas definidos en la fase dos se mencionan los siguientes métodos y/o herramientas de ingeniería industrial las cuales a través de una integración resultan de gran utilidad para eliminar o reducir los problemas en los procesos de producción y contribuir a la mejora continua de la organización (Dixon, 2000; Niebel et al., 2004).

Tabla 21. Métodos y herramientas utilizadas en la solución a los problemas en procesos de producción

Método / Herramienta	Utilización	Ventajas	Desventajas
<b>Hoja de verificación</b>	Registrar y recolectar datos mediante un método sencillo y sistemático, como la anotación de eventos asociados a la ocurrencia de fallas en un equipo o área en particular.	1) Mejora de procesos 2) Se utiliza tanto en el estudio de los síntomas de un problema, como en la investigación de las causas y análisis de datos. 3) Es el punto de partida para la elaboración de otras herramientas.	1) El uso de la hoja de verificación es basado solo en la observación. 2) En ocasiones el tiempo de recolección de datos es largo y no se pueden parar o retrasar los horarios de producción.
<b>Diagrama causa-efecto</b>	Se utiliza para representar la relación entre efecto de un fenómeno particular y todas las posibles causas que lo pueden originar.	1) Ayudará a identificar las posibles causas que producen el problema. 2) Facilita el análisis de las fallas	Se debe tener conocimiento a detalle del sistema que se analiza, de lo contrario es posible que el diagrama sea ineficiente.
<b>Diagrama de Pareto</b>	Es un método gráfico que permite determinar cuáles son los problemas más importantes de una determinada situación y por consiguiente, las prioridades de intervención.	1) Permite observar los problemas menores, que podrían ser los que ocasionen la mayor parte de las fallas. 2) Puede ayudar a planear una mejora continua.	Si no se realiza una correcta interpretación de la información del gráfico, esta herramienta será inválida.
<b>Histograma</b>	Es una gráfica de barras que muestra la frecuencia con la que han ocurrido o se han presentado una serie de datos o fenómenos, así como su distribución.	1) Analiza la variación que existe en el comportamiento de esos datos. 2) Permite agrupar y organizar los datos de modo que tengan algún significado y den una mejor visión para tener conclusiones y poder tomar acciones objetivas y acertadas.	Se requiere una correcta interpretación de la gráfica de barras, para tomar una decisión.

Formato: elaboración propia

Durante el desarrollo de esta primer etapa del trabajo de grado, se ha definido el problema que enfrenta la empresa mexicana del sector del acero, se ha revisado la opinión de 18 empresas encuestadas en Colombia, sobre los problemas que han presenciado en sus procesos de producción, entre otros aspectos considerados en una encuesta aplicada a estas empresas, adicionalmente, se realizó una revisión de literatura sobre algunos casos de aplicación de las herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* para la mejora de diversos procesos productivos, posteriormente se seleccionó un conjunto de estas herramientas para la integración y diseño de una metodología que permita generar un plan de mantenimiento particularmente para los equipos del proceso de trefilado de alambrión de la empresa mexicana.

Por lo tanto, en la siguiente etapa (3), se presenta el diseño de la metodología mencionada, generando un plan de mantenimiento tomando como base cada una de las actividades de esta metodología.

### 3. Diseño de un plan de mantenimiento para el proceso de trefilado de alambroón a través de la integración de herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*.

CASO DE ESTUDIO: EMPRESA MEXICANA DEL SECTOR DEL ACERO.

Esta sección del trabajo de grado hace referencia al desarrollo de dos fases (Prototipar y Evaluar) basadas en el *Design Thinking*, en las cuales se integran herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing* para estructurar la metodología que dará pie a la generación del plan de mantenimiento. Posteriormente, tomando como caso de estudio particular una empresa mexicana del sector del acero, y con base en la metodología diseñada, se elabora un plan de mantenimiento específico para el proceso de trefilado de esta empresa.

En la fase en la fase “Prototipar” se muestra la integración de las herramientas seleccionadas en la fase “Idear”, así como el diseño de la metodología que dará pie al plan de mantenimiento. Y por último, en la fase “Evaluar” basado en dicha metodología se generan prototipos (diagramas) y se describen las actividades que se consideran necesarias para llevar a cabo el plan de mantenimiento en la empresa mexicana del sector del acero.

El estudio se fundamenta en la integración de las herramientas de mejora continua de las metodologías mencionadas, las cuales están enfocadas a la mejora de procesos y/o equipos de producción, para lo cual se toma apoyo del *Design Thinking*, ya que esta metodología está siendo utilizada cada vez más en las empresas en Europa, Asia y Estado Unidos como el método utilizado por los diseñadores para pensar y solucionar problemas (Ortega & Ceballos, 2015).

#### 3.2 Fase 4 Diseño de la metodología a través de la Integración de herramientas de *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*

De acuerdo con González (2012), en la fase 4 del proceso del *Design Thinking*, Prototipar “es la generación de elementos informativos como dibujos, objetos o artefactos, con los que se pretende responder las inquietudes que nos acercan a la solución final”. En esta fase se integran las herramientas de mejora que se consideraron necesarias para continuar con el diseño de la metodología, generando prototipos tales como: diagramas o esquemas para el desarrollo de tareas de mantenimiento y se describen los pasos o etapas para el seguimiento del mantenimiento en el proceso de trefilado. La figura 20 muestra algunos aspectos que se consideran en el desarrollo de esta fase:



Figura 20. Aspectos importantes. Fase 4.  
Fuente: elaboración propia

#### 3.2.1 Indicadores esperados: empresa mexicana y casos de estudio (revisión de literatura)

La tabla 22 muestra los indicadores que han logrado las organizaciones en los diversos casos de estudio revisados en la literatura, así como los indicadores esperados por la empresa mexicana del sector del acero.

Tabla 22. Indicadores esperados por la empresa mexicana vs indicadores esperados en casos de estudio (revisión de literatura)

INDICADORES ESPERADOS POR LA EMPRESA MEXICANA	INDICADORES ESPERADOS EN CASOS DE ESTUDIO (REVISIÓN DE LITERATURA)	AUTORES
Reducir el índice de paros inesperados en los equipos del proceso de trefilado de alambroón	Reducción de pérdidas de producción	(Gajdzik, 2013)
Desarrollar un programa para la administración de las tareas del mantenimiento de los equipos	Reducción del número de paros de los equipos por cambio o ajuste de pieza.	(Ortiz et al., 2010)
Involucrar al personal en el cuidado de las máquinas	Indicadores de disponibilidad y paradas forzadas	(Hung, 2009)
Reducir tiempos de mantenimientos asignando adecuadamente las tareas al personal de mantenimiento.	Horas hombre empleadas en tareas de mantenimiento	(Torres et al., 2010)
	Reducción de probabilidad de fallas repentinas en los equipos	(Afeý, 2010)
	Indicadores de Calidad y productividad	(Siqueira, 2004)
	Reducción de frecuencia de fallas	(Quevedo et al., 2017)

Fuente: elaboración propia

En la tabla 22, es posible observar que tanto las empresas de los diferentes casos analizados en la literatura, como la empresa del sector del acero en México, buscan los mismos objetivos. Por lo tanto, Es posible considerar que las empresas encuestadas en Colombia, mantengan objetivos similares. Partiendo de este análisis, en la tabla 23 se definen las principales necesidades de los procesos de ambos casos. Las cuales se toman como base para la integración de las distintas herramientas de *WCM*, *RMC* y *Lean Manufacturing*.

Tabla 23. Necesidades de los procesos: empresa mexicana, empresas encuestadas y revisión de literatura. Casos de aplicación

NECESIDADES IDENTIFICADAS: EMPRESA MEXICANA Y CASOS DE ESTUDIO	
1)	Generar una gestión adecuada del mantenimiento de los equipos.
2)	Reducción de horas hombre empleadas en tareas de mantenimiento.
3)	Involucrar al personal en el cuidado de las máquinas.
4)	Reducción de frecuencia de fallas.
5)	Aplicar mantenimiento preventivo en los equipos.

Fuente: elaboración propia

Como ya se vio en la fase 3 de esta investigación de trabajo, se realizó una clasificación de las diferentes herramientas de las metodologías *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*, seleccionando un conjunto de estas para el diseño de la metodología que se pretende desarrollar, considerando las necesidades de los procesos, así como al factor humano. Las herramientas fueron seleccionadas a partir de un análisis sobre la aplicación de estas herramientas en la solución de problemas relacionados con el mantenimiento, siendo este el tema de estudio particular en el presente trabajo de grado.

### 3.3 Fase 5. Plan de mantenimiento para el proceso de trefilado de alambón de una empresa mexicana

Esta etapa consiste en generar y evaluar prototipos, considerando como prototipos en esta investigación a los diagramas o esquemas que permiten el flujo adecuado de actividades del mantenimiento, además de ser otra oportunidad para ganar empatía por las personas y refinar las soluciones y poder mejorarlas (Gonzalez, 2012).

Con base en el conjunto de herramientas seleccionadas en la tabla 19, se desarrolla la siguiente fase de la investigación, en la cual se elabora un plan de mantenimiento basado en la metodología integrada por estas herramientas, considerando como plan de mantenimiento al conjunto de tareas preventivas a realizar en un equipo o instalación, con el fin de cumplir unos objetivos de disponibilidad, fiabilidad, y coste con el objetivo final de aumentar al máximo posible la vida útil de los equipos (García et al., 2015).

Algunas variables a considerar en esta fase se muestran en la figura 21.

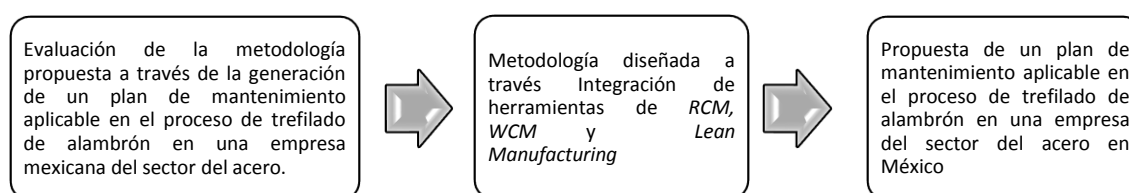


Figura 21. Aspectos importantes fase

Fuente: elaboración propia

En esta fase se muestran los resultados esperados de la investigación tales como: diseño de una metodología para generar un plan de mantenimiento la cual se muestra en la figura 23, plan de mantenimiento y prototipos para la realización de tareas de mantenimiento (diagramas).

Llevar a cabo los pasos de la metodología que se ha diseñado requiere de la participación del factor humano tanto operativo como técnico y responsables de mantenimiento, los cuales deben desarrollarse para que puedan participar en todas las actividades del plan de mantenimiento.

#### 3.3.1 Metodología de plan de mantenimiento basada en *RCM*, *WCM* y *Lean Manufacturing*

La figura 22 muestra un diagrama general de los objetivos esperados de la investigación; las tres metodologías de la izquierda se muestran unidas para generar el diseño de una metodología a través de la cual se generará un plan de mantenimiento, lo anterior integrado con base en el *Design Thinking*.

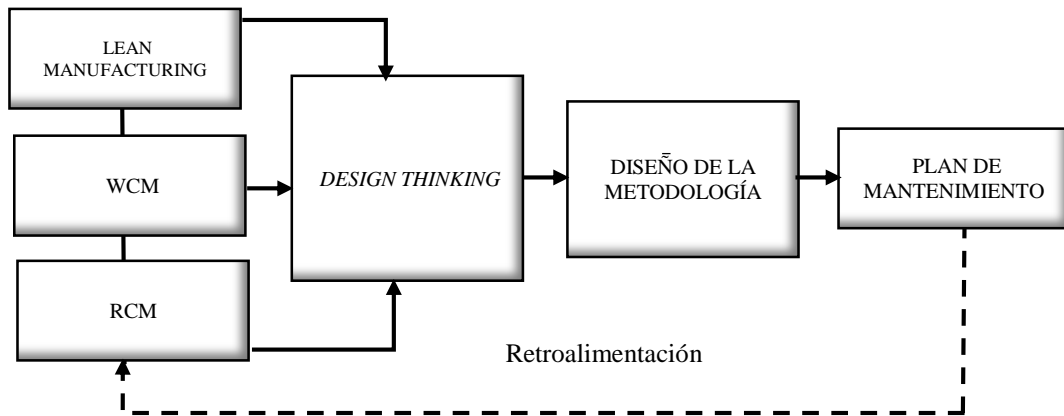


Figura 22. Diagrama de objetivos esperados  
Fuente: elaboración propia

En la figura 24 se observa la relación entre las diferentes actividades del plan de mantenimiento, donde el factor humano técnico y operativo tiene contacto con todas las actividades por lo que debe tener la capacidad de identificar un equipo (necesidad) que requiera atención como participar en el desarrollo de actividades de mejora para lograr la estandarización. El proceso de las actividades de mantenimiento en la figura 24 está representado por una línea continua (→), mientras que la relación entre actividades se presenta con una línea punteada (- - ►), lo que indica que debe haber retroalimentación durante la ejecución del plan desde la definición del área o equipo hasta la generación de mejoras, donde el personal técnico y operativo tiene un rol importante en cada una de la operaciones. La metodología propuesta para generar un plan de mantenimiento aplicable en una empresa mexicana del sector del acero se muestra a continuación, en la figura 23.

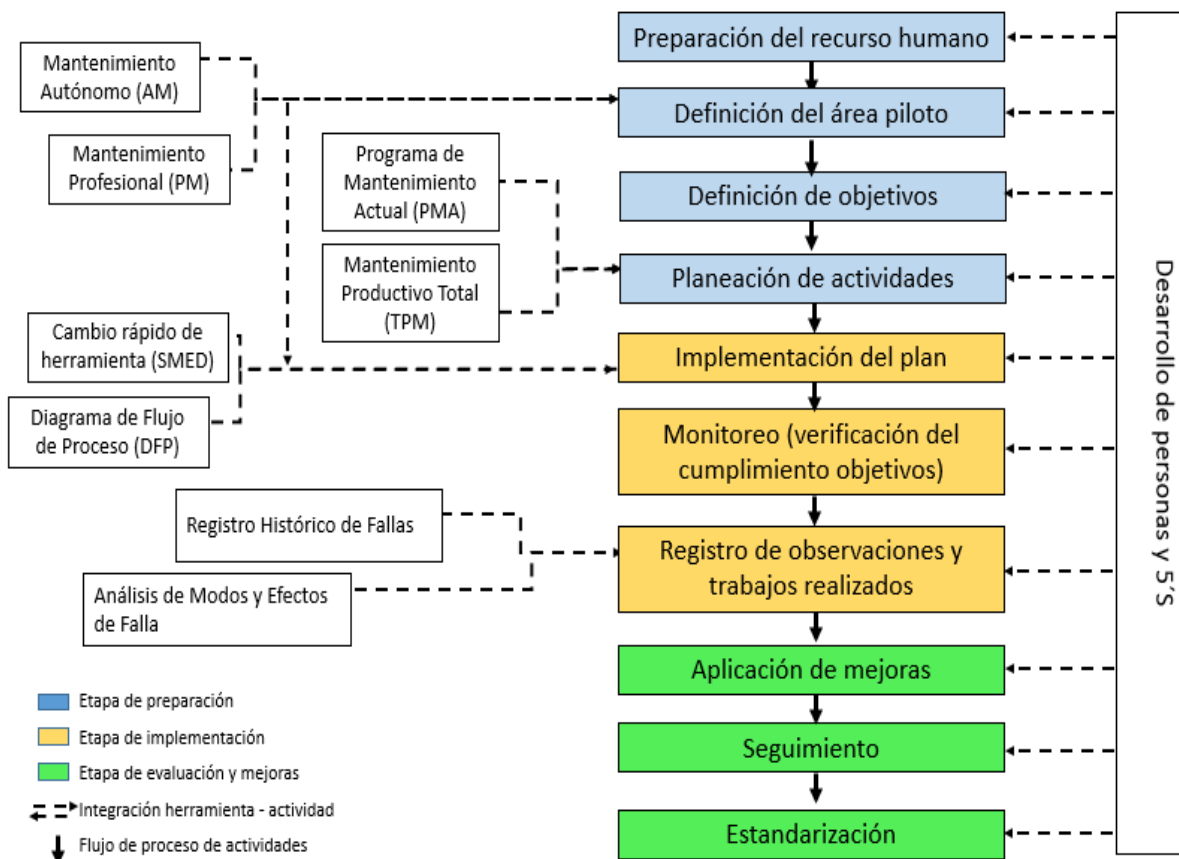


Figura 23. Metodología basada en herramientas de RCM, WCM y Lean Manufacturing  
Fuente: elaboración propia

### 3.3.2 Diagrama de relación de actividades de mantenimiento

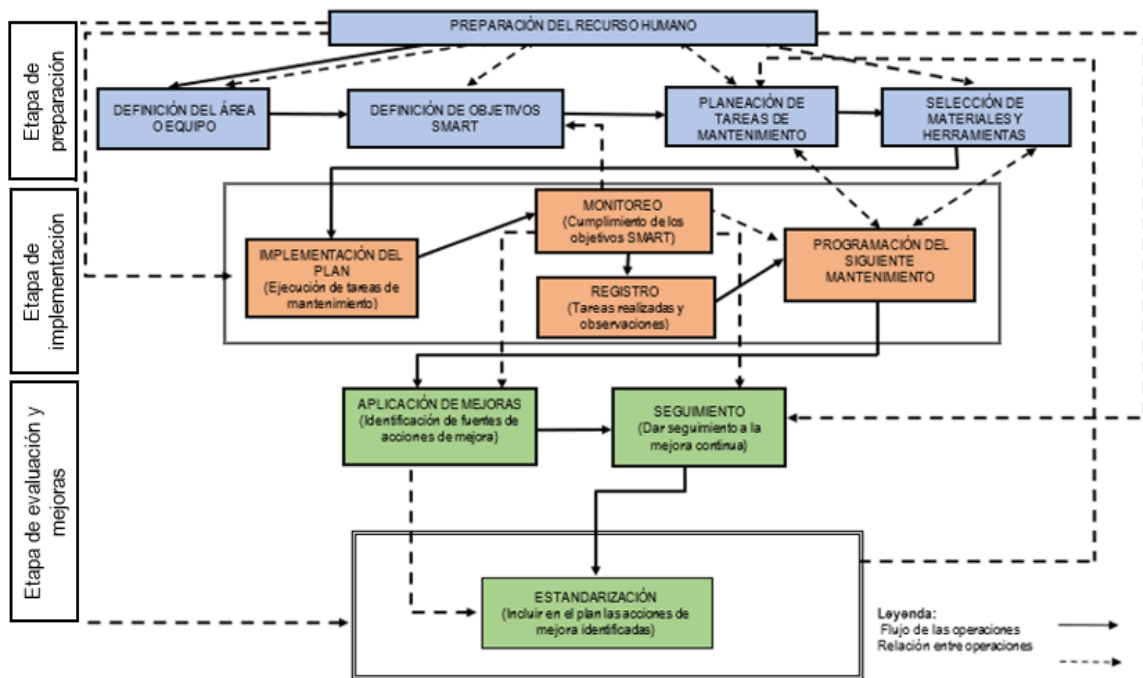


Figura 24. Relación entre actividades del plan de mantenimiento  
 Fuente: elaboración propia

### 3.3.4 Descripción de actividades de la metodología (punto de vista de la literatura)

Tabla 24. Descripción de herramientas acorde al plan de mantenimiento.

PLAN DE MANTENIMIENTO	HERRAMIENTAS	DESCRIPCION
Preparación del recurso humano	Pilar de WCM: Desarrollo de personas y 5's.	DESARROLLO DE PERSONAS y 5's
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Definir principios y prioridades</li> <li>2) Establecer un sistema de capacitación inicial para mejorar habilidades</li> <li>3) Implementar proyectos de mejora de habilidades en equipo</li> <li>4) Establecer un sistema de capacitación adecuado para mejorar habilidades e identificación de expertos</li> <li>5) Establecer un sistema para mejorar y actualizar</li> <li>6) Habilidades específicas y electivas</li> <li>7) Evaluación continua</li> </ol>
Definición del área piloto	Pilares de WCM: Mantenimiento Autónomo Profesional, Desarrollo de personas y 5's.	MANTENIMIENTO AUTONOMO (AM) y DESARROLLO DE PERSONAS
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Limpieza e inspección inicial</li> <li>2) Contramedidas contra las fuentes de contaminación</li> <li>3) Estándares iniciales</li> <li>4) Inspección General</li> <li>5) Inspección Autónoma</li> <li>6) Desarrollo de estándares (organización del área de trabajo y limpieza)</li> <li>7) Aplicación completa del sistema de AM</li> </ol>
Definición de objetivos	Lean Manufacturing y WCM: metodología 5s y Desarrollo de personas	MANTENIMIENTO PROFESIONAL (PM) y 5's
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Eliminación y prevención del deterioro acelerado</li> <li>2) Análisis de fallas, recuperación y revisión del deterioro</li> <li>3) Definición de estándares de mantenimiento</li> <li>4) Medidas que abordan puntos débiles de las máquinas y prolongación de la vida media de los componentes</li> <li>5) Construcción de un sistema de mantenimiento periódico,</li> <li>6) Construcción de un sistema de mantenimiento predictivo (gestión de tendencias)</li> <li>7) Gestión de los costos de mantenimiento, construcción de un sistema de mantenimiento planificado</li> </ol>
		Las 5's y DESARROLLO DE PERSONAS
		Son cinco palabras japonesas: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke, que en inglés se han traducido a: ordenar, sistematizar, barrer, desinfectar, auto disciplinar. El método se centra no solo en los productos, sino también en la calidad del trabajo, los métodos de operación de la máquina, las características del proceso y el enfoque de los procesos y procedimiento

<b>Planeación de actividades</b>	Herramienta de RCM: Mantenimiento Productivo Total, Programa de Mantenimiento y Desarrollo de personas y 5s.	PROGRAMA DE TAREAS DE MANTENIMIENTO y DESARROLLO DE PERSONAS 1) Optimizar la asignación de recursos tanto humanos como materiales, así como minimizar el impacto en la producción. 2) Controlar las tareas de mantenimiento llevando a cabo actividades de mantenimiento preventivo asignadas en un periodo definido.
		DIAGRAMA DE FUJO 1) Proporciona la mayor parte de la información pertinente relacionada con un proceso de manufactura. 2) Una configuración adecuada del proceso. 3) Mostrar un plan pictórico del flujo del trabajo y a partir de esta información es posible desarrollar un nuevo método.
<b>Implementación del plan</b>	Herramienta de WCM y <i>Lean Manufacturing</i> : TPM, AM, PM, SMED, Diagrama de flujo de proceso, Desarrollo de personas y 5s.	MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) 1) Asegurar que cada máquina esté siempre preparada para las tareas que se requieran. 2) Involucra a los operarios en rutinas de mantenimiento, en proyectos de mejora y en las reparaciones simples. 3) Eliminar las pérdidas de los sistemas productivos tales como: paradas, tiempos de cambio, pequeñas detenciones, disminución de velocidad, chatarra y re trabajos
		MANTENIMIENTO AUTONOMO (AM) 1) Mantener de las condiciones básicas de la maquinaria. esto se puede lograr asegurando los estándares operativos correctos de la maquinaria, la limpieza, la lubricación y la seguridad 2) Estabilizar las condiciones básicas de la maquinaria, mejorar su fiabilidad y obtener como resultado el alargamiento de su vida útil 3) Mejora continua de los estándares de mantenimiento y el aumento de las competencias de los operadores en términos de conocimiento de las máquinas y mejora de la calidad de la maquinaria con respecto al producto.
		MANTENIMIENTO PROFESIONAL (PM) 1) Aumentar la confiabilidad y calidad mientras reduce en gran medida el deterioro del equipo y reduce los riesgos de accidentes 2) Reducir las averías y el mantenimiento 3) Desarrollar actividades de mantenimiento planificado 4) Establecer y mantener las mejores condiciones de los sistemas a un costo limitado y de manera eficiente 5) Desarrollar las habilidades de los operadores y los ingenieros de mantenimiento 6) Promover una buena planificación de actividades, reducir el número de paradas programadas para ejecutar mantenimiento, crear cultura "cero fallas"
<b>Monitoreo (verificación del cumplimiento objetivos)</b>	Desarrollo de personas y 5s.	1) Llevar un control de las fallas presentadas en el sistema. 2) Facilitar información actualizada al responsable de mantenimiento. 3) Tomar acciones de mejora con base en la frecuencia de fallas de los equipos registrados.
<b>Registro de observaciones y trabajos realizados</b>	Registro histórico de fallas, desarrollo de personas, AMEF y 5s.	1) Llevar un control de las fallas presentadas en el sistema. 2) Facilitar información actualizada al responsable de mantenimiento. 3) Tomar acciones de mejora con base en la frecuencia de fallas de los equipos registrados.
<b>Aplicación de mejoras</b>	Desarrollo de las personas y 5s.	1) Definir principios y prioridades 2) Establecer un sistema de capacitación inicial para mejorar habilidades
<b>Seguimiento</b>	Desarrollo de las personas y 5s.	3) Implementar proyectos de mejora de habilidades en equipo 4) Establecer un sistema de capacitación adecuado para mejorar habilidades e identificación de expertos
<b>Estandarización</b>	Desarrollo de las personas y 5s.	5) Establecer un sistema para mejorar y actualizar 6) Habilidades específicas y electivas 7) Evaluación continua

### 3.4 Plan de mantenimiento para el proceso de trefilado de alambón.

Se entiende por plan de mantenimiento a un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programadas que se debe realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido (Garrido, 2010).

#### 3.4.1 Tareas de mantenimiento

Según Garrido (2010) son los trabajos que podemos realizar para cumplir con el objetivo de evitar el fallo o minimizar sus efectos. Las tareas de mantenimiento pueden a su vez ser de los siguientes tipos:

- Inspecciones de tipo visual
- Tareas de lubricación
- Inspección del buen funcionamiento del equipo mediante elementos del mismo equipo.
- Inspección del buen funcionamiento mediante elementos externos del equipo.
- Limpiezas técnicas y condicionales del equipo
- Ajustes técnicos y sistemáticos del equipo
- Sustitución sistemática de partes
- Grandes revisiones

Por otra parte Moubray (2004) recomienda que cuando no se hallen actividades de mantenimiento que reduzcan las consecuencias de fallo, se realizan tareas a falta de, como las expuestas en el RCM de Moubray (2004), las cuales son:

- Búsqueda de fallas
- Rediseño
- Mantenimiento a rotura

Con base en lo anterior, se describe a continuación un conjunto de tareas preventivas particularmente para los equipos del proceso de trefilado de alambón de la empresa del caso de estudio esto se observa en la tabla 25.

*La tabla 25. Tareas de mantenimiento preventivo para los equipos de trefilado de alambón de la empresa mexicana*

HERRAMIENTAS DE MEJORA	TAREA	FRECUENCIA
Desarrollo de personas, 5S, Mantenimiento autónomo.	1) Organizar el área de trabajo realizando tareas de limpieza y eliminación de desfilfarros producidos por el desorden.	Diaria
Desarrollo de personas, 5S, Mantenimiento autónomo, Mantenimiento profesional, AMEF.	2) Realizar inspección general del equipo y área de trabajo para identificar fugas y contaminación.	Diaria
Mantenimiento productivo Total, Mantenimiento Autónomo, Mantenimiento Profesional, Desarrollo de Personas, 5S.	3) Asegurar que cada máquina esté siempre preparada para las tareas que se requieran, revisando calibración, niveles de aceite, etc.	Diaria
Mantenimiento productivo Total, Mantenimiento Autónomo, AMEF, Mantenimiento Profesional, Desarrollo de Personas, Registro de fallas, 5S.	4) Identificar ruidos y vibraciones anormales durante la marcha del equipo y reportar al personal de mantenimiento llenando un formato específico.	Diaria
Mantenimiento productivo Total, Programa de tareas de mantenimiento, SMED, Mantenimiento Autónomo, Diagrama de Flujo del Proceso, Desarrollo de Personas, 5S.	5) Llevar a cabo correctamente la orden de trabajo asignada usando adecuadamente los recursos, tales como: equipo, materiales, materia prima, etc.), evitando paros, tiempos de cambio, pequeñas detenciones, disminución de velocidad, chatarra y re trabajos.	Diaria
Mantenimiento productivo Total, Mantenimiento Autónomo, Mantenimiento Profesional, Desarrollo de Personas, 5S.	6) Monitorear el correcto funcionamiento de la máquina, velocidad adecuada, temperatura, ruido, etc. (que realice correctamente la función para la cual fue diseñada)	Diaria
Mantenimiento productivo Total, Mantenimiento Autónomo, SMED, Desarrollo de Personas, 5S.	7) Tomar acciones de mejora con base en la frecuencia de fallas de los equipos registrados.	Diaria

Con base en el diagrama de Pareto visto en la figura 13 y la clasificación de las fallas de la máquina BULL 2 del proceso de trefilado de alambón vista en la tabla 13, se elabora un plan de mantenimiento específico para esta máquina, considerando que estas tareas pueden aplicarse en el resto de los equipos del área piloto vistas en la tabla 12, debido a que realizan proceso de trefilado de alambón similares diferencia únicamente en el diámetros del alambón, esto se observa en la tabla 26.

Es preciso mencionar que la frecuencia de las actividades se determinó basado en la ocurrencia de las fallas en el periodo de estudio y con apoyo del encargado del mantenimiento de la empresa mexicana.

### 3.4.2 Tareas de mantenimiento máquina BULL 2

Tabla 26. Tareas de mantenimiento mecánico: Máquina BULL 2

PLAN DE MANTENIMIENTO				
EQUIPO: BULL 2			PROCESO: TREFILADO DE ALAMBRÓN	
FUNCIÓN: REDUCIR EL DIÁMETRO DE ALAMBRÓN A TRAVÉS DE DADOS				
ELEMENTO	TAREA	FRECUENCIA	RESPONSABLE	
Poleas de Nylamid	1) Revisar desgaste de las poleas de Nylamid	Semanalmente	Operador de producción	
	2) Revisar que las poleas estén correctamente alineadas	Al término de cada rollo	Operador de producción	
	3) Revisar la tensión de las poleas de Nylamid.	Diariamente	Técnico de mantenimiento	
	4) Monitorear la presión de los pistones de las poleas.	Diariamente	Operador de producción	
Centro de polea para decapado	1) Revisar el estado del centro de poleas	Semanalmente	Operador de producción	
	2) Revisar que no existan filos en el centro de la polea.	Diariamente	Operador de producción	
Cardas o Cepillos	1) Revisar el estado (desgaste) de las cardas o cepillos.	Diariamente	Operador de producción	
	2) Revisar que las cardas estén correctamente ajustadas.	Diariamente	Técnico de mantenimiento	
	3) Revisar la rosca de las cardas o cepillos	Semanalmente	Técnico de mantenimiento	
	4) Revisar el exceso de viruta de acero. (motor expuesto)	Diariamente	Operador de producción	
Tornillos de ajuste	1) Revisar los tornillos de las poleas de Nylamid (que no estén flojos)	Diariamente	Operador de producción	
	2) Revisar el estado de la base de las poleas de Nylamid	Semanalmente	Operador de producción	
Poleas Guía	1) Monitorear el estado de las poleas guía del alambre	Diariamente	Operador de producción	
	2) Revisar la alineación y ajuste de poleas guía	Diariamente	Operador de producción	
Poleas de Banda	1) Revisar el estado de las poleas de las bandas.	Diariamente	Operador de producción	
	2) Revisar alineación y ajuste de poleas de banda	Diariamente	Operador de producción	
Baleros	1) Revisar estado de baleros	Semanalmente	Operador de producción	
	2) Revisar funcionamiento de baleros	Diariamente	Operador de producción	
	Ø Baleros de poleas de Nylamid	Semanalmente	Operador de producción	
	Ø Baleros de sinfin	Mensualmente	Técnico de mantenimiento	
	Ø Baleros de polea guía de cepilladora	Semanalmente	Operador de producción	
Ø Baleros de poleas decapadoras	Semanalmente	Operador de producción		
Cadena de ría	1) Revisar el estado de la cadena de la ría	Mensualmente	Técnico de mantenimiento	
	2) Revisar la tensión de la cadena de la ría.	Mensualmente	Técnico de mantenimiento	
	3) Revisar la lubricación de la cadena de ría.	Diariamente	Operador de producción	
Bandas	1) Revisar el estado de la banda de la ría	Diariamente	Operador de producción	
	3) Revisar el correcto funcionamiento de la banda de ría.	Diariamente	Operador de producción	
Puente rectificador	1) Revisar el estado del puente rectificador.	Semanalmente	Operador de producción	



	2)	Revisar la posición del puente rectificador.	Semanalmente	Operador de producción
Pedal de JOG	1)	Revisar estado posición y desgaste) del pedal jog	Mensualmente	Técnico de mantenimiento
Guía de porta dado	1)	Revisar estado de guía de portadado	Diariamente	Operador de producción
	2)	Revisar buje de guía de portadado	Diariamente	Operador de producción
Carrusel de coiler	1)	Revisar carrusel de coiler	Mensualmente	Técnico de mantenimiento
	2)	Revisar base de carrusel de coiler	Mensualmente	Técnico de mantenimiento
Mangueras de aire	1)	Revisar estado de mangueras de aire	Semanalmente	Técnico de mantenimiento
	2)	Revisar conexiones de mangueras de aire	Mensualmente	Técnico de mantenimiento
	3)	Revisar existencia de fugas de aire.	Diariamente	Operador de producción
Caja de rodillos	1)	Revisar estado de caja de rodillos	Mensualmente	Técnico de mantenimiento
	2)	Revisar estado de rodillos	Semanalmente	Técnico de mantenimiento
Engranés	1)	Revisar estado de engranes de ría	Mensualmente	Técnico de mantenimiento
	2)	Revisar lubricación de engranes de ría	Diariamente	Operador de producción

Fuente: elaboración propia.

Una de los tipos de falla que se ha presentado en el proceso de trefilado de alambón son las fallas eléctricas, para esto, en la tabla 27 se describen la siguientes tareas de mantenimiento para los principales componentes eléctricos de la máquina BULL 2, considerando que estas tareas también deban ser desarrolladas en el resto de los equipos del área piloto.

Tabla 27. Tareas de mantenimiento eléctrico: Máquina BULL 2

PLAN DE MANTENIMIENTO		
<b>EQUIPO:</b> Bull 2	<b>PROCESO:</b> Trefilado de alambón	<b>RESPONSABLE:</b> Eléctricos y electrónicos
<b>FUNCIÓN:</b> Reducir el diámetro de alambón a través de dados		
ELEMENTO	TAREA	FRECUENCIA
Contacto de motor	Revisar estado de los contactos de motor.	
Elevador de sobre carga	Revisar estado y funcionamiento elevador de sobrecarga.	
Sproket	Revisar estado Sproket	
Cables	Revisar el cableado de los contactos de motor.	
Swhitch	Revisar estado y funcionamiento de Swhitch.	
Motor	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Revisar estado y funcionamiento de los motores de las cardas o cepillos.</li> <li>2) Revisar motor y relevador.</li> <li>3) Revisar corriente de armadura de motor.</li> <li>4) Revisar bobina del motor</li> </ol>	

Fuente: elaboración propia

### 3.4.3 Recomendaciones

- Revisión constante de la tensión del alambre en el canasto de acumulación.
- Monitoreo continuo del estado de las poleas de Nylamid y tornillos al término de cada rollo de alambón.
- Monitoreo continuo de la presión de los pistones de las poleas al término de cada rollo de alambón.
- Ajustar presión de pistones de poleas cuando se pierde la tensión del alambre en el canasto de acumulación
- Revisión de estado del centro de polea decapadora al término de cada rollo de alambón.
- Inspección constante de alambón que no presente rayaduras
- Revisión del estado de las cardas en cada cambio de rollo y realizar ajustes si es necesario
- Colocar tornillos correctos a las poleas de Nylamid y ajustar a nivel determinado
- Monitorear constantemente la velocidad de la máquina.

La tabla 28 muestra unas recomendaciones al personal de mantenimiento, operativo y administrativo sobre actividades importantes en la ejecución del plan de mantenimiento.

Tabla 28 Descripción del rol de trabajo

RESPONSABLE	ROL
<b>Operario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sentir empoderamiento para sugerir ideas de mejora.</li> <li>➤ Ser capacitado para llevar a cabo la rutina diaria de prevención en las tareas de mantenimiento.</li> <li>➤ Crear el objetivo de Menos reparaciones.</li> <li>➤ Sentirse parte del equipo de mejora y contribuir a resolver los problemas.</li> </ul>
<b>Encargado de mantenimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Entrenar a todos los operadores con rutinas de tareas para mantenimiento preventivo.</li> <li>➤ Desarrollar y transmitir un pensamiento en mantenimiento preventivo.</li> <li>➤ Establecer y llevar a cabo un horario con tareas de inspección del mantenimiento preventivo.</li> <li>➤ Apoyar en el diagnóstico, desarrollo e implementación de estrategias del mantenimiento preventivo.</li> </ul>
<b>Gerente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Invertir un gran porcentaje de su tiempo en el monitoreo de los talleres de mantenimiento como un líder.</li> <li>➤ Motivar al personal en la generación de planes para la mejora de la maquinaria o equipo.</li> <li>➤ Mantener una comunicación rápida y realizar reuniones programadas en toda la planta.</li> </ul>

Fuente: adaptado de (Rubrich & Watson, 1998)

Adicionalmente al modelo y a la descripción del plan de mantenimiento, en la tabla 29 se muestra un formato para la realización de tareas del mantenimiento de los equipos del proceso de trefilado de alambón, posteriormente se describe la forma de llenado de dicho formato.

Tabla 29. Formato de tareas de mantenimiento.

GESTIÓN ADMINISTRATIVA DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPOS			
RESPONSABLE DE APLICACIÓN			
PERSONAL DE MANTENIMIENTO		PERSONAL DE PRODUCCIÓN	PERSONAL EXTERNO
PRESENTA FALLA		POSIBLE FALLA	FECHA:
NOMBRE DEL EQUIPO:			
FENÓMENO:			
EFFECTO:			
POSIBLE CAUSA:			
CONDICIONES ÓPTIMAS:			
¿EN QUÉ HORARIO IDENTIFICÓ LA FALLA?			
ORDEN DE TRABAJO	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	INICIO	TÉRMINO

MATERIALES A UTILIZAR	REPUESTOS NECESARIOS	OBSERVACIONES	
STATUS DE LA MÁQUINA                      TERMINADO _____      EN PROCESO _____			
RESPONSABLE DE REALIZAR LA TAREA:			

Fuente: elaboración propia

### 3.4.4 Descripción de llenado de formato de tareas de mantenimiento

RESPONSABILIDAD DE APLICACIÓN: Seleccionar el personal que desarrollar la tarea de mantenimiento.

- 1) PERSONAL DE MANTENIMIENTO: Si la tarea la realiza el mecánico de piso, eléctrico o técnico auxiliar de mantenimiento.
- 2) PERSONAL DE PRODUCCIÓN: Si la tarea de mantenimiento es menor y es realizada de forma autónoma por personal de producción.
- 3) PERSONAL EXTERNO: Si la tarea requiere ser desarrollada por personal especializado externo a la empresa

NOMBRE DEL EQUIPO: Colocar el nombre del equipo que deba ser mantenido.

FENÓMENO: Describir el estado de la máquina o elemento que no cumple con la función adecuada.

EFFECTO: Consecuencia que provoca o puede provocar el fenómeno.

POSIBLE CAUSA: Describir la causa o posible causa de la anomalía identificada en el equipo y que pueda causar una falla.

CONDICIONES ÓPTIMAS: Describir el correcto funcionamiento adecuado del equipo.

DESCRIPCIÓN DE LA TAREA REALIZADA: Describir las actividades realizadas de forma sencilla y clara.

CODIGO DE LA TAREA: Colocar el código de la tarea que se realiza, esto para alimentar la base de datos y programar las siguientes tareas de mantenimiento.

- 1) MATERIALES A UTILIZAR: Mencionar los materiales o equipos necesarios para ejecutar la tarea asignada.
- 2) REPUESTOS NECESARIOS: Mencionar los repuestos o refacciones utilizadas para corregir o prevenir el fallo.
- 3) OBSERVACIONES: Describir las observaciones durante la ejecución de la tarea o posibles acciones de mejora.

RESPONSABLE DE REALIZAR LA TAREA: Colocar el nombre y número de trabajador que realiza la tarea.

Con base en la metodología diseñada se presenta un diagrama que muestra el flujo de las actividades necesarias para llevar adecuadamente el plan de mantenimiento en el proceso de trefilado de alambón de la empresa mexicana, esto se observa en la figura 25.

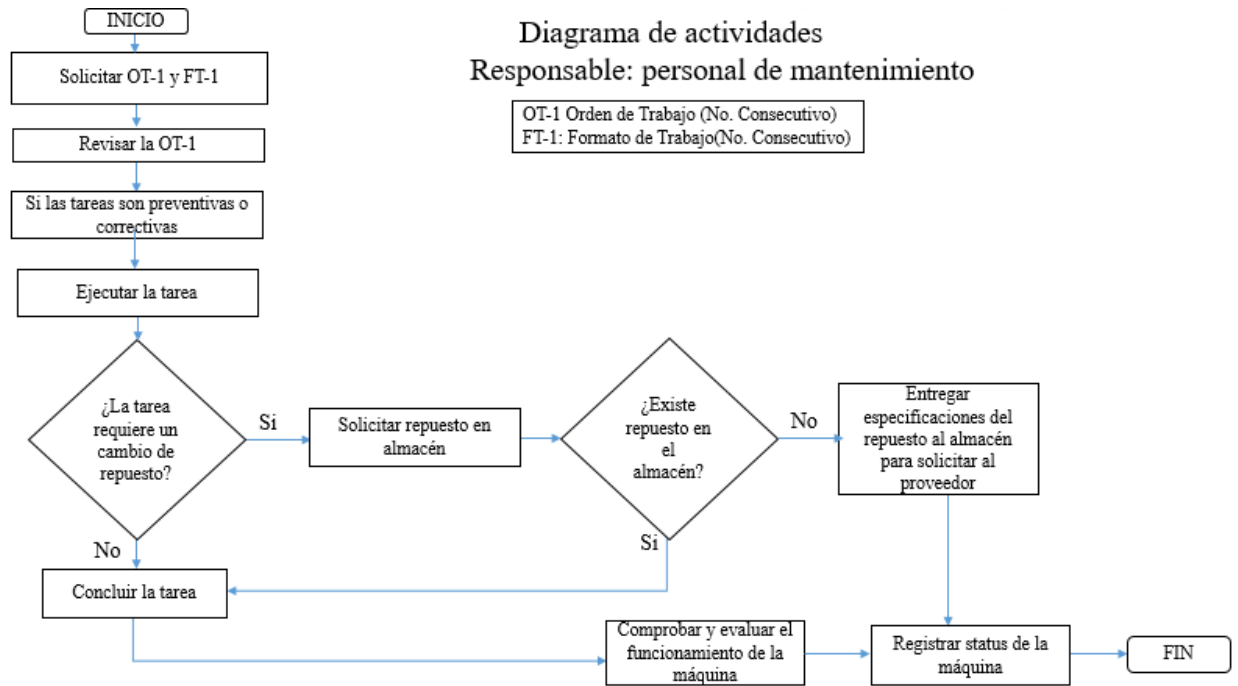
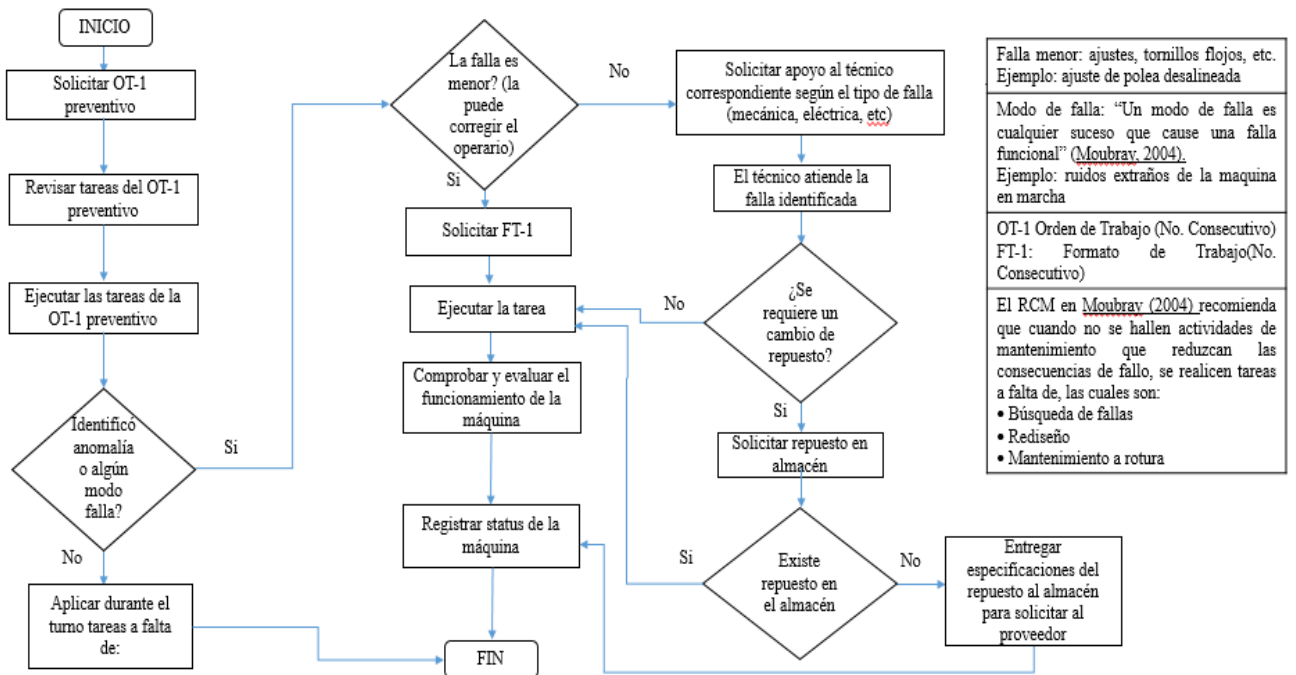


Figura 25. Diagrama de flujo de actividades de mantenimiento

Considerando las actividades que recomienda la literatura en el mantenimiento autónomo y profesional se diseña un diagrama de flujo de actividades que debe desarrollar el personal operativo, siendo ellos una pieza clave en la generación de ideas para la mejora e identificación de posibles fallos al tener contacto directo con los equipos, ver figura 26.



### 3.5 Resultados y discusión

A través de la investigación realizada sobre la aplicación de herramientas de las metodologías *RCM*, *WCM*, y *Lean Manufacturing* en diversos procesos industriales, se logró identificar, seleccionar e integrar un conjunto de estas herramientas para llevar a cabo el diseño de una metodología, la cual, se tomó como base para generar un plan de mantenimiento específico para el proceso de trefilado de alambón, de una empresa mexicana del sector del acero como caso de estudio particular. Para llevar a cabo el diseño de dicha metodología fue necesario integrar las diferentes herramientas identificadas a partir del desarrollo de una serie de fases, las cuales fueron basadas en el *Design Thinking* (empatizar, definir, idear, prototipar, evaluar).

A través del desarrollo de las fases mencionadas fue posible integrar las herramientas de las metodologías mencionadas las cuales fueron seleccionadas acorde al objetivo planteado y atendiendo la pregunta de investigación. Como resultado de esa integración se generó una metodología que muestra una serie de pasos para llevar a cabo el plan de mantenimiento, el cual se desarrolló usando un lenguaje claro y sencillo específicamente para el proceso de trefilado de alambón de la empresa mexicana atendiendo la pregunta de investigación planteada.

Posteriormente se describe un conjunto de tareas de mantenimiento mecánico y eléctrico específicas para la máquina BULL 2. Adicionalmente, se diseñaron dos diagramas de flujo que servirán de apoyo en la ejecución de las tareas mencionadas. Atendiendo el problema de la falta del control de las tareas, se diseñó un programa específico para la gestión adecuada de los mantenimientos de los equipos de esta empresa del sector del acero, esto se puede observar en el anexo 2.

Lo anterior proporciona a las partes interesadas la importancia de involucrar al personal operativo en la generación de ideas para mantener el funcionamiento adecuado de los equipos y mejorar los procedimientos para la ejecución de las tareas de mantenimiento haciendo uso de los prototipos (diagramas o esquemas) para lograr del flujo continuo de la producción.

Es importante realizar un contraste de esta metodología con implementaciones en empresas del sector del acero en Colombia y otros países, con el propósito de observar los resultados obtenidos explorando las razones de éxitos y fracasos, esto permitiría reunir información para compararla con la propuesta teórica y de esa manera mejorar su validez. Es probable que sea necesario crear enfoques que muestren las diferencias culturales entre países, regiones y compañías, para incorporar dichas diferencias en cada implementación.

Por otra parte, se podrán realizar implementaciones piloto a través de proyectos de pregrado para observar el comportamiento de este modelo en la práctica y estudiar sus ventajas y limitaciones en la aplicación real. Es decir, será adecuado crear mecanismos que hagan flexible el modelo y que permitan reconocer condiciones propias en la forma de ser de cada empresa y guiar al consultor o implementador del modelo.

### 3.6 Bibliografía

1. Castañeda, M. P. (2016). Análisis de propuestas metodológicas de implementación de Lean manufacturing en pequeñas y medianas empresas.
2. Arrieta, P. J. G., Botero, H. V. E., Martínez, R., & Jimena, M. (2010). Benchmarking sobre Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) en el sector de la confección en la ciudad de Medellín, Colombia. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 15(28), 141-170.
3. Ortega, M. S., & Ceballos, P. B. (2015). *Design thinking: Lidera el presente. Crea el futuro*: ESIC Editorial.
4. Ortiz, F. F., Vilchis, J. G. S., Alvarado, A. M. L., Báez, O. S., & Raygoza, M. B. (2010). Aplicación de mantenimiento autónomo para reducir el número de paros en una empresa metal-mecánica. *Revista de la Ingeniería Industrial*, 4.
5. Moubay, J. (2004b). Mantenimiento centrado en confiabilidad. *Gran Bretaña: Aladon ltda*.
6. Afefy, I. H. (2010). Reliability-centered maintenance methodology and application: a case study. *Engineering*, 2(11), 863.
7. Rausand, M., & Vatn, J. (2008). Reliability centred maintenance *Complex system maintenance handbook* (pp. 79-108): Springer.
8. Zambrano, V. S. M., Segura, V. Á. M., & González, M. J. J. (2017). World class manufacturing in micro manufacturers of handmade wooden furniture industry in Puntalarga-Colombia. *Pensamiento & Gestión*(42), 162-186.
9. Borges, R. C., De Abreu, S. C. A., & Vaz, J. M. (2014). Estudo do SMED por meio da metodologia World Class Manufacturing-WCM. *Seminários em Administração*, 27.
10. Yamashina, H., Stefan, K., & Massone, L. (2013). World Class Manufacturing, Methods and Tools for the Fiat Group Automobiles Production System.

11. Diario el financiero. (2018). Diario de economía, mercados y negocios en alianza con Bloomberg, consultado el 22 de septiembre del 2018.
12. ANDI. (2018). Informe del sector siderúrgico, comité colombiano de productores de acero, consultado el 09 de julio 2019.
13. Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento-planeación, ejecución y control*: Alfaomega Grupo Editor.
14. Hung, A. J. (2009). Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC; Reliability Centered Maintenance as a Strategy to support availability and forced outages indicator. *Ingeniería energética*, 30(2), 13-18.
15. Olarte, W., Botero, M., & Cañon, B. (2010). Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. *Scientia et technica*, 1(44), 354-356.
16. Garrido, S. G. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento*: Ediciones Diaz de santos.
17. Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2010). Metodología de la investigación.
18. Barajas, A. M., & Cruz, G. C. (2011). Propuesta de una estrategia de mantenimiento utilizando Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
19. Fernández, F. J. G. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*: FC editorial.
20. SAE, J. (2002). A guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard. *SAE International*, 31.
21. Arrieta, J. G., Domínguez, J., Echeverri, A., & Gutiérrez, S. (2011). Aplicación lean manufacturing en la industria colombiana. Revisión de literatura en tesis y proyectos de grado. *Revista Virtual Pro*, 132.
22. Correa, G. F. (2007). Manufactura esbelta (lean manufacturing). Principales herramientas. *Revista Raites*, 1(2), 85-112.
23. Posada, J. G. A., Herrera, V. E. B., & Martínez, M. J. R. (2010). Benchmarking sobre Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) en el sector de la confección en la ciudad de Medellín, Colombia. *The bi-annual academic publication of Universidad ESAN*, 15(28).
24. Yamashina, H. (2009). World class manufacturing: Métodos e instrumentos. *Material interno de aplicação WCM da empresa em estudo*.
25. Łyp-Wrońska, K. (2016). *World Class Manufacturing Methodology as an Example of Problems Solution in Quality Management System* (Vol. 682).
26. Gonzalez, F. (2012). Mini guía: una introducción al Design Thinking+ Bootcamp bootleg. *Hasso Platner, Institute of design at Stanford*.
27. Center, B. I. (2015). Un método creativo y diferente para afrontar proyectos y solucionar los problemas que surgen en las empresas: design thiking: España: BBVA Innovation Trends.
28. Torres, V. A., Perdomo, O. M., Fornero, D., & Corcuera, R. (2010). Aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad a la Central Nuclear de Embalse. *Nucleus*(47), 24-29.
29. De Felice, F., Petrillo, A., & Monfreda, S. (2013). Improving operations performance with world class manufacturing technique: a case in automotive industry *Operations management: IntechOpen*.
30. Poor, P., Kocisko, M., & Krehel, R. (2016). World Class Manufacturing (WCM) model as a tool for company management. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 27.
31. Martins, P. G., & Laugeni, F. P. (2005). *Administração da produção*: Saraiva São Paulo.
32. González, C. F. (2007). Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing). Principales Herramientas. *RAITES antes PANORAMA ADMINISTRATIVO*, 1(2), 85-112.
33. Gutiérrez, R., & Camilo, J. (2009). *Aplicabilidad de las metodologías de diseño de producto en el desarrollo y creación de páginas web y diseños gráficos*. Ingeniería de Diseño de Producto.
34. Ulrich, K. t. (2004). Eppinger; Steven D. Diseño y Desarrollo de Productos: Enfoque multidisciplinario: McGraw-Hill.
35. Pulido, H. G., & Quirarte, A. T. (2007). Planeación avanzada de la calidad del producto (APQP): conceptos básicos y un caso práctico. *e-Gnosis*, 5.
36. Jolayemi, J. K. (2008). Hoshin kanri and hoshin process: A review and literature survey. *Total Quality Management*, 19(3), 295-320.
37. Carranza, S., & Pablo, J. (2018). Los métodos de planificación estratégica: un análisis comparativo de distintos métodos.
38. Ghauri, P. N., & Gronhaug, K. (2005). *Research methods in business studies: A practical guide*: Pearson Education.
39. Field, A. (2005). *Discovering statistics using SPSS* . Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc.

40. Alarcón, G., Aidé, L., Balderrama, T. J. A., & Edel, N. R. (2017). Validez de contenido por juicio de expertos: propuesta de una herramienta virtual. *Apertura (Guadalajara, Jal.)*, 9(2), 42-53.
41. Taherdoost, H. (2016). Validity and reliability of the research instrument; how to test the validation of a questionnaire/survey in a research.
42. Straub, D., Boudreau, M. C., & Gefen, D. (2004). Validation guidelines for IS positivist research. *Communications of the Association for Information systems*, 13(1), 24.
43. Gajdzik, B. (2013). World Class Manufacturing in metallurgical enterprise. *Metalurgija*, 52(1), 131-134.
44. Maldonado Villalva, G. (2008). Herramientas y técnicas lean manufacturing en sistemas de producción y calidad.
45. Posada, J. G. A. (2007). Interacción y conexiones entre las técnicas 5s, SMED y Poka Yoke en procesos de mejoramiento continuo. *Tecnura*, 10(20), 139-148.
46. Tapia Coronado, J., Escobedo Portillo, T., Barrón López, E., Martínez Moreno, G., & Estebané Ortega, V. (2017). Marco de Referencia de la Aplicación de Manufactura Esbelta en la Industria. *Ciencia & trabajo*, 19(60), 171-178.
47. Marchwinski, C., & Shook, J. (2003). *Léxico lean: glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean*: Lean Institute Brasil.
48. Arrieta, J. G., Domínguez, J., Echeverri, A., & Gutiérrez, S. (2011). Aplicación lean manufacturing en la industria colombiana. Revisión de literatura en tesis y proyectos de grado. *Revista Virtual Pro*, 132.
49. Felizzola, J. H., & Luna, A. C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(2), 263-277.
50. Posada, J. G. A., Herrera, V. E. B., & Martínez, M. J. R. (2010). Benchmarking sobre Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) en el sector de la confección en la ciudad de Medellín, Colombia. *The bi-annual academic publication of Universidad ESAN*, 15(28).
51. Deshpande, V., & Modak, J. (2002). Application of RCM to a medium scale industry. *Reliability Engineering & System Safety*, 77(1), 31-43.
52. Dacheng, I., & Jinji, G. (2010). Study and application of Reliability-centered Maintenance considering Radical Maintenance. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23(5), 622-629.
53. Gang, N., Yang, B.-S., & Pecht, M. (2010). Development of an optimized condition-based maintenance system by data fusion and reliability-centered maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(7), 786-796.
54. Carazas, F., Salazar, C., & Souza, G. (2011). Availability analysis of heat recovery steam generators used in thermal power plants. *Energy*, 36(6), 3855-3870.
55. Torres, V. A., Perdomo, O. M., Fornero, D., & Corcuera, R. (2010). Aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad a la Central Nuclear de Embalse. *Nucleus*(47), 24-29.
56. Siqueira, I. P. (2004). *Optimum reliability-centered maintenance task frequencies for power system equipments*. Paper presented at the 8th International Conference on PMAAPS.
57. Quevedo, J. P. D., Paredes, L. E., & Chinchayan, R. G. (2017). Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad. *Revista Científica INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4(1).
58. SAE JA 1011, N. (1999). Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento centrado en Confiabilidad. *Norma para vehículos aeroespaciales y de superficie. ISO estándar: Ginebra, Suiza, 1*.
59. Rubrich, L., & Watson, M. (1998). *Implementing World Class Manufacturing: A Bridge to Your Manufacturing Survival: Shop Floor Manual*: Wcm Associates.
60. Li, D., & Gao, J. (2010). Study and application of Reliability-centered Maintenance considering Radical Maintenance. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23(5), 622-629.
61. Niu, G., Yang, B.-S., & Pecht, M. (2010). Development of an optimized condition-based maintenance system by data fusion and reliability-centered maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(7), 786-796.
62. Shingo, S. (1997). *Sistema Smed. Una revolución en la manufactura*. Portland: USA: Productivity press.
63. Shook, J., & Marchwinski, C. (2003). *Léxico Lean—Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean*. São Paulo: *Lean Enterprise Institute*.
64. Toledano, d. D. A., Mañes, S. N., & García, S. J. (2009). "Las claves del éxito de Toyota". LEAN, más que un conjunto de herramientas y técnicas. *Cuadernos de Gestión*, 9(2).

65. Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 21(1), 125-138.
66. Niebel, B. W., Freivalds, A., & Osuna, M. A. G. (2004). *Métodos, estándares y diseño del trabajo*: Alfaomega.
67. Useche, A. O., Monroy, C. R., & Izquierdo, H. (2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista venezolana de gerencia*, 18(61), 86-104.
68. Dixon, D. R. (2000). *Sistemas de Mantenimiento, planeación y control*. México: Editorial Limusa Wiley SA.
69. Garcia, G. S., Paz, A., Kherder, W., Villanueva, I., Sánchez, Y., & Moreno, D. (2015). Publicación Periódica de Mantenimiento, Industria y Energía. *Renovetec*, 1.
70. Moubray, J. (2004a). Mantenimiento centrado en confiabilidad. *Reliability Centered Maintenance, Latinoamericana, 1ª Edición en español, España*.
71. Groesbeck, R. (2005). Class notes for the course in production systems improvement. *Virginia Tech, Blacksburg, VA*.
72. Tejeda, A. S. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y sociedad*.

## ANEXO 1 Encuesta

← → ↻ <https://es.surveymonkey.com/r/Z7TT58C>

### ENCUESTA DE MANTENIMIENTO

#### ENCUESTA DE MANTENIMIENTO

Considerando que Colombia cuenta con cinco productores de acero ubicados en su mayoría en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, es importante conocer los diferentes problemas que enfrentan las organizaciones en sus procesos. Ya que la industria del acero en Colombia ha crecido un 13% entre el 2010 y 2017. El país se establece como el tercer productor más grande de este metal en Suramérica y el cuarto en Latinoamérica manteniendo productos para el ramo de la construcción entre los más importados se encuentra el alambroón, el cual conserva el alza con respecto al año 2013.

Por tal motivo y contribuyendo al desarrollo de los procesos del acero, se desarrolla la presente encuesta con fines académicos y con el objetivo de conocer la opinión de expertos en el sector del acero acerca de temas relacionados con la mejora continua. Los resultados serán de gran importancia para el desarrollo de un proyecto de investigación en la Escuela Colombiana de Ingenierías Julio Gravito, por lo que se le solicita amablemente su apoyo en el llenado de esta encuesta.

Aceptar

#### 1. ¿Cuáles han sido los problemas que ha experimentado usted en su área de producción?

- De calidad
- De mantenimiento
- De personal operativo
- De seguridad
- otra

#### 2. ¿Conoce usted alguna herramienta para la mejora continua?

- No
- Si
- ¿Cuáles?

5 s



3. ¿En qué medida considera usted necesario la implementación de herramientas de mejora en los procesos de producción?

- Muy necesario
- Poco necesario
- No es necesario

4. ¿Qué tipo de mantenimiento desarrollan en sus equipos de producción?

- Preventivo
- Correctivo
- Predictivo
- La combinación de dos ¿Cuáles?

preventivo y correctivo

5. ¿Utilizan algún tipo de software para la gestión del mantenimiento?

- No
- Si ¿Cuál?

6. ¿Conoce usted alguna de las siguientes metodologías de mejora?

- Manufactura de Clase Mundial
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
- Manufactura Esbelta
- Ninguna

7. ¿Cuál es su opinión acerca de un plan de mantenimiento diseñado a través de la integración de herramientas de mejora continua?

- Excelente
- Buena
- Pienso que si funcionaría
- No me parece buena idea

8. ¿Estaría usted de acuerdo en implementar un plan de mantenimiento para mejorar algunos indicadores en su proceso de producción?


- Si
- No
- Tal vez

9. ¿Cómo considera usted la resistencia al cambio de los empleados con respecto a la implementación de un nuevo plan de mantenimiento?

- No habría resistencia al cambio
- Se resistirían al cambio, pero colaborarían con el plan
- Habría mucha resistencia al cambio

## ANEXO 2 Programa para la gestión del mantenimiento

INTRO DATOS

  
ACEROS TITÁN

BASE DE DATOS MANTENIMIENTOS

NAVE 1 NAVE 2 NAVE 3 NAVE 4 NAVE 5 NAVE 6

NAVE 7 NAVE 8 NAVE 9 NAVE 10 NAVE 11 NAVE 12

CONSULTA 1 REPORTAR UN MANTENIMIENTO

Registro: 1 de 1 Sin filtro Buscar

INTRO DATOS

DATOS

Id (Nuevo)

#OTM

MAQUINAS

TIPO MANTENIMIENTO

TRABAJO REALIZADO

FECHA DE MMTO

HORA DE INICIO

HORA FINAL

TECNICO

STATUS

COMENTARIOS

NUEVO MMTO

Registro: 4 de 4 Sin filtro Buscar

INTRO **DATOS**

## DATOS

Id

#OTM

MAQUINAS

TIPO MANTENIMIENTO

TRABAJO REALIZADO

FECHA DE MMTO

HORA DE INICIO

HORA FINAL

TECNICO

STATUS

COMENTARIOS

Registro: 4 de 4 Sin filtro Buscar

INTRO **DATOS**

## DATOS

Id

#OTM

MAQUINAS

TIPO MANTENIMIENTO

TRABAJO REALIZADO

FECHA DE MMTO

HORA DE INICIO

HORA FINAL

TECNICO

STATUS

COMENTARIOS

Registro: 4 de 4 Sin filtro Buscar

INTRO DATOS

## DATOS

Id

#OTM

MAQUINAS

TIPO MANTENIMIENTO

TRABAJO REALIZADO

FECHA DE MMTO

HORA DE INICIO

HORA FINAL

TECNICO

STATUS

COMENTARIOS

Registro: 4 de 4 Sin filtro Buscar

INTRO DATOS

## DATOS

Id

#OTM

MAQUINAS

TIPO MANTENIMIENTO

TRABAJO REALIZADO

FECHA DE MMTO

HORA DE INICIO

HORA FINAL

TECNICO

STATUS

COMENTARIOS

Registro: 4 de 4 Sin filtro Buscar

INTRO DATOS

## DATOS

Id	C. ADRIAN	4608
#OTM	CARLOS	4442
MAQUINAS	DANIEL	3627
TIPO MANTENIMIENTO	DAVID LOPEZ	4600
TRABAJO REALIZADO	EDWIN	4665
FECHA DE MMTO	EFRAIN HDZ	2675
HORA DE INICIO	ERNESTO	4972
HORA FINAL	EUSTAQUIO	
TECNICO	FCO RIVERA	3387
STATUS	GABRIEL	4754
COMENTARIOS	GILBERTO	4840
	ILDEGARDO	2378
	JUAN ASUNCION	1572
	JUAN LUIS	3989
	MARCO	4649
	NOE BRISEÑO	4752
	DANIEL	

NUEVO MMTO

Registro: 14 de 4 Sin filtro Buscar

### ANEXO 3: Artículo enviado a revista “Entre Ciencia e Ingeniería”

ARTICULO DISEÑO DE UNA METODOLOGIA EMILIO PEREZ ADAN 4

emilio perez adan  
Mié 26/06/2019 12:27 PM  
entrecei@ucp.edu.co

DISEÑO DE UNA METODOLO...  
896 KB

FichaDelAutor (1).docx  
812 KB

Mostrar los 4 datos adjuntos (3 MB) Descargar todo Guardar todo en OneDrive

Buen día : Señores  
ENTRE CIENCIA E INGENIERÍA MAGAZINE  
Comité Editorial/Científico

Después de saludarle hago de su conocimiento que me he interesado en publicar un artículo es su revista " entre ciencia e Ingeniería". por tal motivo envío la información para su evaluación. Quedo atento.

Saludos cordiales.

Emilio Pérez Adán  
Estudiante de maestría en Ingeniería Industrial

emilio perez adan  
Enterado. Quedo atento. Saludos. Emilio Pérez Adán Estudiante de maestría en Ingeniería Industrial Escuel...  
Mié 03/07/2019 09:24 AM

RE Revista EntreCiencaIngeniería <entrecei@ucp.edu.co>  
Mar 02/07/2019 03:32 PM  
Usted

Estimado autor,  
Hemos recibido su artículo, el cual pasa a primera revisión editorial, apenas tengamos los resultados se los comunicaremos.

Cordial saludo.

## ANEXO 4: Artículo aceptado en congreso en Orlando Florida

29/7/2019

Correo - emilio.perez@mail.escuelaing.edu.co

### I: 2019 IISE Annual Conference Author Notification

IVONNE ANGELICA CASTIBLANCO JIMENEZ

lun 22/07/2019 01:43 p.m.

Para: PEREZ ADAN EMILIO <emilio.perez@mail.escuelaing.edu.co>;



**Ing. Ivonne Castiblanco M.Sc.**

Profesor de Planta

Departamento de Ingeniería Industrial

Coordinación de semilleros

[ivonne.castiblanco@escuelaing.edu.co](mailto:ivonne.castiblanco@escuelaing.edu.co)

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Autopista Norte AK 45 No. 205-59

PBX: (57-1) 6683600 Ext. 278 - 279

Bogotá, D.C., Colombia

**Da:** Bill Gibbs <bgibbs@iise.org>

**Inviato:** giovedì 6 dicembre 2018 12:25

**A:** IVONNE ANGELICA CASTIBLANCO JIMENEZ <ivonne.castiblanco@escuelaing.edu.co>

**Oggetto:** 2019 IISE Annual Conference Author Notification

**IISE Annual Conference & Expo 2019  
May 18 – 21, 2019  
Rosen Shingle Creek Hotel  
Orlando, Florida**

Ivonne Castiblanco Jimenez

Congratulations Ivonne!

It is our pleasure to confirm that your abstract – “**RCM and WCM integrated maintenance plan for wire drawing processes**” - has been selected for Oral Presentation at the 2019 IISE Annual Conference, May 18 – 21, at the Rosen Shingle Creek Hotel in Orlando, Florida!

As an accepted speaker, you will have additional tasks to complete – you will see these tasks when you log-in to the abstract system - <https://www.conferenceabstracts.com/cfp2/login.asp?EventKey=ISABPEZF>

- Authors will need to submit a 200-word abstract

<https://outlook.office.com/owa/?realm=mail.escuelaing.edu.co>

1/2

29/7/2019

Correo - emilio.perez@mail.escuelaing.edu.co

- You have the option to submit a 6-page paper for peer review with the option to have it included in the Conference Proceedings and/or considered for the Best Track Paper Award

Your submission will be complete when you see green checks next to your tasks.

Please be aware that this information is sent to the Primary contact only. If someone is co-presenting with you, please forward this information to them.

For future reference, your abstract number is: **582275**

Again, we congratulate you on your success, and look forward to your presentation at the conference!

Regards,  
2019 IISE Annual Conference Program Committee

