

# Diseño de una metodología para generar un plan de mantenimiento a través de la integración de RCM, WCM y Lean Manufacturing aplicable en procesos de trefilado de alambón<sup>1</sup>

## Design of a methodology to generate a maintenance plan through the integration of RCM, WCM and Lean Manufacturing in wire drawing processes

E. Pérez, I. A. Castiblanco y N. F. Mateo

Recibido: Julio 26 de 2019 – Aceptado: Junio 25 de 2020

**Resumen**— Se presenta el desarrollo de cinco fases basadas en el Design Thinking (Empatizar, Definir, Idear, Prototipar, Evaluar) con el propósito de diseñar una metodología integrando herramientas de Reliability Centered Maintenance (RCM), World Class Manufacturing (WCM) y Lean Manufacturing, la cual permita generar un plan de mantenimiento aplicable en procesos de trefilado de alambón particularmente en una empresa mexicana del sector del acero. En las fases “Empatizar, Definir e Idear”, se identifican los problemas principales en procesos del sector del acero de empresas colombianas y una en México, planteando alternativas de solución basadas en las necesidades y realidades, considerando los Key Performance Indicators (KPI) esperados. Posteriormente se seleccionan herramientas acordes al problema y a las alternativas de solución planteadas. En las fases “Prototipar y Evaluar”, se integran las herramientas seleccionadas generando un plan de mantenimiento el cual es descrito y representado por un diagrama como evaluación de la metodología diseñada.

**Palabras clave**— Mantenimiento centrado en confiabilidad, manufactura de clase mundial, Manufactura esbelta, plan de mantenimiento.

**Abstract**— The development of five phases based on Design Thinking (Empathize, Define, Ideate, Prototype, Evaluate) is presented in order to design a methodology integrating Reliability Centered Maintenance (RCM), World Class Manufacturing (WCM) and Lean Manufacturing tools, which allows generating a maintenance plan applicable in wire drawing processes, particularly in a Mexican company in the steel sector. In the "Empathize, Define and Devise" phases, the main problems in processes of the steel sector of Colombian companies and one in Mexico are identified, proposing solution alternatives based on needs and realities, considering the expected Key Performance Indicators (KPI). Subsequently, tools are selected according to the problem and the alternative solutions proposed. In the "Prototype and Evaluate" phases, the selected tools are integrated, generating a maintenance plan which is described and represented by a diagram as an evaluation of the designed methodology.

**Keywords**—Lean manufacturing, maintenance plan, reliability centered maintenance, world class manufacturing.

<sup>1</sup>Producto derivado del proyecto de investigación 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 alambón”, apoyado por la Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito a través de la Maestría en Ingeniería industrial.

E. Pérez, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C., Colombia, emilio.adan@hotmail.com.

I. A. Castiblanco, Politécnico di Torino, Turín, Italia, ivonne.castiblanco@polito.it

N. F. Mateo, Universidad del Caribe, Cancún, Q. Roo, México, nmateo@ucaribe.edu.mx

**Como citar este artículo:** Pérez, E., Castiblanco, I. A., y Mateo, N. F. Diseño de una metodología para generar un plan de mantenimiento a través de la integración de RCM, WCM y Lean Manufacturing aplicable en procesos de trefilado de alambón, Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 14, no. 27, pp. 82-90, enero-junio 2020. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.1793>.



Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

### I. INTRODUCCIÓN

**H**OY en día los fabricantes en las industrias están comprometidos a proporcionar productos de calidad con alto rendimiento para permanecer en el mercado 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 en los procesos de trefilados de alambón en el sector del acero.

El estudio se centra en el análisis de empresas del sector del acero en Colombia y una empresa en México dedicada al trefilado de alambón; ésta última, en el periodo del 22/11/2016 al 31/01/18 presentó paros por averías en sus equipos con un índice de 87.83% del total de maquinaria, lo que se ha reflejado en la rentabilidad de la misma. En esta

organización el mantenimiento se ha desarrollado por personal que cuenta con experiencia en el área, esto ha ocasionado paradigmas al llevar a cabo adecuadamente las tareas de mantenimiento.

Por tal motivo, en la presente investigación se analizan diversas herramientas de Reliability Centered Maintenance (RCM), World Class Manufacturing (WCM) y *Lean Manufacturing*, con el propósito de diseñar una metodología a través de la integración de dichas herramientas, la cual permita generar un plan de mantenimiento para los equipos de producción del proceso de trefilado de alambroón particularmente de una empresa del sector del acero en México.

Se muestra el desarrollo de cinco etapas que propone el *Design Thinking* las cuales se consideran necesarias para el logro de los objetivos planteados. 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.

Con esta propuesta se contribuye a mejorar el plan de mantenimiento en los equipos de producción de una empresa mexicana del sector del acero, considerando que la aplicación de dicha metodología con estudios posteriores pueda llevarse a cabo en empresas de Colombia y otras empresas del mismo sector.

## II. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la integración de las herramientas se tomó apoyo de una metodología de diseño, para ello fue necesario analizar diversas 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. Sin embargo, el desarrollo de esta investigación estará basado en el *Design Thinking*, dado que este método muestra un enfoque particular en el factor humano de las organizaciones, considerando adicionalmente, que 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 [1].

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

En esta fase se aplicó una encuesta cualitativa a una empresa mexicana del sector del acero, así como a 18 empresas colombianas del mismo sector para identificar los principales problemas que han enfrentado en sus procesos de trefilado de alambroón, 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, los resultados se observan en las fig. 1,2,3 y 4.

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

El 79% de las empresas encuestadas presentan problemas en el mantenimiento de los equipos de producción, sin embargo, el 16% mencionó que enfrentan problemas de calidad, lo que es posible considerar que el funcionamiento de los equipos de producción contribuye a la calidad de los productos.

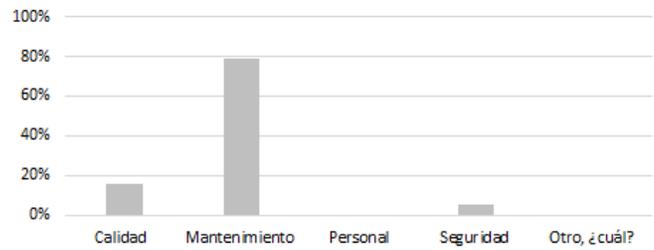


Fig. 1. Problemas relevantes que enfrentan las empresas encuestadas [2].

La fig. 2 muestra el porcentaje de las empresas encuestadas que tienen conocimiento sobre herramientas de mejora para sus procesos, por lo que es un factor importante que se debe considerar al desarrollar la metodología.

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

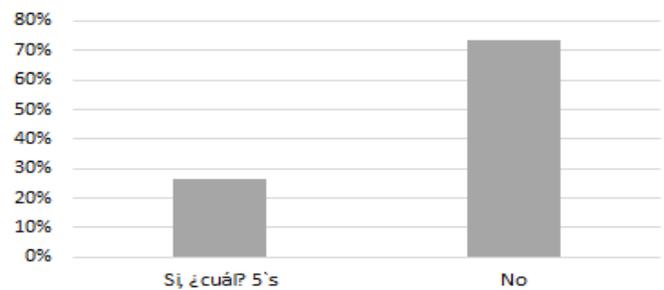


Fig. 2. Conocimiento de las empresas sobre herramientas de mejora [2].

El 26% de las empresas encuestadas mencionaron 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 mencionadas.

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

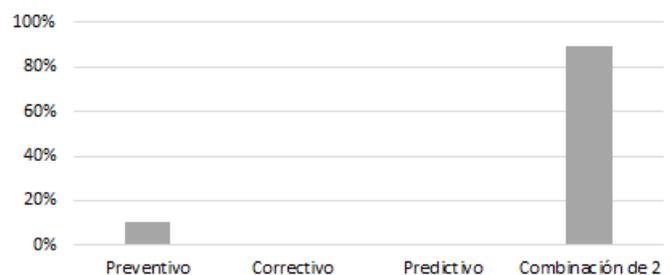


Fig. 3. Tipos de mantenimiento [2].

En la fig. 3 se observa que el 89% de las empresas que se encuestaron realizan la combinación del mantenimiento preventivo y correctivo en sus equipos de producción, el 11% trabajan en la aplicación del mantenimiento preventivo, sin embargo, mencionan que han enfrentado acciones correctivas. La resistencia al cambio es un aspecto importante para la implementación de herramientas de mejora, este factor se evalúa a través de la siguiente interrogante donde el 63% mencionó que no habría resistencia a cambiar la forma de trabajo de mantenimiento, mientras que el resto comentó que habría resistencia, pero apoyan el cambio, los resultados se

observan en la fig. 4.

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

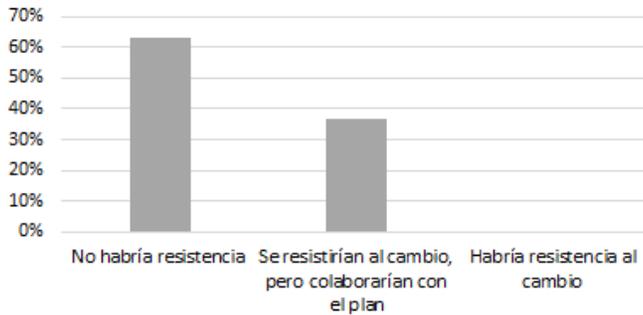


Fig. 4. Evaluación sobre la resistencia a la implementación del plan [2].

Para el caso de la empresa mexicana del sector del acero, se realiza un análisis partiendo de una base de datos sobre el número fallas en los equipos de producción durante el periodo del 22/11/2016 al 31/01/18. El área piloto que se asignó para el desarrollo del plan de mantenimiento es el área de trefilado de alambón, la tabla I muestra el registro de las máquinas y el número de fallos en el periodo mencionado

TABLA I.  
MÁQUINAS DEL ÁREA PILOTO DE ESTUDIO Y NÚMERO DE FALLOS [2].

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

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Un aspecto importante en el desarrollo de la investigación es tener el contexto literario sobre las herramientas de las metodologías RCM, WCM, y *Lean Manufacturing*, por tal motivo, a continuación, se describen dichas metodologías.

### A. Herramientas de mejora continua de *Lean Manufacturing*.

*Lean Manufacturing* consiste en la aplicación sistemática y habitual de diferentes herramientas para el mejoramiento de los procesos productivos [3]. La tabla II muestra un conjunto de herramientas de *Lean Manufacturing*, así como la aplicación / objetivo que sigue cada una.

### B. Pilares técnicos de WCM

Yamashina, Stefan [4] & De Felice, Petrillo [5] definen 10 pilares técnicos en 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 III 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.

### C. Herramientas de RCM

En el mismo sentido el RCM es un enfoque de mejora industrial centrado en la identificación y el establecimiento de las operaciones de mantenimiento, así como en las políticas de mejoras que gestionan los riesgos de fallas en los equipos. Se observa que la máquina BULL 2 presentó la mayor cantidad de fallos en el periodo mencionado (la máquina BULL 5 no presentó fallos correctivos en dicho periodo). Considerando los resultados obtenidos de la aplicación de las encuestas a una empresa mexicana del sector del acero y a 18 empresas en Colombia del mismo sector, se pudo observar que el 79% de esta muestra encuestada enfrentan problemas en el mantenimiento de sus equipos, permitiendo un desarrollo de mantenimiento completo. 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 [6].

En la tabla IV 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 [7].

#### *Fase 2 Definir: Definición del problema con enfoque directo considerando KPI.*

Como se mencionó en la fase 1, el problema principal identificado en empresas de Colombia a través de la aplicación de encuestas y revisión literaria se encuentra en el área de mantenimiento de los equipos en los diferentes procesos de producción. Sin embargo, los resultados también muestran que las empresas poseen poco conocimiento sobre la aplicación de herramientas de mejora continua tal como lo muestra la fig. 2 y en consecuencia el desempeño de los KPI se ha visto afectado. Para el caso de la empresa mexicana el problema principal radica en el área de trefilado de alambón y se observa en la tabla I que la máquina BULL 2 presentó mayor índice de mantenimientos correctivos (fallas) en el periodo mencionado.

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

Por otra parte, considerando que las metodologías RCM, WCM y *Lean Manufacturing* contienen herramientas que combinadas pueden ofrecer resultados satisfactorios [4] para los procesos que desarrollan las empresas del sector del acero. 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 en la fase 1 y los enfoques 1 y 2 que se describen a continuación y la revisión de la literatura.

La fig. 5 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 fig. 6 la relación "D" e "I" de las herramientas de WCM con dichos elementos, y posteriormente la fig. 7 presenta la relación de las herramientas aplicadas en la implementación del RCM con los elementos antes mencionados.

TABLA II.  
HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING [2].

HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING	APLICACIÓN / OBJETIVO	AUTOR
<b>Las 5s: Seiri, Seiton, Seiso, Shitsuke, Sheiketsu.</b>	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.	[8-11]
<b>Sistemas SMED (Cambio Rápido de Herramienta)</b>	Técnica empleada para la disminución de los tiempos de cambio de referencia.	[10,11]
<b>Sistemas Poka Yoke (A prueba de Errores)</b>	Técnica empleada para disminuir los errores en el lugar de trabajo.	[10,11]
<b>Administración visual</b>	Técnica empleada para presentar visualmente y al alcance de todo el personal los indicadores de desempeño de la empresa.	[11,12]
<b>Sistema Kaizen (Mejora Continua)</b>	Técnica que busca el mejoramiento permanente mediante el aporte de ideas de las personas involucradas.	[9,11,12]
<b>6 sigma</b>	Técnica que busca obtener reducir la tasa de defectos menor a un defecto por cada millón de unidades fabricadas.	[13,14]
<b>El desarrollo de células de manufactura</b>	Técnica que consiste en la implementación de nuevos flujos de producción en la empresa para fabricar artículos con mayor celeridad.	[9]
<b>Sistemas TPM (Mantenimiento Productivo Total)</b>	Consiste en la implementación del mantenimiento productivo total, para disminuir el tiempo de paro de las máquinas.	[11,15,16,17]
<b>Value Stream Mapping (Análisis de valor del proceso)</b>	Técnica que se aplica para detectar en qué punto del sistema productivo se presentan los mayores desperdicios durante el proceso.	[9,18]

TABLA III.  
PILARES TÉCNICOS DE WCM [2].

PILARES TÉCNICOS DE WCM	OBJETIVO	AUTOR
<b>SF La seguridad</b> Mejora continua de seguridad	Reducir drásticamente la cantidad de accidentes. Desarrollar una cultura de prevención. Mejorar la ergonomía del lugar de trabajo.	[5,8,16,19]
<b>CD Despliegue de Costos</b> 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.	[5,8,16,19]
<b>FI Mejora enfocada</b> 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.	[5,8,16,19]
<b>AM Mantenimiento Autónomo</b> 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 los materiales y equipos se degradan; en particular porque en el proceso hay muchas pérdidas (MUDA) para eliminar.	[5,8,16,19]
<b>PM Mantenimiento profesional</b> 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.	[5,8,16,19]
<b>QC Control de calidad</b> Mejora continua de las necesidades de los clientes	Garantizar productos de calidad. Reducir el incumplimiento. Aumentar las habilidades de los empleados	[5,8,16,19]
<b>CS &amp; L Servicio al Cliente y Logística</b> 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.	[5,8,16,19]
<b>EEM Gestión temprana de equipos y productos</b> 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	[5,8,16,19]
<b>PD Desarrollo de las personas</b> 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	[5,8,16,19]
<b>ENV Medio Ambiente</b> 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	[5,8,16,19]

TABLA IV  
HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN CASO DE AMPLIACIÓN DE RCM [2].

PREGUNTAS RCM	AUTORES / CASOS DE APLICACIÓN			
	[20]	[21]	[22]	[23]
	HERRAMIENTAS Y ESTRATEGIAS UTILIZADAS			
¿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		
DESCRIPCIÓN DE HERRAMIENTAS				
<b>PMA:</b> Programas de mantenimiento actuales <b>HC:</b> Hoja de cálculo <b>AD:</b> Árbol de decisión <b>DFP:</b> Diagrama de flujo del proceso <b>AMEF:</b> Análisis de modos y efectos de fallas <b>RHF:</b> Registros históricos de fallas <b>MANC:</b> Matriz de asignación de nivel crítico <b>PRP:</b> Programa retroalimentación personal		<b>MBC:</b> Mantenimiento basado en la condición <b>FD-RN:</b> Fusión de datos redes neuronales <b>AF:</b> Árbol funcional <b>ACR:</b> Análisis de causa raíz <b>F-DW:</b> Fiabilidad con distribución de Weibull <b>D-SM:</b> Disponibilidad con simulación Monte Carlo. <b>AAF:</b> Árbol de análisis de falla. <b>RM:</b> Mantenimiento radical		

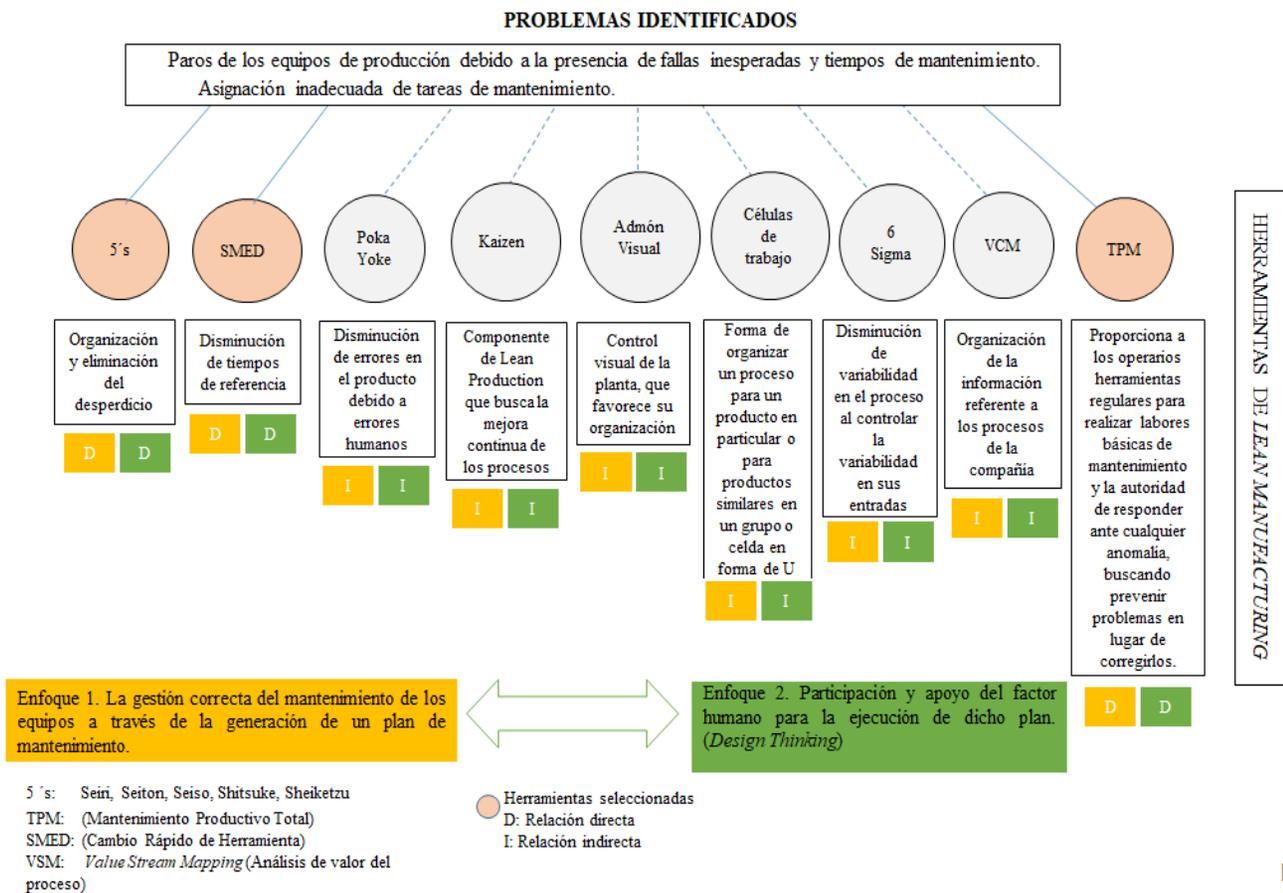


Fig. 5. Relación de herramientas de *Lean Manufacturing* & problema de estudio (continuación)

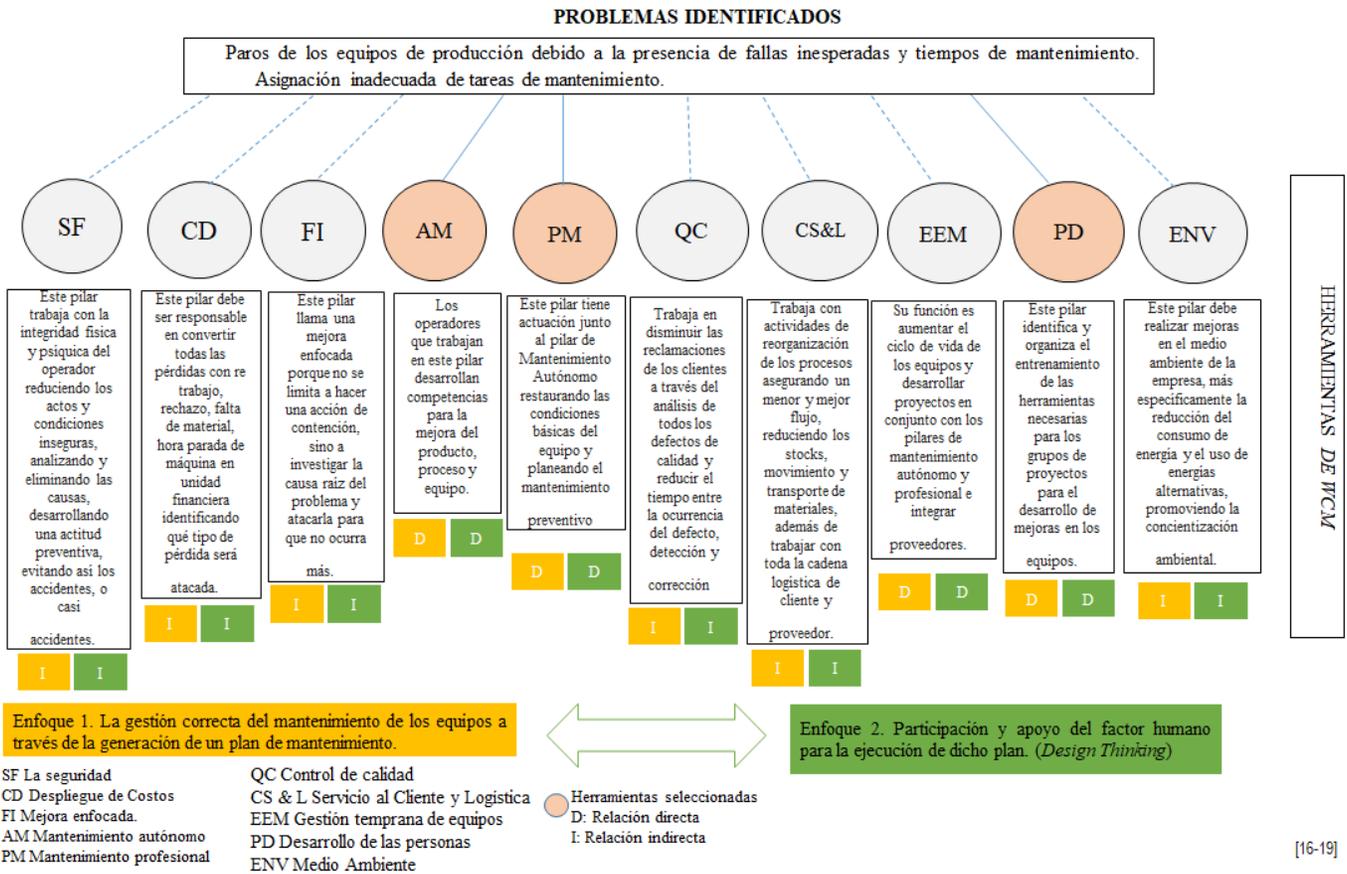


Fig. 6. Relación de herramientas de WCM & problema de estudio (continuación)

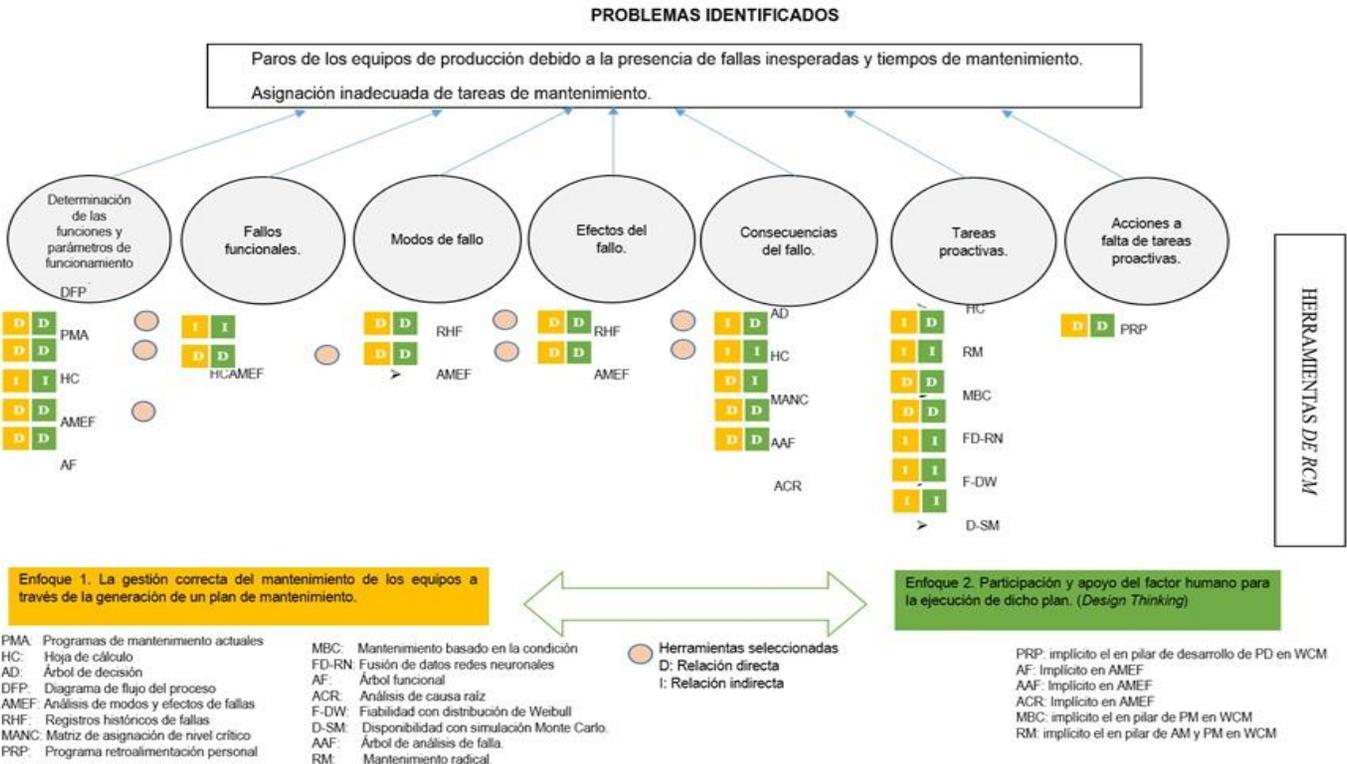


Fig. 1. Relación de herramientas de RCM & problema de estudio (continuación).

La selección de herramientas en esta investigación se llevó a cabo considerando 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*)

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*, la clasificación de las herramientas seleccionadas se muestra en la tabla V.

TABLA V  
HERRAMIENTAS SELECCIONADAS

HERRAMIENTAS SELECCIONADAS		
<i>Lean Manufacturing</i>	WCM	RCM
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Las 5s</li> <li>➤ Sistemas SMED</li> <li>➤ Sistemas TPM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ AM Mantenimiento autónomo</li> <li>➤ PM Mantenimiento profesional</li> <li>➤ PD Desarrollo de las personas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ PMA: Programas de mantenimiento actuales</li> <li>➤ DFP: Diagrama de flujo del proceso</li> <li>➤ AMEF: Análisis de modos y efectos de fallas</li> <li>RHF: Registros históricos de fallas</li> </ul>

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

Etapa de resultados: Fase 4 y 5. De acuerdo con [Gonzalez [24]] en la fase 4 del proceso de 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”. Una vez identificado el problema y/o las oportunidades de mejora en los procesos de producción a partir de la aplicación de encuestas cualitativas a diferentes empresas del sector del acero, se integran las herramientas que se consideraron necesarias para continuar

con el diseño de la metodología, generando prototipos basados en las aplicaciones de las herramientas WCM, RMC y *Lean Manufacturing*, tales como: diagramas o esquemas para el desarrollo adecuado de tareas de mantenimiento tomando como caso de estudio el proceso de trefilado de alambón de la empresa mexicana ya mencionada, así como el problema identificado en las encuestas realizadas y considerando además, el objetivo principal de la presente investigación.

La fig. 8 muestra un diagrama general de los objetivos 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.

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 fig. 9, plan de mantenimiento y prototipos para la realización de tareas de mantenimiento (diagramas).

*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 [28]. En la fig. 9 se muestra la metodología propuesta para generar un plan de mantenimiento piloto aplicable en una empresa mexicana del sector del acero. A partir de la metodología se desarrolla un modelo que muestra el seguimiento de las actividades de mantenimiento particularmente del proceso de trefilado de alambón de una empresa mexicana. En la fig. 10 se observan las tres etapas de la metodología de mantenimiento, así como la serie de pasos necesarios para llevar a cabo el plan de mantenimiento.

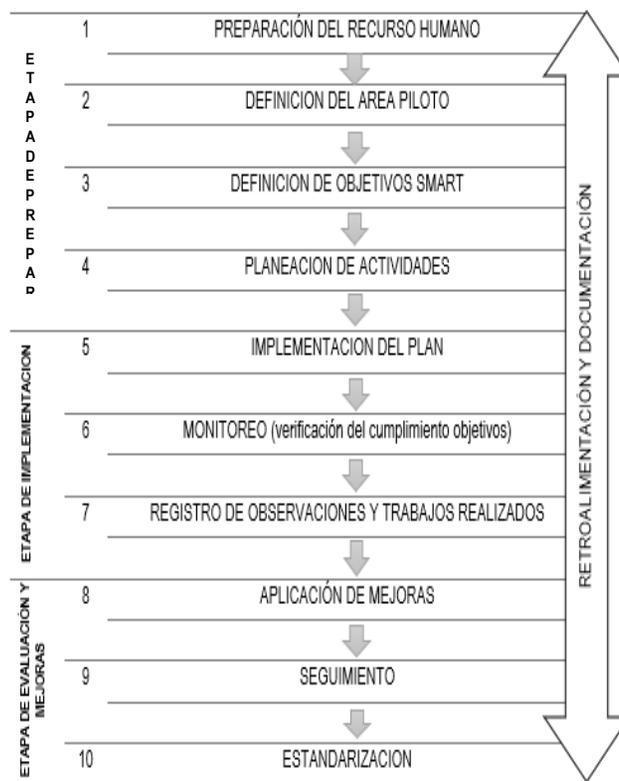


Fig. 8. Metodología basada en herramientas de RCM, WCM y Lean Manufacturing.

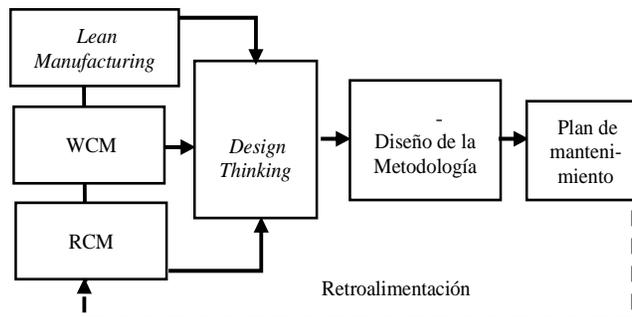


Fig. 9. Diagrama de objetivos esperados.

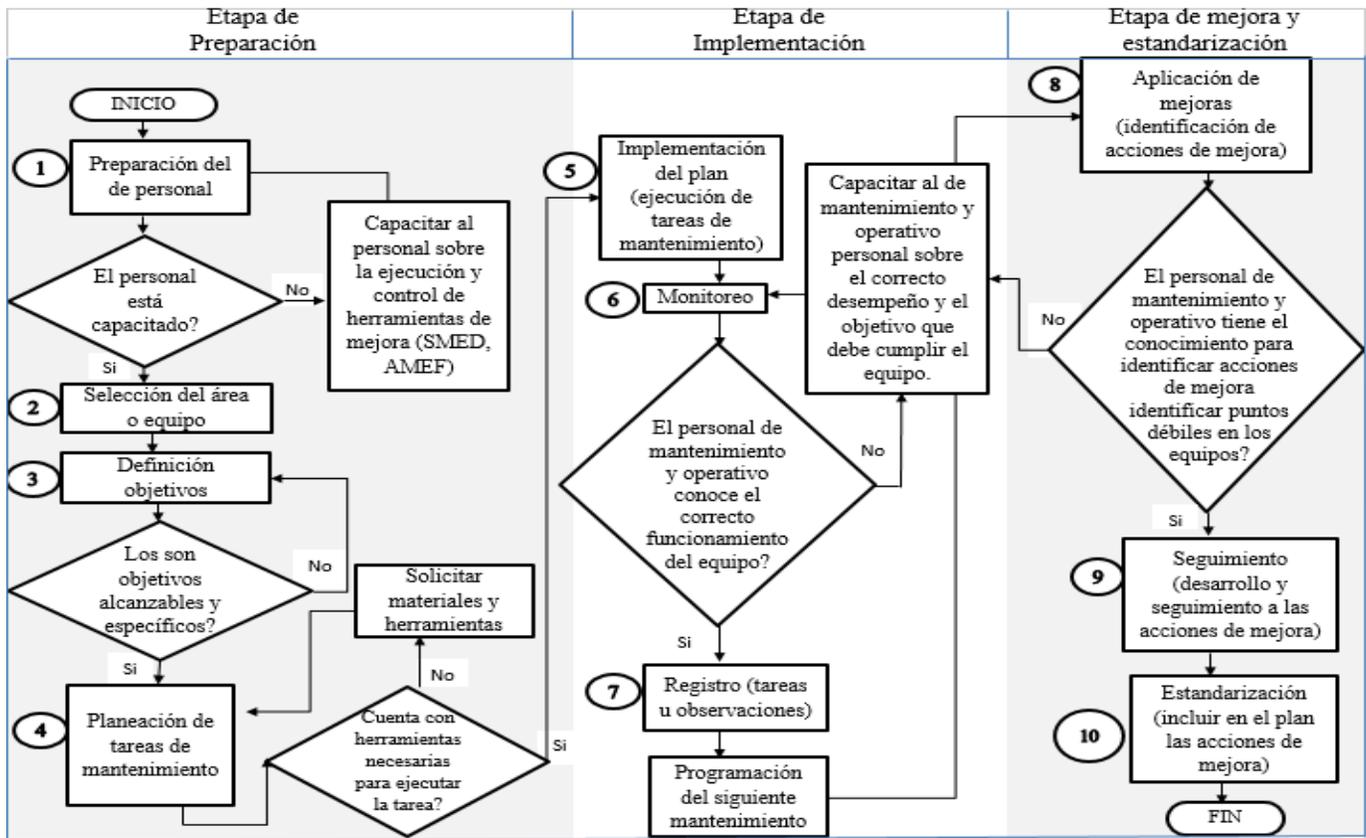


Fig. 10. Diagrama de actividades del plan de mantenimiento [2]

## VII. CONCLUSION

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 dichas 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 desarrollar una serie de fases, las cuales fueron basadas en el *Design Thinking* (empatizar, definir, idear, prototipar, evaluar).

Durante desarrollo de las fases mencionadas fue posible integrar las herramientas de RCM, WCM, y *Lean Manufacturing* las cuales fueron seleccionadas acorde al objetivo planteado y al problema identificado. Como resultado de esa integración se generó la metodología que muestra una serie de pasos para llevar a cabo el plan de mantenimiento. Posteriormente, con base en dicha metodología se elaboró el plan de mantenimiento el cual es representado en un diagrama de flujo en un lenguaje claro y sencillo específicamente para el proceso de trefilado de alambón de la empresa mexicana.

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.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por contribuir en el financiamiento de estudios de maestría en Ingeniería Industrial y a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Gravito por fortalecer el desarrollo profesional a través del convenio de doble titulación con el Tecnológico Nacional de México.

## REFERENCIAS

- [1] Ortega, M.S. and P.B. Ceballos, Design thinking: Lidera el presente. Crea el futuro. 2015: ESIC Editorial.
- [2] Pérez, E., et al., 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 alambón, 2019.
- [3] Arrieta, P.J.G., et al., 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*, 2010. 15(28): p. 141-170.
- [4] Yamashina, H., K. Stefan, and L. Massone, *World Class Manufacturing, Methods and Tools for the Fiat Group Automobiles Production System*. 2013.
- [5] De Felice, F., A. Petrillo, and S. Monfreda, Improving operations performance with world class manufacturing technique: a case in automotive industry, in *Operations management*. 2013, IntechOpen.
- [6] Barajas, A.M. and G.C. Cruz, Propuesta de una estrategia de mantenimiento utilizando Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2011.

- [7] SAE JA 1011, N., Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento centrado en Confiabilidad. Norma para vehículos aeroespaciales y de superficie. ISO estándar: Ginebra, Suiza, 1999.
- [8] Gajdzik, B., World Class Manufacturing in metallurgical enterprise. Metalurgija, 2013. 52(1): p. 131-134.
- [9] Maldonado Villalva, G., Herramientas y técnicas lean manufacturing en sistemas de producción y calidad. 2008.
- [10] Posada, J.G.A., Interacción y conexiones entre las técnicas 5s, SMED y Poka Yoke en procesos de mejoramiento continuo. Tecnura, 2007. 10(20): p. 139-148.
- [11] Tapia Coronado, J., et al., Marco de Referencia de la Aplicación de Manufactura Esbelta en la Industria. Ciencia & trabajo, 2017. 19(60): p. 171-178.
- [12] Marchwinski, C. and J. Shook, Léxico lean: glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. 2003: Lean Institute Brasil.
- [13] Arrieta, J.G., et al., Aplicación lean manufacturing en la industria colombiana. Revisión de literatura en tesis y proyectos de grado. Revista Virtual Pro, 2011. 132.
- [14] Felizzola, J.H. and A.C. Luna, Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 2014. 22(2): p. 263-277.
- [15] Mora, L.A., Mantenimiento-planeación, ejecución y control. 2009: Alfaomega Grupo Editor.
- [16] Moubray, J., Mantenimiento centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltda, 2004.
- [17] Fernández, F.J.G., Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. 2005: FC editorial.
- [18] Posada, J.G.A., V.E.B. Herrera, and M.J.R. Martínez, 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, 2010. 15(28).
- [19] Borges, R.C., S.C.A. De Abreu, and J.M. Vaz, Estudo do SMED por meio da metodologia World Class Manufacturing Seminários em Administração, 2014.
- [20] Deshpande, V. and J. Modak, Application of RCM to a medium scale industry. Reliability Engineering & System Safety, 2002. 77(1): p. 31-43.
- [21] Dacheng, I. and G. Jinji, Study and application of Reliability-centered Maintenance considering Radical Maintenance. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2010. 23(5): p. 622-629.
- [22] Gang, N., B.-S. Yang, and M. Pecht, Development of an optimized condition-based maintenance system by data fusion and reliability-centered maintenance. Reliability Engineering & System Safety, 2010. 95(7): p. 786-796.
- [23] Carazas, F., C. Salazar, and G.F.M.d. Souza, Availability analysis of heat recovery steam generators used in thermal power plants. Energy, 2011. 36(6): p. 3855-3870.
- [24] Gonzalez, F., Miniguía: una introducción al Design Thinking+ Bootcamp bootleg. Hasso Platner, Institute of design at Stanford, 2012.
- [25] Tejeda, A.S., Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. Ciencia y sociedad, 2011.
- [26] Carazas, F., C. Salazar, and G. Souza, Availability analysis of heat recovery steam generators used in thermal power plants. Energy, 2011. 36(6): p. 3855-3870.
- [27] Rubrich, L. and M. Watson, *Implementing World Class Manufacturing: A Bridge to Your Manufacturing Survival: Shop Floor Manual*. 1998: Wcm Associates.
- [28] Li, D. and J. Gao, Study and application of Reliability-centered Maintenance considering Radical Maintenance. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2010. 23(5): p. 622-629.
- [29] Niu, G., B.-S. Yang, and M. Pecht, Development of an optimized condition-based maintenance system by data fusion and reliability-centered maintenance. Reliability Engineering & System Safety, 2010. 95(7): p. 786-796.



**Emilio Pérez Adán.** Es Ingeniero Industrial del Instituto Tecnológico de Nuevo León, México. Titulado en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, México (2005-2011). Maestro en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México (2017-2019), Magister en Ingeniería Industrial de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C. Colombia (2018-2019). Experiencia laboral en la maquiladora NOVALINK en 2004 en Matamoros, México, Bebidas Mundiales COCA-COLA en 2005 en Guadalupe, Nuevo León, México, Porcelanite LAMOSÁ S.A.de C.V. en 2008 Villa Juárez, Nuevo León, México. Vigas Pretensadas VELOSA en 2011 en Escobedo, Nuevo León, México. Se desempeñó como docente en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, México en 2012 en el área de Ingeniería en Gestión Empresarial e Ingeniería Industrial. Actualmente profesor en el área de Ingeniería Industrial en la universidad del Atlántico, Tampico, Tamaulipas, México. Representante de ventas para empresa Ilumiled, Puebla, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8000-257X>



**Ivonne Angélica Castiblanco-Jiménez.** Ing. Electrónica en 2011 de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, MSc. en Ing. Mecatrónica en 2011 del Politécnico di Torino, Turín, Italia, MSc. en Automatización Industrial en 2014 del Politécnico di Torino, Turín, Italia. Esp. en Lean Manufacturing y World Class Manufacturing. Experiencia en el campo de gestión de instalaciones, desarrollo de producto y producción para el grupo FIAT CHRYSLER en Turín, Italia. Actualmente investigadora del Politécnico di 25Torino, Turin, Italia, en el centro de investigación 3DLab. Candidata a PhD. ORCID: 0000-0001 -5866-078X



**Nicolás Francisco Mateo Díaz.** Ingeniero Industrial con especialidad en Sistemas de Manufactura y Productividad (2004-2009); maestría en Ingeniería Industrial en la Línea de Generación y Aplicación de Conocimiento "Diseño y Mejora de Productos y Procesos" (2011-2013), ambos títulos por el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Veracruz, México. Ha sido profesor de Licenciatura en Ingeniería Industrial y del Programa de Maestría en Ingeniería Industrial reconocido por CONACYT. Ha recibido el reconocimiento de Perfil Deseable del PRODEP y también ha sido líder del cuerpo académico en formación "Metodologías Integradas para la Innovación y Desarrollo Tecnológico enfocado a la Industria 4.0". Se ha desempeñado como Subdirector de Posgrado e Investigación, así como Subdirector de Estudios Superiores en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca perteneciente al sistema Tecnológico Nacional de México (TecNM). Actualmente es Profesor Investigador de Tiempo Completo del Departamento de Ciencias Básicas e Ingeniería- Ingeniería Industrial- en la Universidad del Caribe, Cancún, Quintana Roo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4799-6434>.