



**Diseño de la propuesta de implementación
de un sistema de mantenimiento productivo
total TPM para la Empresa Colombiana de
Cementos S.A.S. en la región de Rio Claro -
Antioquia**

German Gabriel Anaya Vega

Universidad EAN
Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas
Administración de Empresas MBA
Bogotá D.C., Colombia
2020

Diseño de la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Rio Claro - Antioquia

German Gabriel Anaya Vega

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Magister en Administración de Empresas MBA

Director (a):

Dra. Luz Maribel Guevara Ortega

Modalidad:

Trabajo dirigido

Universidad EAN

Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas

Administración de Empresas MBA

Bogotá D.C., Colombia

2020

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá D.C. Día - mes – año

Dedicatoria

A mis hijos Andrés Felipe Anaya Ramírez y María Fernanda Anaya Ramírez por enseñarme que cada día se debe aprender cosas diferentes con exigencia y disciplina; el esfuerzo personal tiene sus frutos. A mi esposa Roció Ramírez Ocampo, por apoyarme y guiarme siempre.

“La ingeniería continuara siempre transformando y mejorando a la sociedad”.

Carlos Slim Helú

Agradecimientos

A la Dra. Luz Maribel Guevara Ortega, directora del proyecto, por su asesoría y acompañamiento en el desarrollo de este.

A los trabajadores de la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, por la disponibilidad y sentido de pertenencia en plan de mejoramiento a seguir.

Resumen

El proyecto, diseño de la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Rio Claro – Antioquia, se estructuró como un trabajo aplicado en el marco de la maestría de Administración de Empresas MBA, como un aporte al desarrollo empresarial, regional y social.

La empresa, aporta al desarrollo de Colombia a través de la producción y comercialización del cemento y materiales de la construcción, generando fuentes de empleos directos e indirectos para la región, con mano de obra local, siendo socialmente responsable, por lo que ha tomado como oportunidad la implementación del Mantenimiento Productivo Total, como una herramienta de mejora continua.

El proyecto desarrolló sus objetivos específicos, en primera instancia con la construcción del marco teórico (conceptual) sobre mantenimiento productivo total, como principal referencia para la elaboración de la propuesta de implementación, luego un diagnóstico de la situación actual del proceso de producción y mantenimiento en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, permitió diseñar la propuesta de implementación de mantenimiento productivo a través de la aplicación de cada uno de los pilares de la teoría que componen el contexto del tema objeto de estudio y por último se elaboró el plan de acción para la implementación de la propuesta diseñada.

El estudio cuantitativo, con enfoque descriptivo y soportado desde el punto de vista documental, permitió responder las preguntas y objetivos, de la investigación no experimental transversal, y utilizando la técnica de la encuesta se validó con los trabajadores de la empresa las características básicas necesarias, para generar un diseño, y aplicar la metodología del modelo TPM, definiendo así un plan maestro de acciones y como resultado del mismo, la garantía de aplicación del estudio quedaron claras las fortalezas y debilidades que por parte de los trabajadores se tienen frente a cada uno de los pilares necesarios en la implementación de la metodología TPM.

Palabras clave: Mejoramiento continuo, Mantenimiento Productivo Total, Desarrollo empresarial, 5S, Lean Manufacturing, Six Sigma, Análisis de modo y efecto de falla

Abstract

The project, design of the proposed implementation of a total productive maintenance system TPM for the Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. in the region of Río Claro - Antioquia, was structured as an applied work within the framework of the master's degree in Business Administration MBA, as a contribution to business, regional and social development.

The Company contributes to the development of Colombia through the production and commercialization of cement and construction materials, generating sources of direct and indirect employment for the region with local labor, being socially responsible, so it has taken as an opportunity the implementation of the Total Productive Maintenance, as a tool of continuous improvement.

The project developed its specific objectives, in the first instance with the construction of the theoretical (conceptual) framework on total productive maintenance, as the main reference for the elaboration of the implementation proposal, then a diagnosis of the current situation of the production and maintenance process at Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, it allowed to design the implementation proposal of productive maintenance through the application of each one of the pillars of the theory that compose the context of the topic under study and finally the action plan for the implementation of the proposal designed was elaborated.

The quantitative study, with descriptive and supported approach from the documentary point of view, allowed to answer the questions and objectives of the transversal nonexperimental research, and using the technique of the survey validated with the employees of the company the basic characteristics necessary, to generate a design, and apply the methodology of the TPM model, thus defining a master plan of actions and as a result thereof, the guarantee of application of the study was clear the strengths and weaknesses that the workers have in front of each of the necessary pillars in the implementation of the methodology TPM

Keywords: Continuous Improvement, Total Productive Maintenance, Business Development, 5S, Lean Manufacturing, Six Sigma, Mode Analysis and Failure Effect

Tabla de contenido

	<u>Pág</u>
1. Introducción	15
1.1. OBJETIVOS.....	16
1.1.1. <i>Objetivo general</i>	16
1.1.2. <i>Objetivos específicos</i>	16
1.2. JUSTIFICACIÓN	17
2. Marco de referencia	18
2.1. LAS 5S	18
2.2. LEAN MANUFACTURING.....	20
2.3. SIX SIGMA.....	21
2.4. AMEF.....	22
2.5. OBJETIVOS DEL TPM.....	22
2.6. PILARES DEL TPM	23
2.6.1. <i>Pilar 1 Mantenimiento Autónomo</i>	24
2.6.2. <i>Pilar 2 Mantenimiento planeado</i>	25
2.6.3. <i>Pilar 3 Prevención del mantenimiento</i>	26
2.6.4. <i>Pilar 4 Mantenimiento de áreas soporte</i>	27
2.6.5. <i>Pilar 5 Polivalencia y desarrollo de habilidades</i>	27
2.6.6. <i>Pilar 6 Mantenimiento de la calidad</i>	28
2.6.7. <i>Pilar 7 Mejoras enfocadas</i>	29
2.6.8. <i>Pilar 8 Seguridad, salud y medio ambiente</i>	29
2.7. LOS DOCE PASOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL TPM	30
2.7.1. <i>La alta dirección anuncia la introducción del TPM</i>	31
2.7.2. <i>Programas de educación y campañas para introducir TPM</i>	31
2.7.3. <i>Crear organización de promoción del TPM</i>	31

2.7.4.	<i>Establecer políticas básicas TPM y metas</i>	31
2.7.5.	<i>Formular plan maestro para desarrollo TPM</i>	32
2.7.6.	<i>Organizar un acto de iniciación TPM</i>	32
2.7.7.	<i>Mejorar la efectividad de cada pieza del equipo</i>	32
2.7.8.	<i>Desarrollar un programa de mantenimiento autónomo</i>	33
2.7.9.	<i>Programa de mantenimiento planeado</i>	35
2.7.10.	<i>Entrenamiento para mejorar operación y capacidades de mantenimiento</i>	35
2.7.11.	<i>Desarrollar programa de gestión equipos fases iniciales</i>	36
2.7.12.	<i>Implantación perfecta del TPM y elevación niveles TPM</i>	36
3.	Marco institucional	37
3.1.	RESEÑA HISTÓRICA	37
3.2.	MISIÓN	37
3.3.	VISIÓN	37
3.4.	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	38
3.4.1.	<i>Análisis de sector económico de cemento</i>	38
4.	Diseño metodológico	46
4.1.	POBLACIÓN	47
4.2.	CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA	48
4.3.	DIAGNÓSTICO INICIAL	49
4.3.1.	<i>Recolección de datos</i>	50
4.3.2.	<i>Procesamiento estadístico de datos</i>	51
5.	Diagnóstico organizacional	52
5.1.	PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS	52
5.2.	ANÁLISIS DE DATOS	63
6.	Plan de intervención	75
6.1.	FASES DE IMPLEMENTACIÓN	76

6.1.1.	<i>Introducción</i>	76
6.1.2.	<i>Elaboración de plan maestro</i>	80
6.2.	PILARES PARA IMPLEMENTACIÓN	83
6.2.1.	<i>Aspectos generales</i>	83
6.2.2.	<i>Mejoras enfocadas</i>	84
6.2.3.	<i>Mantenimiento autónomo</i>	86
6.2.4.	<i>Mantenimiento planeado</i>	87
6.2.5.	<i>Polivalencia y desarrollo de habilidades</i>	89
6.2.6.	<i>Prevención del mantenimiento</i>	90
6.2.7.	<i>Mantenimiento de la calidad</i>	91
6.2.8.	<i>Mantenimiento de áreas de soporte</i>	92
6.2.9.	<i>Seguridad y Salud en el Trabajo - Medio Ambiente</i>	93
7.	Plan de implementación.....	95
7.1.	MAPA GENERAL DE IMPLEMENTACIÓN	95
7.2.	ANÁLISIS DE COSTOS E IMPACTO DE IMPLEMENTACIÓN	102
	Conclusiones	105
	Referencias.....	108
	Anexos.....	115

Lista de figuras

	<u>Pág</u>
Figura 1. Relación entre TPM, LM y otras filosofías.	21
Figura 2. Pilares del TPM	24
Figura 3. Esquema de implementación mantenimiento autónomo.....	35
Figura 4. Mapa de procesos Empresa colombiana de cementos.....	38
Figura 5. Producción y despachos cemento gris, enero 2017 - enero 2019.....	40
Figura 6. Evolución de la producción nacional de cemento gris (miles de toneladas).	41
Figura 7. Evolución despachos nacionales de cemento gris (miles de toneladas).	41
Figura 8. Índice de confianza al consumidor (ICC) Feb. 2019.	42
Figura 9. Producción y despachos cemento gris, mayo 2018 - mayo 2020.	44
Figura 10. Evolución producción nacional de cemento gris Ene 2018 – May 2020.....	44
Figura 11. Evolución despachos nacionales de cemento gris Ene. 2018 – May. 2020. ..	45
Figura 12. Índice de confianza al consumidor (ICC) mayo 2020.....	45
Figura 13. Ecuación de cálculo de muestra	48
Figura 14. Resultados encuesta de forma general	53
Figura 15. Resultados encuesta por pilares TPM	54
Figura 16. Resultados encuesta Pilar 0 Aspectos generales	55
Figura 17. Resultados encuesta Pilar 1 Mejoras enfocadas	56
Figura 18. Resultados encuesta Pilar 2 Mantenimiento autónomo	57
Figura 19. Resultados encuesta Pilar 3 Mantenimiento planeado	58
Figura 20. Resultados encuesta Pilar 4 Polivalencia y desarrollo de habilidades	59
Figura 21. Resultados encuesta Pilar 5 Prevención del mantenimiento.....	60
Figura 22. Resultados encuesta Pilar 6 Mantenimiento de la calidad	61
Figura 23. Resultados encuesta Pilar 7 Mantenimiento de áreas de soporte.....	62
Figura 24. Resultados encuesta Pilar 8 SST y medio ambiente	63
Figura 25. Gráfica de radar para aspectos generales.....	67
Figura 26. Gráfica de radar para mejoras enfocadas.....	68
Figura 27. Gráfica de radar para mantenimiento autónomo.....	69
Figura 28. Gráfica de radar para mantenimiento planeado.....	70

Figura 29. Gráfica de radar para polivalencia y desarrollo de habilidades.....	71
Figura 30. Gráfica de radar para prevención del mantenimiento	72
Figura 31. Gráfica de radar para mantenimiento de la calidad	72
Figura 32. Gráfica de radar para mantenimiento áreas de soporte.....	73
Figura 33. Gráfica de radar para seguridad salud en el trabajo y medio ambiente	74
Figura 34. Pasos plan de intervención TPM.....	75
Figura 35. Fases de implementación	76
Figura 36. Estructura jerárquica	78
Figura 37. Cronograma de la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Rio Claro - Antioquia.....	99

Lista de tablas

	<u>Pág</u>
Tabla 1. Pasos Implementación TPM.	30
Tabla 2. Capacidad de planta de cemento (Ton) 2013 - 2023(Proyectado).	39
Tabla 3. Resumen cálculo tamaño de muestra.....	49
Tabla 4. Instrumento de medición	50
Tabla 5. Nomenclatura usada en gráficas	52
Tabla 6. Equivalencia entre respuestas, valor numérico y porcentual.....	64
Tabla 7. Resultados encuesta por pregunta	64
Tabla 8. Plan de capacitaciones	77
Tabla 9. Metas pilares TPM.....	79
Tabla 10. Actividades de implementación.....	80
Tabla 11. Estrategia implementación pilar Aspectos Generales	83
Tabla 12. Estrategia implementación pilar Mejoras enfocadas	85
Tabla 13. Estrategia implementación pilar Mantenimiento Autónomo	86
Tabla 14. Estrategia implementación pilar Mantenimiento Planeado	88
Tabla 15. Estrategia implementación pilar Polivalencia y desarrollo de habilidades	90
Tabla 16. Estrategia implementación pilar Prevención del mantenimiento.....	91
Tabla 17. Estrategia implementación pilar Mantenimiento de la calidad	92
Tabla 18. Estrategia implementación pilar Mantenimiento áreas de soporte	93
Tabla 19. Estrategia implementación pilar SST y Medio Ambiente	94
Tabla 20. Diseño de la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Rio Claro - Antioquia	95
Tabla 21. Datos iniciales para cálculo de TIR, implementación del sistema TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Rio Claro – Antioquia	103
Tabla 22. Valores de referencia flujo de caja.....	103
Tabla 23. Cálculo TIR.....	103

Lista de anexos

	<u>Pág</u>
Anexo 1. Formato de encuesta	115

1.Introducción

Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. es una organización colombiana, resultado de la alianza entre Cementos Molins de España, con más de 90 años de experiencia y presencia en 8 países en América, Europa, África y Asia, (Cementos Molins, 2019), y el grupo colombiano Corona, con 135 años de experiencia y presencia en Colombia, Centroamérica, México y Estados Unidos (Corona, 2019). La Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, está presente en el departamento de Antioquia y en el país desde el año 2017, con una planta de cemento que produce 1,35 Millones de toneladas de cemento al año, para satisfacer la demanda creciente de cemento en el país (Lluch, 2019b).

La Empresa, aporta al desarrollo de Colombia a través de la producción y comercialización del cemento y materiales de la construcción, generando fuentes de empleos directos e indirectos para la región con mano de obra local, socialmente responsable con la zona directa de acción y el departamento de Antioquia, generando programas sostenibles de salud, educación y recreación para las comunidades aledañas (Lluch, 2019b).

La planta de cemento en Río Claro, ubicada en el kilómetro 170 de la autopista Medellín Bogotá, en el municipio de Sonsón Antioquia, comenzó el proyecto el 1 de diciembre de 2016, su ingreso al mercado nacional fue el 5 de noviembre de 2019, y llega a su capacidad instalada al final del primer semestre del año 2020 (Lluch, 2019a), desarrollando un proceso que inicia desde la extracción de la materia prima en la mina, hasta la producción, envasado y su comercialización, con una inversión de alrededor de \$US 400 millones (Lluch, 2019b) en la construcción de la planta y en la creación de la empresa.

Al ser una empresa nueva, la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, identificó como oportunidad la implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés), como una herramienta de mejora continua desde el inicio de sus operaciones, permitiendo así, reducir el deterioro natural de los equipos durante la producción de cemento, y mantenerlos en las condiciones iniciales de mayor rendimiento,

esto, debido a que los equipos entran en operación siendo nuevos y pueden mantenerse de esta forma, previniendo el deterioro temprano durante su operación.

Por lo anterior, el presente documento se ha estructurado de acuerdo a la guía de trabajo dirigido en el marco de la maestría de Administración de Empresas MBA y se desarrolla en siete capítulos; el primero, corresponde al presente introductorio, que contiene los objetivos planteados en el trabajo dirigido, y la justificación para el desarrollo de éste, el marco de referencia, donde se incluye todo el marco teórico que soporta el proyecto, se presenta en el capítulo segundo; se sigue en el capítulo tercero donde se muestra el marco institucional, que abarca un gran aporte de conocimiento de la empresa; el cuarto capítulo, presenta el diseño metodológico del proyecto, seguido del capítulo quinto, que muestra el diagnóstico organizacional y en el capítulo sexto el plan de intervención, que se complementa con el capítulo séptimo con el Plan de implementación; el proyecto termina con las recomendaciones y conclusiones y la lista de referencias.

1.1. Objetivos

1.1.1. *Objetivo general*

Diseñar la propuesta de implementación de la metodología de Mantenimiento Productivo Total (TPM), en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. del sector construcción ubicada en la región de Río Claro – Antioquia.

1.1.2. *Objetivos específicos*

- Construir el marco teórico (conceptual) sobre mantenimiento productivo total, que sirva de referencia para la elaboración de la propuesta de implementación para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S.
- Realizar el diagnóstico de la situación actual del proceso de producción y mantenimiento en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S.
- Diseñar una propuesta de implementación de mantenimiento productivo total en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S.

- Elaborar un plan de acción para la implementación del mantenimiento productivo total TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S.

1.2. Justificación

El compromiso de la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, con relación al mejoramiento continuo, ha permitido identificar la necesidad de implementar un sistema de mantenimiento productivo total, TPM, desde el arranque de sus operaciones productivas, con el fin de crear un alto impacto en la reducción de las fallas de los equipos. Las metas mínimas de reducción de fallas tras la implantación de TPM en empresas de manufactura alcanzan valores de 1 falla en 100 anomalías reportadas, entre otras (Puerto, 2009), a través de un plan sistemático y organizado por pasos para que el operario se involucre en las actividades básicas de prevención del deterioro de los equipos en todo el ciclo de vida del sistema productivo y de esta manera, mejorar los indicadores de efectividad y productividad (Guariente, et al, 2017).

Los procesos de mantenimiento invierten gran parte de su tiempo en mantenimientos de tipo correctivo, en lugar de mantenimientos planeados, preventivo y predictivo (Guariente, et al, 2017), además, los operadores de maquinaria no cuentan con la capacitación necesaria para realizar actividades de mantenimiento básicas, como parte de sus habilidades y competencias (Yoshida, 1990).

La alta gerencia de la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, conocedora de esta problemática ha aprobado el diseño de la implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM desde el inicio de sus operaciones, para atacar las problemáticas anteriormente descritas y teniendo en cuenta que es una empresa nueva, siendo la implementación de esta herramienta una ventaja competitiva y dado que, no existe una cultura previa de mejora continua, convirtiéndose esta herramienta, en la base de la cultura organizacional de la compañía que facilitará la implementación hacia futuro, de herramientas más avanzadas.

2.Marco de referencia

El nombre de mantenimiento productivo total viene de las siglas en ingles *Total Productive Maintenance* o TPM, es una filosofía de negocios que empezó a implementarse en la industria automotriz en la década de los 70 y rápidamente se aplicó a otras industrias de manufactura como una metodología de mejora organizacional (Arenas, 2011), se basa en mejorar la eficiencia de los equipos a través de la identificación de anomalías tempranas que son identificadas por los operadores, realizando rutinas simples de mantenimiento a los equipos para mantenerlos en condiciones estandarizadas (González, et al, 2013), convirtiéndose en un reto para las empresas de países en vías de desarrollo como Colombia la implementación de esta cultura organizacional para mejorar su competitividad en el mercado nacional e internacional.

Por otro lado, el Ingeniero mecánico japonés Seiichi Nakajima que introdujo el TPM en Japón, amplió el concepto definiéndolo como el “mantenimiento productivo realizado por todos los empleados, se basa en el principio de que la mejora de los equipos debe implicar a toda la organización, desde los operarios de la cadena hasta la alta dirección” (González, et al, 2013, p. 206); de igual forma, se convierte en un elemento diferenciador de la competencia, obteniendo ventajas competitivas como, menores tiempos de respuesta, fiabilidad, empoderamiento del personal, reducción de costos entre otros, mostrándose en el mercado como una empresa de altos estándares de calidad.

El presente trabajo mostrara estrategias para el diseño de implementación de la metodología TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. a través de un diagnóstico inicial, usando una encuesta. Definiendo metas para cada uno de los pilares del TPM y así poder determinar brechas entre el estado inicial y el objetivo deseado. Planteando un plan de acción con diferentes actividades específicas para cada pilar que permitan alcanzar o superar las metas establecidas inicialmente, para cada pilar del TPM.

2.1. Las 5S

El TPM parte de un diagnóstico empresarial y su implementación se fundamenta en la base de la metodología de las 5S, que soporta los 8 pilares del proceso.

Las 5S, es una herramienta para mejorar las condiciones de trabajo existentes, alcanzar un entorno de trabajo organizado y más seguro, No son un ejercicio de limpieza, tampoco una forma de culpar a las personas por los defectos, ni una forma de obligar a las

personas a hacer su trabajo, y menos aún, una forma de hacer que las personas trabajen más duro y más rápido (NPC, 2005).

Las 5S se conocen como los cinco pasos a seguir para tener un lugar de trabajo limpio y ordenado, conservándose a través del tiempo, mediante el uso de estándares. Su nombre proviene de las cinco acciones en el idioma japonés y según Cruz (2010, p. 13), se describen de la siguiente forma:

1. Seiri (seleccionar): Separar elementos innecesarios de los que son necesarios.
2. Seiton (organizar): Colocar lo necesario en lugares fácilmente accesibles, según la frecuencia y secuencia de uso. ¡Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar!
3. Seiso (limpiar): Limpiar completamente el lugar de trabajo, de tal manera que no haya polvo, ni grasa en máquinas, herramientas, pisos, equipos, etc.
4. Seiketsu (estandarizar): Estandarizar la aplicación de las 3S anteriores, de tal manera que la aplicación de éstas se convierta en una rutina o acto reflejo.
5. Shitsuke (disciplinar): Aplicar con disciplina las buenas prácticas de orden y limpieza.

Las organizaciones generalmente al aplicar herramientas de mejora encuentran soluciones complicadas y pocas soluciones simples, como la selección, orden y limpieza ya que estas generalmente son asociadas a entornos de tipo doméstico y no empresarial. Sin embargo, son estos conceptos los pasos iniciales para implementación de la cultura de las 5S consiguiendo un entorno seguro, agradable e incrementando la productividad (Santoyo, et al, 2013). Como argumento para valorar la necesidad de las 5S, es que esta metodología simula el aprendizaje en una compañía, la necesidad de cuestionarse qué cambios facilitarían llegar a trabajar de una forma estandarizada, identificando cualquier desviación (Gutiérrez, Calidad Total y Productividad, 2014).

La metodología está dirigida para mejorar el entorno de los procesos, no es exclusiva de procesos productivos ya que no altera la esencia de estos para su implementación (Santoyo, et al, 2013), y según Kawalec, et al, (2018), sin la base de las 5s aplicadas a la organización, las otras metodologías de mejoramiento continuo no son totalmente efectivas y por lo tanto, se debe iniciar su implementación para llegar a herramientas más complejas que incrementan la productividad y mejoran el ambiente de trabajo.

2.2. Lean Manufacturing

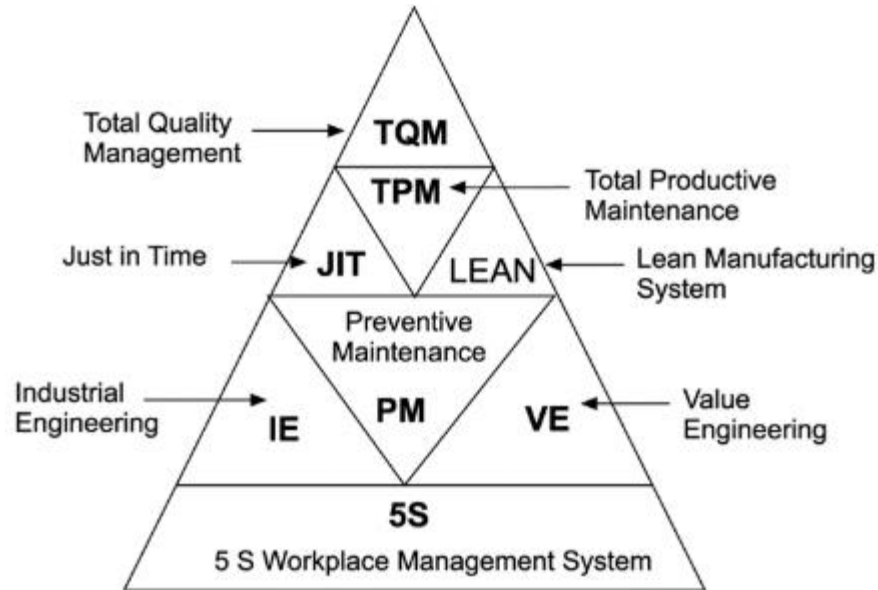
Es una filosofía por medio del uso de distintas herramientas, en el que las compañías logran ser más competitivas con un enfoque hacia la mejora continua, aprovechando los recursos operacionales, tiempo, equipos, mano de obra y garantizando la calidad de sus productos (Prabowo & Adesta, 2019); de los tantos beneficios de la aplicación de esta herramienta, se encuentran, la reducción de tiempos de entrega, de reprocesos, de inventarios, de desperdicios, ahorros financieros, y entendimientos de procesos (Chen, et al, 2019).

Según Prabowo & Adesta (2019), esta filosofía de mejora está basada en 4 pilares para su implementación y ejecución,

- Valor: Creando por la empresa y definido por el cliente
- Flujo de valor: Identificar cadena de valor y sostener el valor creado
- Flujo: Sistema de producción
- Perseguir la perfección: Dirigir y perfeccionar hacia la perfección

Lean Manufacturing no es una filosofía aislada, se integra con otras para crear sistemas más complejos, permitiendo así, mejorar el rendimiento de las compañías, de manera sistemática y diseñada para perdurar en el tiempo, en la **Figura 1** se puede observar la interrelación con metodologías como 5S, JIT, LEAN y TQM entre otras. La interrelación entre diferentes filosofías tiene todas como base las 5S, la primera herramienta que se debe implementar.

Figura 1. Relación entre TPM, LM y otras filosofías.



Fuente. (Adesta & Prabowo, 2018)

2.3. Six Sigma

Considerada como una estrategia de mejora continua, el Six Sigma, se centra en la reducción de la variabilidad del proceso, consiguiendo reducir o eliminar los defectos en los productos entregados al cliente. El objetivo de Six Sigma, es llegar a tener de 3 a 4 defectos por un millón de productos elaborados, entendiendo por defecto cualquier desviación que no cumpla con los requisitos del cliente y de acuerdo con Kumar, et al, (2018), toma como enfoque el cliente y tiene como beneficios la mejora de la rentabilidad y productividad de la compañía. Asimismo, comparte objetivos comunes con la filosofía como Lean Manufacturing, generándose un nuevo enfoque como Lean Six Sigma (Llontop, 2018), el proceso de implementación, se caracteriza por realizarse en 5 etapas conocido como DMAIC por sus siglas en inglés (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), tal como se muestra en Burawat (2019, p. 786).

- Definir: Definir el problema y los participantes del programa
- Medir: Entender el funcionamiento actual del problema

- Analizar: Identificar las causas reales del problema
- Mejora: Determinar las mejoras minimizando la inversión a realizar
- Controlar: Tomar medidas con el fin de garantizar la continuidad de la mejora

2.4. AMEF

El Análisis de modo y efecto de falla (AMEF o en ingles FMEA) es un procedimiento de análisis de fallos potenciales calificándolos por su nivel de criticidad, tuvo sus orígenes en la década de 1960 en la industria aeroespacial y posteriormente fue aplicado a otras industrias (Nguyen, et al, 2016), se usa en diferentes fases del ciclo productivo de un producto, los fallos pueden ser potenciales o reales y su criticidad, se incrementa en los que afectan directamente al cliente, se enfoca de manera especial en las consecuencias de la falla, como se muestra en Tsai, et al, (2017), se desarrolla en 6 pasos secuenciales que deben realizarse de forma lineal, no sin antes, realizar un trabajo previo que garantice que la historia del producto a analizar se tiene, esto, con el objetivo de tener información y registros que permitan tener un análisis acorde con la realidad y de acuerdo con Baynal, et al (2018) los pasos para seguir son los siguientes:

- Modo de falla
- Efectos de la falla
- Causas
- Detectabilidad
- Acciones correctivas y preventivas
- Aceptación racional

2.5. Objetivos del TPM

Los objetivos de la implementación del TPM se concentran en tres grandes grupos, como se muestra en Cuatrecasas & Torrell, (2010),

- Objetivos estratégicos: Desarrollar las ventajas competitivas frente al mercado, maximizando la eficiencia del proceso de producción y auxiliares, la gestión del conocimiento, reducción de costos y mejor capacidad de respuesta.
- Objetivos operativos: Incrementar la fiabilidad de los equipos eliminando las fallas y pérdidas, utilizando la capacidad instalada de los equipos y aumentando la calidad del producto.

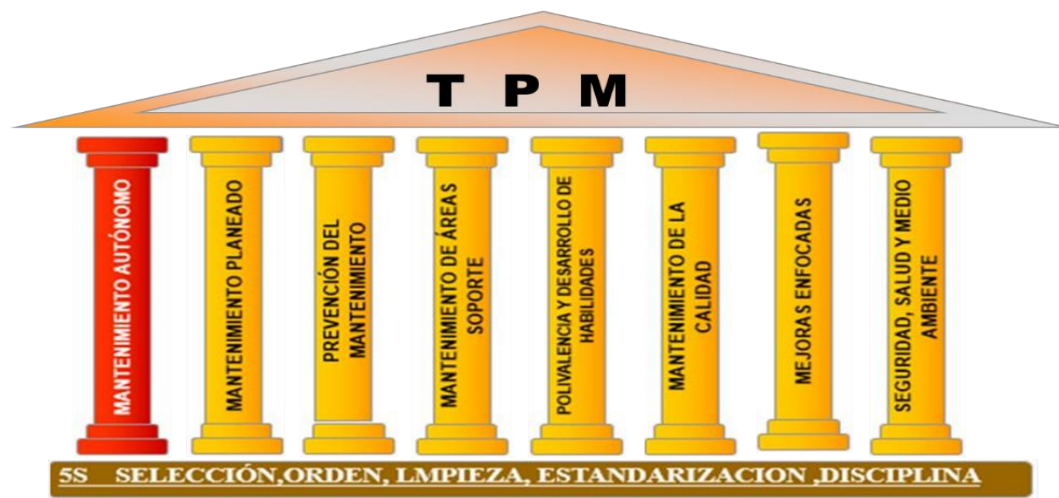
- Objetivos organizativos: Fortalecer el trabajo en equipo y la conformación de grupos autónomos, generando ideas de mejora, en un ambiente de trabajo creativo, productivo y agradable.

2.6. Pilares del TPM

Según el JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance), el TPM, se orienta a crear un sistema corporativo que maximiza la eficiencia de la producción, estableciendo un método que previene todas las pérdidas en todas las operaciones de las empresas (Rahman, 2015), incluye cero accidentes, cero defectos y cero fallos en todo el ciclo de vida del sistema productivo (Eka, et al, 2017), se aplica en todos los sectores, incluyendo producción, desarrollo y departamentos administrativos y se apoya en la participación de todos los integrantes de la empresa, desde la alta dirección hasta los niveles operativos como lo mencionan Wakchaure, et al, (2015), la obtención de cero pérdidas se logra a través del trabajo de pequeños equipos.

Por lo anterior, el TPM es una cultura que está en todos los procesos de la organización y como lo muestran Cuatrecasas & Torrell, (2010), sus pilares están conformados por procesos y no solo de producción y mantenimiento; y como lo manifiestan autores como (Barkat, et al , 2019), (Cuatrecasas & Torrell, 2010) ver **Figura 2**, (Manihalla, et al, 2019), (Rahman, 2015), (Shirose, 1997), y (Yoshida, 1990), concuerdan en los ocho pilares que soportan el TPM, para eliminar los tiempos de fallas y averías de manera significativa, aumentar el rendimiento de los equipos del proceso productivo, atacar los defectos por calidad se pueden presentar desde el uso de las materias primas para la elaboración de los productos, garantizando la satisfacción del cliente (Zhai & Zhang, 2017).

Figura 2. Pilares del TPM



Fuente. Adaptación propia con información tomada de (Barkat, et al , 2019), (Cuatrecasas & Torrell, 2010), (Manihalla, et al, 2019), (Rahman, 2015), (Shirose, 1997), y (Yoshida, 1990).

Para lo anterior, la preparación física es esencial antes de iniciar un proceso de mejora enfocada, los grupos interfuncionales deben preparar los siguientes ítems y de acuerdo con lo que plantea (Puerto, 2009, p. 78).

- Comprender filosofía de mejora enfocada
- Comprender el significado de las pérdidas y mejorar la eficiencia global.
- Comprender el proceso productivo
- Reunir información sobre pérdidas y fallas a través de gráficas de seguimiento cronológico.
- Establecer las condiciones necesarias básicas para el funcionamiento de los equipos
- Definir factores que llevan a condiciones óptimas de operación de equipos
- Usar metodologías de análisis de causa raíz para reducir pérdidas
- Detectar oportunidades de mejora a partir de la observación cuidadosa

2.6.1. Pilar 1 Mantenimiento Autónomo

El Manteamiento autónomo es un cambio en la cultura de la organización, en esta se empodera al colaborador sobre los equipos, calidad y producto, así mismo, es

considerado como una herramienta de mejora continua para los procesos de una compañía y su aplicación es transversal a todos los procesos de esta (Wakchaure, et al, 2015), su desarrollo está basado en los pasos, que se muestran en Guariente, et al, (2017, p. 132),

- Limpieza e inspección.
- Eliminar fuentes de contaminación y áreas de difícil acceso.
- Preparación de estándares para la limpieza e inspección y lubricación.
- Inspección general del equipo.
- Realizar la inspección general del proceso.
- Organizar y gestionar las áreas de trabajo.
- Control autónomo total.

De lo anterior, se entiende la limpieza como la primera rutina para la identificación temprana de anomalías y prevenir una falla del equipo, tiene como base la implementación y mantenimiento de la cultura de las 5S, sin la cual, el mantenimiento autónomo no puede estar soportado (Chlebus, et al, 2015), otro cambio cultural corresponde al del operador del equipo que se encarga de la producción y el mecánico a cargo de las reparaciones (Tavares, 1999), se busca que, tanto el operador del equipo como el mecánico a cargo, trabajen en conjunto para mantener el equipo en las condiciones óptimas y estandarizadas para el mismo, interviniendo así, de forma temprana cualquier anomalía que lleve los dispositivos al modo de fallo (Azid , et al, 2019).

2.6.2. *Pilar 2 Mantenimiento planeado*

Como principal objetivo, se tiene la eliminación de las fallas de un equipo a través de planes de mantenimiento preventivo y predictivo, manteniéndolo con el proceso en condición óptima al menor costo, hasta lograr la meta de cero averías (Azid, et al, 2019). El programa de mantenimiento planeado, debe estar en la capacidad de establecer las frecuencias de intervención, teniendo como base, las recomendaciones de los fabricantes descritas en los manuales, elaboración fichas técnicas de equipos y programación mensual de intervención para prevenir fallas, (Estupiñan, 2017), por lo cual, es necesario tener una

base de datos en donde se registren los paros y se administren las causas más probables de falla.

Uno de los objetivos de este pilar es reducir el mantenimiento correctivo, fortaleciendo los de tipo preventivo, predictivo y programados, logrando mantener la disponibilidad de los equipos, un costo óptimo del mantenimiento de los mismos, cero averías, capacitación y preparación de los operadores para mantener las condiciones óptimas de funcionamiento, tal como lo mencionan Kart & Kut, (2015), para lo cual y como lo indica Llontop, (2018), es necesario llevar registros de los indicadores de mantenimiento basado en la confiabilidad, planes de intervención para eliminación de fallas frecuentes y políticas de mantenimiento para garantizar el inventario de repuestos críticos y definición de metas de reducción de costos, y considerando los siguientes seis pasos, (p. 40).

- Evaluación de equipos
- Restaurar el deterioro y mejorar la debilidad
- Tener un sistema de información y gestión
- Elegir un equipo de trabajo y elaborar un plan de acción
- Elaborar un sistema de mantenimiento predictivo
- Evaluación del mantenimiento planificado

2.6.3. *Pilar 3 Prevención del mantenimiento*

Este pilar, actúa durante la planificación y construcción de equipos para la producción, empleando información actual sobre su funcionamiento, mejoras en ingeniería, calidad y mantenimiento para prevención de fallas desde el diseño, y como lo presenta Gupta, et al, (2015), el objetivo es reducir drásticamente el período entre la idea aprobada del nuevo producto, hasta su producción masiva, logrando un arranque vertical, arranque rápido, libre de dificultades y correcto desde su inicio. En este pilar, se hace énfasis en que los equipos que ingresan a la compañía sean lo más eficientes posibles, prestando el servicio para el cual fueron diseñados. El proceso de adquisición de equipos debe estar orientado hacia los más actualizados, los cuales representan menos gastos de mantenimiento a futuro y menos fallas de calidad, por lo cual para (Estupiñán, 2017), los objetivos que busca este pilar se orientan hacia:

- Aumento en la eficiencia de nuevos equipos y productos.
- Reducción de tiempos en procesos de actualización tecnológica.

- Conseguir arranques verticales.

2.6.4. *Pilar 4 Mantenimiento de áreas soporte*

Tiene como objetivo eliminar las pérdidas de información entre los procesos de producción y los administrativos, y entender las labores de soporte como un proceso. El mantenimiento de áreas de soporte ayuda a evitar pérdidas de información, precisión y coordinación. Para su aplicación, se emplean técnicas de mejora continua, metodología de 5s, acciones de mantenimiento autónomo, formación, capacitación y estandarización de puestos de trabajo (Sánchez & Lozada, 2013).

En la metodología del TPM se involucran todos los procesos de la compañía y su importancia dentro de la implementación, se resalta la importancia del cliente interno, para tener un encadenamiento de los procesos de la misma, involucrando a unos con otros en pro del mejoramiento (Estupiñán, 2017), se hace necesario aplicar estrategias que permitan que la información entre procesos fluya de forma rápida y ágil, y como lo muestra (Adesta, et al, 2017), aprovechando las tecnologías de la informática y reduciendo o eliminando los procesos manuales en los puestos de trabajo.

2.6.5. *Pilar 5 Polivalencia y desarrollo de habilidades*

El desarrollo de la capacidad individual y grupal de trabajo permite diagnosticar, corregir y mejorar rápidamente el estado de un equipo, generando habilidades para tener un alto nivel de desempeño, de los colaboradores en su puesto de trabajo. De igual forma, se puede emplear técnicas utilizadas en otros pilares como mantenimiento autónomo, mejoras enfocadas y herramientas de calidad (Sánchez & Lozada, 2013). Y por ello, los colaboradores deben ser capacitados para lograr las cuatro etapas del desarrollo de habilidades, que permita crear un grupo de expertos dentro de la compañía, y como se muestran en (Llontop, 2018, p. 42), estas son:

- No lo sé.
- Sabe la teoría, pero no puede hacer.
- Puede hacer, pero no puede enseñar.
- Sabe hacer y enseñar.

Por lo anterior, las políticas de formación en la empresa deben estar centradas en mejorar los conocimientos y las habilidades técnicas, desarrolladas en un ambiente de aprendizaje basado en las necesidades de la compañía. Además, evaluar el proceso permite identificar un punto inicial, final y brechas de conocimiento a cerrar, logrando así, tener el menor tiempo de paro de los equipos y reducir las pérdidas (Morales & Silva, 2017).

2.6.6. *Pilar 6 Mantenimiento de la calidad*

Tiene como propósito establecer un punto donde sea factible tener cero defectos, verificando y midiendo que esta condición se pueda mantener en el tiempo de forma regular, facilitando la operación del equipo donde no se generen defectos de calidad. Para cada defecto, debe asociarse un instrumento o mecanismo de medición y su frecuencia de uso (Sánchez & Lozada, 2013), está dirigido hacia satisfacción del cliente, con productos libres de defectos de fabricación, eliminando las no conformidades de forma sistemática. Este enfoque de la prevención de errores tiene su origen en la metodología Poka-Yoke (sistema de prueba de error), detecta defectos en línea antes de que llegue al cliente final (Candra, et al, 2017), por lo cual se pueden establecer los siguientes objetivos y de acuerdo con Estupiñan, (2017).

- Mantenimiento del equipo para prevenir defectos de calidad
- Certificación que el equipo cumple condiciones de cero defectos, dentro de los estándares aprobados, para prevenir defectos de calidad
- Registro de variables críticas de los equipos que permitan prevenir y adelantarse a situaciones de anormalidad.

Para la implementación del mantenimiento de la calidad, se pueden seguir los pasos secuenciales, que proponen Cuatrecasas & Torrell, (2010), así:

Etapa 1: Identificación de la condición actual del equipo.

Etapa 2: Investigación de la forma como se generan los defectos.

Etapa 3: Identificación y análisis de las condiciones, análisis de causa raíz.

Etapa 4: Estudiar acciones correctivas para eliminación de las anomalías.

Etapa 5: Analizar las condiciones del equipo para productos sin defectos.

Etapa 6: Realizar acciones y mejora de las condiciones detectadas en el análisis de causa raíz.

Etapla 7: Definir condiciones y estándares.

Etapla 8: Reforzar el método de inspección.

Etapla 9: Valorar los estudios analizados.

Etapla 10: Revisar los estándares establecidos.

Los anteriores pasos, garantizan de forma ordenada una correcta implementación en la compañía del pilar de mantenimiento de la calidad.

2.6.7. *Pilar 7 Mejoras enfocadas*

Las mejoras enfocadas son actividades que se desarrollan con la intervención de las diferentes áreas comprometidas en el proceso productivo, con el objeto maximizar la Efectividad Global del Equipo, proceso y planta; todo esto a través de un trabajo organizado en equipos multidisciplinarios, empleando metodología específica y concentrando su atención en la eliminación de los despilfarros que se presentan en las plantas industriales.

2.6.8. *Pilar 8 Seguridad, salud y medio ambiente*

Tiene como propósito el mejoramiento integral del sistema productivo, humano, tecnológico y del medio ambiente, alrededor de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo, a través de óptimos diseños de las máquinas y de los sistemas productivos como tal, (Adesta, et al, 2017), este pilar tiene como objetivo cero daños al medio ambiente y a la salud de los colaboradores, identificando los riesgos potenciales, determinando las fuentes de contaminación y estableciendo los procedimiento que permitan detectar y reportar actos y condiciones inseguras, tal como lo muestra Llontop, (2018).

Los anterior, se logra además, con el apoyo de organismos como el comité paritario de seguridad y salud en el trabajo ocupándose de las funciones relacionadas con la seguridad y salud en el trabajo, para crear conciencia entre los colaboradores a través de actividades que generen conciencia de autocuidado en el desarrollo de actividades propias del trabajo en condiciones seguras (Sánchez & Lozada, 2013).

2.7. Los doce pasos de implementación del TPM

Para la implementación del TPM se descompone en 12 pasos los cuales se encuentran agrupados en 4 grandes grupos: preparación, introducción, implementación y consolidación (Malviya, 2015), lo anterior se muestra resumido en la **Tabla 1**:

Tabla 1. Pasos Implementación TPM.

FASE	PASO	PUNTO CLAVE
Preparación.	1 - La alta dirección anuncia la introducción del TPM	Conferencia sobre TPM en la compañía; publicación a medios comunicación
	2 - Programas de educación y campañas para introducir TPM	Directores: seminarios / reuniones según niveles
	3 - Crear organizaciones para promover TPM.	Formar comités especiales en cada nivel para promover TPM; establecer oficina central y asignar Staff.
	4 - Establecer políticas básicas TPM y metas	Analizar las condiciones existentes; establecer metas; predecir resultados
	5 - Formular plan maestro para desarrollo TPM.	Preparar planes detallados e implantación de las cinco actividades fundamentales
Introducción	6 - Organizar un acto de iniciación TPM.	Invitar clientes, afiliadas y compañías cooperadoras
Implementación	7 - Mejorar la efectividad de cada pieza del equipo.	Seleccionar equipo modelo; formar equipo de proyecto
	8 - Desarrollar un programa de mantenimiento autónomo	Promover los siete pasos; fabricar útiles de diagnóstico y establecer procedimientos de certificación
	9 - Desarrollar un programa de mantenimiento planeado	Incluye mantenimiento periódico y predictivo y gestión de repuestos, herramientas, dibujos y programas
	10 - Dirigir entrenamiento para mejorar operación y capacidades de mantenimiento	Entrenar a los líderes; los líderes comunican información con los miembros del grupo
	11 - Desarrollar programa gestión equipos fases iniciales	Diseño prevención del mantenimiento control encargos; entorno libre de accidentes y polución
Consolidación	12 - Implantación perfecta del TPM y elevación niveles TPM.	Evaluación para el premio PM, fijar objetivos más elevados.

Fuente: (Suzuki, 1995)

2.7.1. La alta dirección anuncia la introducción del TPM

Todos los colaboradores deben comprender por qué implementar TPM en la empresa y estar convencidos de su necesidad, muchas compañías lo adoptan como una estrategia para resolver problemas complejos y luchar contra las turbulencias económicas, sin embargo, cuando la alta dirección formula este compromiso debe dejar claro su intención de seguir el programa TPM hasta su culminación y siguiendo la concordancia entre los autores Puerto, (2009), y Ros, (2013).

2.7.2. Programas de educación y campañas para introducir TPM

Según, Puerto, (2009), este paso se define como una estrategia que permite llevar a cabo un programa de TPM con plena comprensión, garantizando que todos entienden las características, y las razones estratégicas que han llevado a la dirección a aceptarlo, planificando seminarios externos y planes de formación internos adecuados para cada nivel.

2.7.3. Crear organización de promoción del TPM

El TPM se promueve a través la estructura de grupos autónomos que se solapa en toda la organización. En este sentido, los líderes de cada grupo de la organización son miembros del siguiente grupo de un nivel más elevado, autores como Suzuki, (1995) y Tavares, (1999), concuerdan que este sistema es extremadamente eficaz para desplegar las políticas y objetivos de la alta dirección por toda la organización, preferiblemente a través de una oficina de promoción y coordinación del TPM responsable de desarrollar y promover las estrategias eficaces con personal permanente ayudado por varios comités.

2.7.4. Establecer políticas básicas TPM y metas

La política TPM debe ser parte integral de la política global de la compañía y tener objetivos relacionados con la planificación estratégica, es decir, con los objetivos de negocio a mediano y largo plazo; el programa TPM debe durar lo suficiente, como para

obtener los objetivos establecidos, los cuales deben ser medibles desde el punto de vista cuantitativos y en su gran mayoría con referencias claras (Mora, 2009), (Yoshida, 1990).

2.7.5. Formular plan maestro para desarrollo TPM

Para formular un plan maestro de implantación, primero se definen las actividades a poner en práctica para el logro de los objetivos TPM, la empresa debe establecer los modos más eficientes de cubrir las diferencias entre la situación inicial y la referencia a la cual se quiere llegar, las 8 principales actividades se reflejan en los pilares que soportan el TPM descritos anteriormente (Garcia, 2003), (Shirose, 1997); para el caso del aseguramiento en la implementación del sistema TPM en Empresa Colombiana de Cemento S.A.S, se toma como diseño del cronograma de actividades, la guía presentada en Project Management Institute, Inc, (2017), que permite tomar las actividades resultado del proyecto como factores entregables en la EDT/WBS (Work Breakdown Structure) (p. 156).

2.7.6. Organizar un acto de iniciación TPM

Cuando se aprueba el plan maestro se puede dar inicio al lanzamiento del TPM, el cual, debe perfilarse para lograr la motivación que inspire dedicación y acción, se sugieren reuniones frecuentes con todo el personal de planta, filiales y subcontratistas. En la reunión, la alta dirección confirma su compromiso de implantar el TPM e informa de los planes desarrollados y el trabajo realizado durante la fase de preparación (Puerto, 2009), (Ros, 2013).

2.7.7. Mejorar la efectividad de cada pieza del equipo

El mejor enfoque se logra con actividades realizadas por equipos interdisciplinarios, compuestos por personas tales como ingenieros de producción, personal de mantenimiento, personal de calidad y operarios. Todas las actividades están pensadas para minimizar las pérdidas que han sido medidas y evaluadas cuidadosamente, tal como lo maneja Puerto (2009), además, de las pérdidas principales que se dan en las industrias de manufactura y ensamble, tal como lo muestran Wakchaure, et al, (2015), además, se tienen tres tipos de pérdidas, las relacionadas con el personal, de materias primas y de gestión (Singh, et al, 2015).

2.7.8. Desarrollar un programa de mantenimiento autónomo

Es la aplicación de tareas sencillas de mantenimiento a los equipos por parte de los colaboradores, potencializando las experiencias y conocimientos adquiridos durante la operación de los mismos (Clavijo & Rodriguez, 2003), permite identificar de forma temprana las anomalías que pueden ser ocultas por averías o polvo (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

Así como las 5S son la base del mantenimiento autónomo (Hama & Hama, 2017), este también es uno de los ocho pilares de otra herramienta de mejora continua, el TPM, y hacen parte de las herramientas de Lean Manufacturing para la mejora continua de los procesos en una compañía (Garza, et al, 2018).

2.7.8.1. Objetivos del Mantenimiento Autónomo

Los principales objetivos del mantenimiento autónomo son los siguientes y de acuerdo con Shirose, (1997), se tienen los siguientes:

- Mejorar la efectividad de los equipos a través de la participación del personal de producción
- Mejorar las habilidades de los operarios con el fin de alcanzar altos niveles de eficiencia en los procesos de manufactura
- Mejorar el funcionamiento general de la organización por reducción de pérdidas en el proceso de manufactura.
- Preservar individualmente de los equipos conservando la condición inicial de los equipos evitando su deterioro forzado por anomalías.
- Tener operadores expertos de maquinaria fortaleciendo sus habilidades, conocimiento y competencias para que tengan mayor autonomía y responsabilidad frente a sus equipos.
- Desarrollar las habilidades de detección de anomalías a través de la realización de rutinas de limpieza, ajuste, lubricación inspección.
- Fortalecer el entendimiento que existe entre el equipo y el proceso encontrando posibles fallas que afecten la calidad del producto y las causas que lo generan.

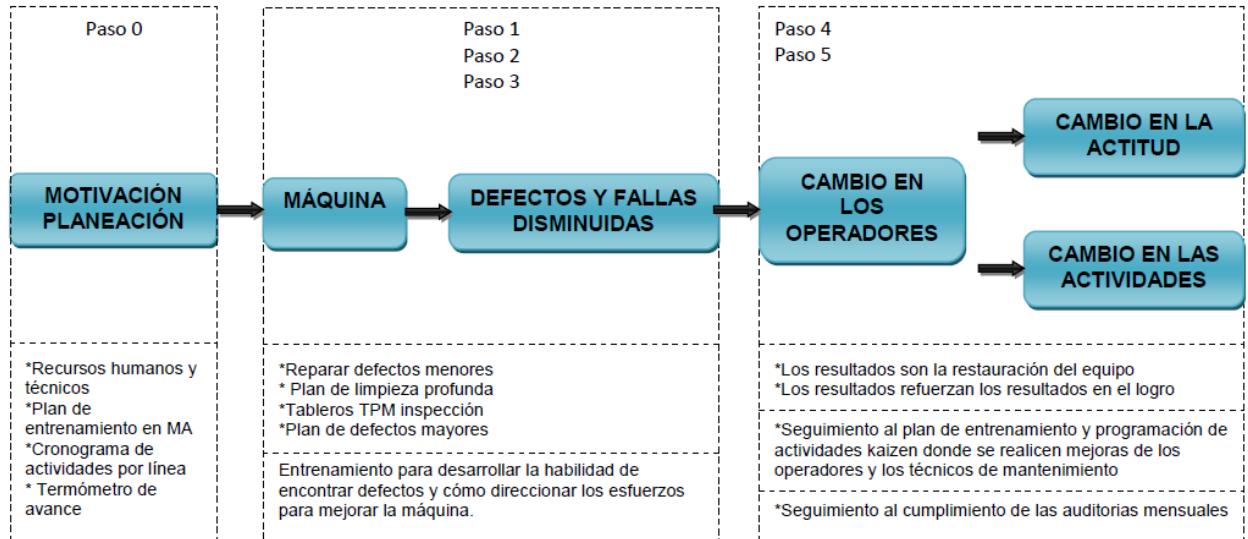
2.7.8.2. Implementación Mantenimiento autónomo

El concepto de “yo opero, tu reparas” es una forma de pensar muy común para muchas empresas, los operarios solo se dedican a producir, mientras que las demás actividades relacionadas con el mantenimiento de los equipos están a cargo solo del personal de mantenimiento (Ros Moreno, 2010). El TPM busca eliminar esta gran diferencia, generando espacios de trabajo en equipo en donde todos se involucren y se enfoquen en un solo objetivo, la efectividad de los equipos (Garcia, 2003).

El mantenimiento autónomo, utiliza como filosofía cero defectos, cero fallas, cero perdidas (Adesta, et al, 2017), (Cuatrecasas & Torrell, 2010), (Morales & Rodríguez, 2018), sirve, para reducir las diferencias entre los operadores de los equipos y los técnicos de mantenimiento e incrementar la sinergia entre ellos, todo esto, puede llevarse a cabo sólo si, todas las personas involucradas en el proceso productivo logran cambiar su forma de pensar y actuar, además, de mejorar las condiciones de los equipos para retornar a la compañía rentabilidad y eficacia en los procesos productivos (Clavijo & Rodriguez, 2003).

Para llevar a cabo la implementación se debe seguir 5 pasos secuenciales iniciando la motivación del personal y la planeación de la implementación de la metodología, hasta llegar a tener un cambio de actitud y en las actividades que se realizan de forma cotidiana, ver **Figura 3**, el proceso de implementación requiere de la participación de los procesos de producción, mantenimiento y recursos humanos en sus fase inicial pero terminara abarcando a todos los procesos de la compañía.

Figura 3. Esquema de implementación mantenimiento autónomo.



Fuente. Elaborado a partir de Yoshida (1990).

2.7.9. Programa de mantenimiento planeado

El mantenimiento abarca tres escenarios, el correctivo, el preventivo, y el predictivo, un sistema de mantenimiento planificado debe hacerse sistemáticamente, superando un paso cada vez, según Ros, (2010), como finalidad, el mantenimiento preventivo y predictivo es eliminar las averías, incluso si al realizar prácticas de mantenimiento sistemáticas se siguen presentando fallos inesperados, estos se dan pero en una proporción mucho menor que antes de su implementación (Puerto, 2009).

2.7.10. Entrenamiento para mejorar operación y capacidades de mantenimiento

La fuerza laboral de una empresa es su activo más valioso, la formación gradual a sus colaboradores y cada vez más polivalente, debe ser parte vital dentro de su proceso de crecimiento en la compañía (Fam, et al, 2018), ahora bien, es necesario identificar los conocimientos específicos, capacidades, y habilidades de gestión que se deseen adquirir para programar la formación en la implementación del TPM, siempre acompañados de un buen proceso de evaluación (Cuatrecasas & Torrell, 2010).

2.7.11. Desarrollar programa de gestión equipos fases iniciales

La gestión temprana incluye gestión anticipada sobre las decisiones de los equipos y los productos (Krachangchan & Thawesaengskulthai, 2018), su finalidad, está en lograr rápidamente productos fáciles de fabricar y equipos fáciles de usar, generalmente, se cubren las siguientes etapas (Shirose, 1997).

- Planificación de la investigación de los equipos
- Diseño de procesos
- Proyectos de equipos, fabricación e instalación
- Someter a prueba la instalación
- Gestión del arranque

2.7.12. Implantación perfecta del TPM y elevación niveles TPM

En Japón, el programa TPM termina cuando una empresa gana el premio PM, pero las actividades TPM no terminan ahí, hay que continuar fijándolas en la cultura corporativa haciéndolas más eficaces, (Kart & Kut, 2015), (Suzuki, 1995), hay varias claves para mantener los niveles TPM alcanzados, por ejemplo, crear fuertes grupos TPM que lo integren en su trabajo cotidiano como una herramienta de mejora continua y aceptando nuevos desafíos (Shirose, 1997).

La implantación del TPM en una organización toma gran sentido de responsabilidad en la medida en que se pueda demostrar el beneficio desde el punto de vista financiero, que desde el comparativo del análisis de costos de mantenimiento frente al de la implementación de la metodología se calcula la Tasa Interna de Retorno TIR, que, de acuerdo con ECONOMIPEDIA, (2017) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión.

3.Marco institucional

3.1. Reseña Histórica

Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. (ECOLDECEM) fue fundada en el año 2015 para construir y operar una planta de cemento, es una sociedad formada por la empresa Española Cementos Molins y la organización Corona de Colombia. La planta tendrá una producción anual de 1.35 millones de toneladas de cemento. La adjudicación del contrato de montaje asignado a multinacional OHL industrial fue el 20 de octubre de 2016, la fecha de inicio del proyecto el 1 de diciembre de 2016 y la adjudicación del contrato para proveer los principales equipos fue asignado la multinacional FLSmidth, comenzó su construcción el 5 de enero de 2017, la primera producción de Clinker 25 de octubre de 2019 y llegar a capacidad nominal de producción en el año 2020.

Tiene por objeto social la producción, venta y distribución de cemento de uso general (UG) en presentaciones de 50 Kg y 25 Kg y de altas resistencias tempranas (ART) para despachos a granel en presentación por 42,5 Kg. La planta de producción de Clinker y cemento se encuentra ubicada en el municipio de Sonsón – Antioquía (Lluch, 2019a). La compañía contará con todo el proceso de producción de cemento, desde la extracción de la materia prima con fuentes propias de abastecimiento hasta la producción, ensacado y la distribución de cemento (Lluch, 2019b). La compañía contará con tecnología que incluye sistemas de alta eficiencia energética y bajas emisiones a la atmósfera.

3.2. Misión

Nuestra misión es ser una empresa familiar respetada y atractiva en el sector cementero mundial, creando valor para todos nuestros grupos de interés y apuntando principalmente a la satisfacción de nuestros clientes.

3.3. Visión

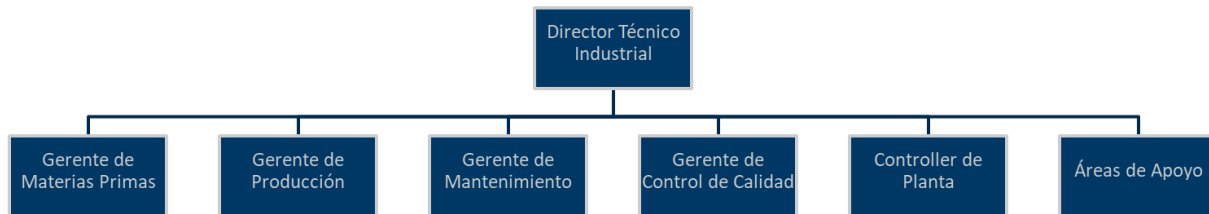
Los resultados de nuestro trabajo son algo más que soluciones para la construcción. Estas son fórmulas que significan que nuestra sociedad y las personas en ella continúan avanzando. (Lluch, 2019a) Queremos promover el desarrollo de la sociedad y la calidad

de vida de las personas mediante la creación de soluciones innovadoras y sostenibles en el sector de la construcción.

3.4. Estructura organizacional.

El mapa de proceso de la compañía se presenta en la **Figura 4**, en donde se detallan los macroprocesos que conforman la estructura del modelo operativo requerido por la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, encargado de la gestión y administración de la producción, venta y distribución del cemento elaborado en la planta de cemento en Rio Claro – Antioquia.

Figura 4. Mapa de procesos Empresa colombiana de cementos.



Fuente. Elaboración propia.

3.4.1. Análisis de sector económico de cemento.

La economía colombiana, se encuentra en una etapa de recuperación después de superar el periodo de inestabilidad desde el año 2015, debido a la caída del 68,7% del precio del petróleo a nivel mundial (CW Group, 2018). La economía colombiana, basó sus exportaciones en más del 50% en petróleo y el carbón para el año 2017, el crecimiento durante los años 2013 a 2018 fue 2,2%, alcanzando un consumo de cemento de 12,9 millones de toneladas para el año 2019 (DANE, 2019). Para los próximos cinco años, se proyecta a nivel nacional un incremento en el consumo de cemento por el inicio de grandes obras de infraestructura para el país que demandan gran capacidad instalada de producción de cemento a nivel nacional.

La industria del cemento se encuentra en el sector económico secundario o industrial y pertenece al sector de la transformación, el mercado nacional del cemento, está dominado por tres grandes participantes que son Cementos Argos, Cemex y Lafage Holcim, con una participación en el mercado del 87,7%, en la actualidad, hay 21 plantas

de cemento de las cuales, 8 corresponden a molienda y las 13 restantes son unidades integradas de molienda y clinkerización (CW Group, 2018). Para los años 2018 a 2023 se proyecta un crecimiento de la economía nacional alcanzando un valor de 3,4% y una necesidad de consumo de cemento de 15,3 millones de toneladas para el año 2023, lo cual, se genera la necesidad incrementar la capacidad interna de producción de cemento proyectándose nuevos proyectos de plantas de producción de cemento o ampliaciones de líneas de producción que suplan esta necesidad (CW Group, 2018).

Por la necesidad de cubrir el déficit de 4,6 Millones de toneladas de cemento en el 2020, para Colombia, se está aumentando la capacidad instalada de producción a través de nuevas plantas de cemento, como Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. (Cementos Molins – Grupo Corona) en Río Claro, con una proyección de producción de 1,5 millones de toneladas de cemento al año, en una planta integrada de clinkerización y molienda, Lafage Holcim con una molienda de cemento en Buga se proyecta con 0,5 millones de toneladas de cemento al año. y finalmente la ampliación de una línea más de producción para Argos – Sogamoso, con una capacidad para producir 2,3 millones de toneladas de cemento año (CW Group, 2018), los detalles y proyecciones hasta el años 2023 se pueden consultar en **Tabla 2**. Además, la planta de Cemex en Maceo – Antioquia, que está solucionando problemas de tipo legal para su entrada en operación.

Tabla 2. Capacidad de planta de cemento (Ton) 2013 - 2023(Proyectado).

Company	Plant Location	2013	2014	2015	2016	2017	2018E	2019F	2020F	2021F	2022F	2023F
New capacity							1.3	3.6	4.6	4.6	4.6	4.6
Argos	Sogamoso						1.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Cemex	Maceo						0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
JV Cementos Molins, Grupo Corona (Ecocement)	Río Claro							0.8	1.5	1.5	1.5	1.5
LafargeHolcim	Buga							0.3	0.5	0.5	0.5	0.5

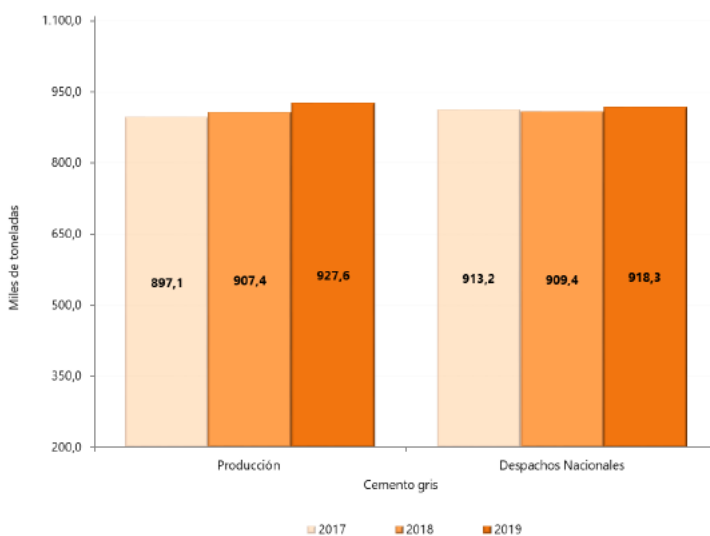
Fuente. CW Group (2018).

El gobierno nacional, ha tomado la política de impulsar la economía nacional con la realización de grandes proyectos de infraestructura a nivel nacional en autopistas 4G (Cuarta generación), iniciando sus proyectos de implementación desde el año 2014 para lograr un objetivo de construir 11000 Km de autopistas, para mejorar su pobre

infraestructura en vías y mejorar su competitividad, los proyectos buscan la intervención de inversión de origen privado a través de alianzas público privadas de origen nacional e internacional y atraer la inversión extranjera, 18 de los 30 proyectos de construcción de autopistas ya iniciaron la etapa de construcción (CW Group, 2018). La mayor demanda de consumo de cemento se concentra en los alrededores de los mayores centros urbanos del país Bogotá, Medellín y Cali (CW Group, 2018), (DANE, 2019).

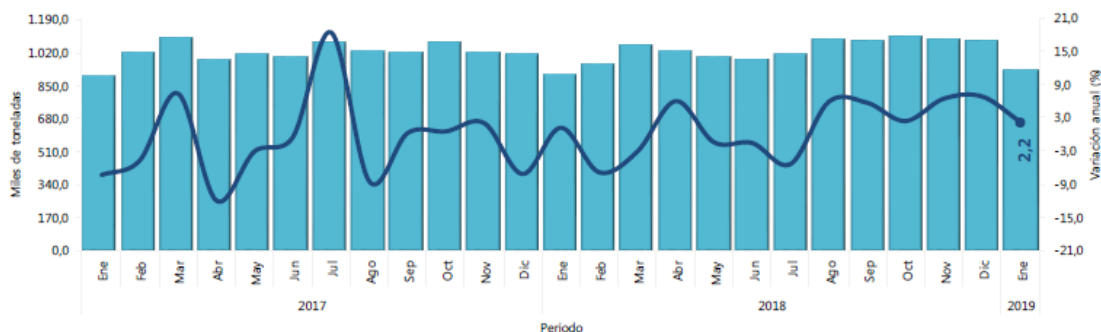
La producción de cemento a nivel nacional para el mes de enero de 2019, terminó en 927,6 miles de toneladas, representando un incremento del 2,2% frente al mismo mes del año 2018, mostrando una tendencia a la alza durante los tres últimos años y de acuerdo al DANE, (2019), los despachos de cemento en Colombia para el mes de enero 2019, terminaron en 918,3 miles de toneladas, significando un incremento del 1% frente al mismo periodo del año anterior y superando la tendencia negativa en despachos que se presentó en enero del 2018, se presenta en la **Figura 5** el comparativo para el mes de enero en los tres últimos años y los 25 últimos meses continuos desde enero de 2017 para la producción de cemento **Figura 6** y despachos de cemento **Figura 7**, de acuerdo a los indicadores del DANE, (2019).

Figura 5. Producción y despachos cemento gris, enero 2017 - enero 2019.



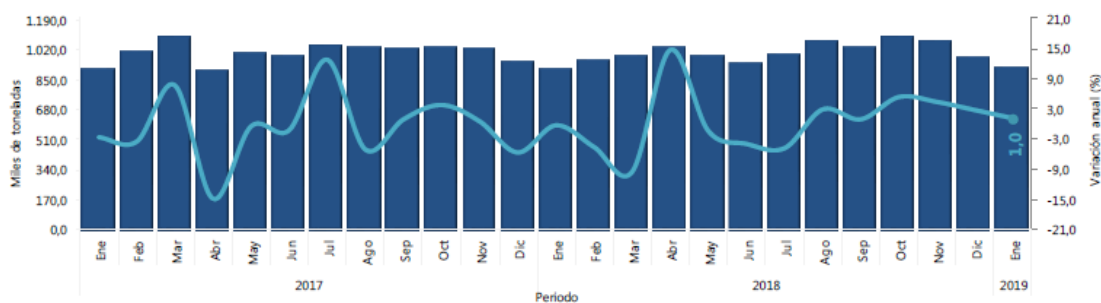
Fuente. (DANE, 2019).

Figura 6. Evolución de la producción nacional de cemento gris (miles de toneladas).



Fuente. DANE (2019).

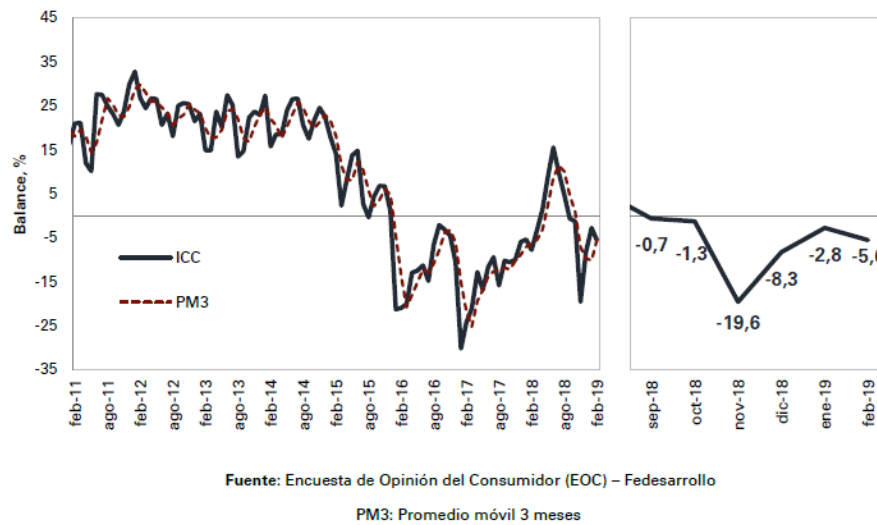
Figura 7. Evolución despachos nacionales de cemento gris (miles de toneladas).



Fuente. DANE (2019).

Adicionalmente, el índice de confianza al consumidor (ICC) en Colombia, presenta una tendencia ascendente desde el mes de enero de 2017 (FEDESARROLLO, 2019) ver **Figura 8**, situación esta, propicia para atraer inversión nacional y extranjera y suplir las necesidades de un país con proyección a consumir 4,6 millones de toneladas de cemento a partir de año 2020 (CW Group, 2018).

Figura 8. Índice de confianza al consumidor (ICC) Feb. 2019.



Fuente. (FEDESARROLLO, 2019).

Los estudios anteriores han demostrado la necesidad creciente de cemento en el mercado nacional colombiano, para lo cual, se hace necesario que la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, sea muy competitiva y eficiente; en la industria de manufactura, el cemento es considerado un producto commodity, en el cual, no hay rasgos diferenciadores en el mercado, la competencia de las empresas cementeras se concentra en la eficiencia de su proceso productivo al menor costo, y es aquí, donde el TPM como una herramienta de mejora continua que genera grandes diferencias frente a la competencia y tal como lo han afirmado autores como, Chlebus, et al, (2015), Gupta, et al, (2015), Kart & Kut, (2015), Rahman, (2015), Singh, et al, (2015), Wakchaure, et al, (2015), Adesta, et al, (2017), Candra, et al, (2017), Morales & Silva, (2017), Zhai & Zhang, (2017), Prashanth, et al, (2018), Manihalla, et al, (2019) y Azid, et al, (2019), en el desarrollo del presente proyecto; produciendo de manera más eficiente con menos fallas, menos tiempos de paro de equipos, más tiempo medio entre fallas, producción sostenida por mayor tiempo y a un menor costo.

El diseño de un modelo de implementación de mantenimiento productivo total TPM, desde el arranque de operaciones de la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, se convierte en un generador de cultura organizacional (Hama & Hama, 2017), permite desde el nacimiento de la compañía, proyectarse como una empresa que no solo se prepara para suplir la demanda de cemento en el mercado, sino que pretende ganar más

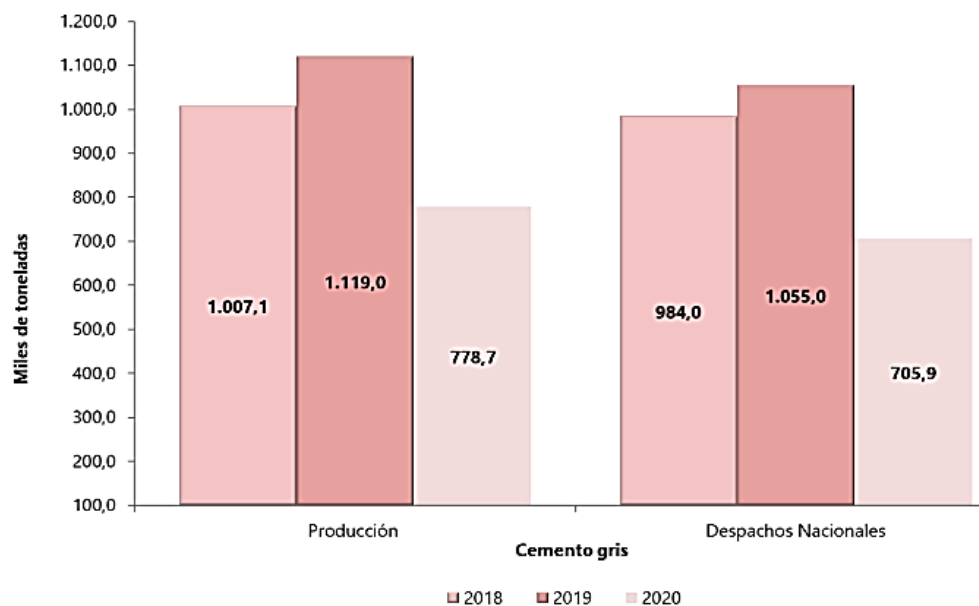
participación, a través de métodos eficientes de producción. Mantenerse en un mercado donde se encuentran empresas competitivas, eficientes y también, con planes de ampliación para cubrir la demanda nacional de cemento, (CW Group, 2018), (DANE, 2019).

Ahora bien, dada la actual coyuntura que está sufriendo el país y el mundo, debido a la pandemia del virus COVID-19, ha provocado el cese de actividades desde el 20 de marzo de 2020, debido a la implementación de un aislamiento obligatorio como mandato nacional desde el 24 de marzo de 2020 (Presidencia de la República, 2020), se proyecta un retorno gradual a las actividades económicas a nivel nacional, que para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, empezaron el día 27 abril de 2020.

Aun así, es muy temprano, poder evaluar los verdaderos efectos en la economía mundial, nacional y en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, razón por la cual, se han tomado medidas al interior de la compañía, reduciendo costos y mejorando la eficiencia de sus procesos, para mitigar el impacto económico y pérdidas por no despachar cemento en un periodo aproximado de mes y medio, que también afecta a la competencia y al sector de la construcción, que es el principal consumidor del producto.

Los primeros informes sobre el impacto en el sector económico de la construcción se realizan con corte al mes de mayo de 2020, a través de las estadísticas del cemento gris reportado por el DANE, (2020), dónde se puede observar una caída del 30.4% respecto al periodo de mayo del 2019 y se observa una caída similar para los despachos de cemento frente al año 2019, las barras comparativas se pueden observar en **Figura 9**.

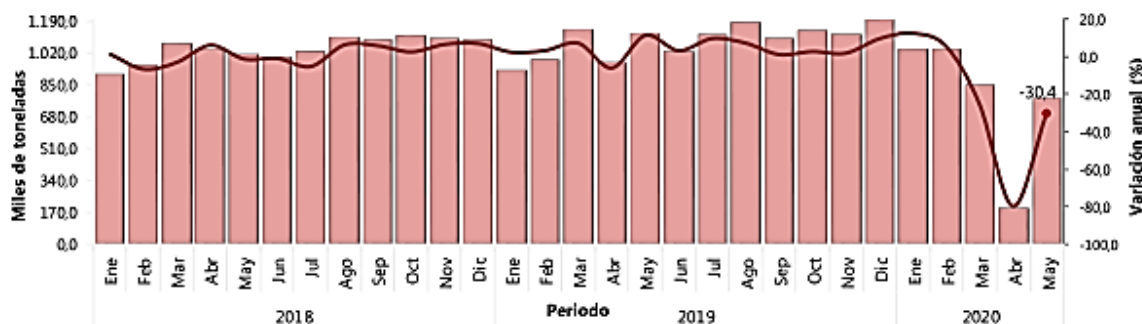
Figura 9. Producción y despachos cemento gris, mayo 2018 - mayo 2020.



Fuente. (DANE, 2020).

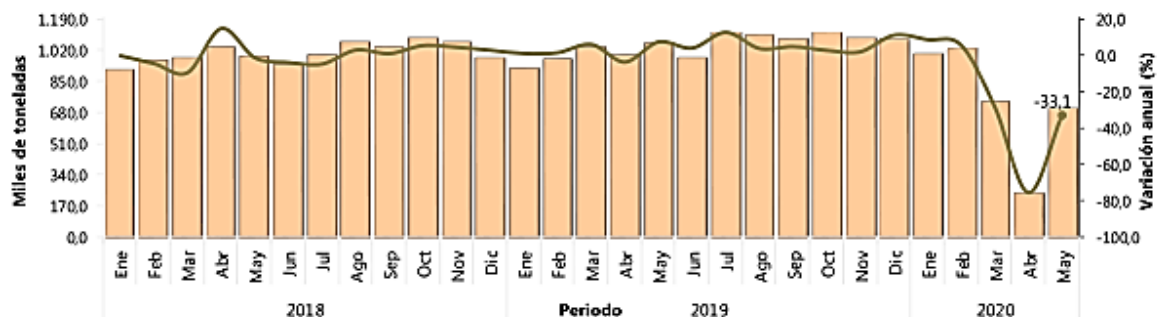
El impacto, también se puede verificar, para la producción de cemento gris a nivel nacional llegando a una variación negativa del -80% en el mes de abril 2020, ver **Figura 10**, este comportamiento es similar para los despachos de cemento gris a nivel nacional, afectado por los efectos de la declaración de pandemia por el Covid-19 cayendo un 33.1% respecto al periodo de mayo 2019 ver **Figura 11**.

Figura 10. Evolución producción nacional de cemento gris Ene 2018 – May 2020.



Fuente. (DANE, 2020).

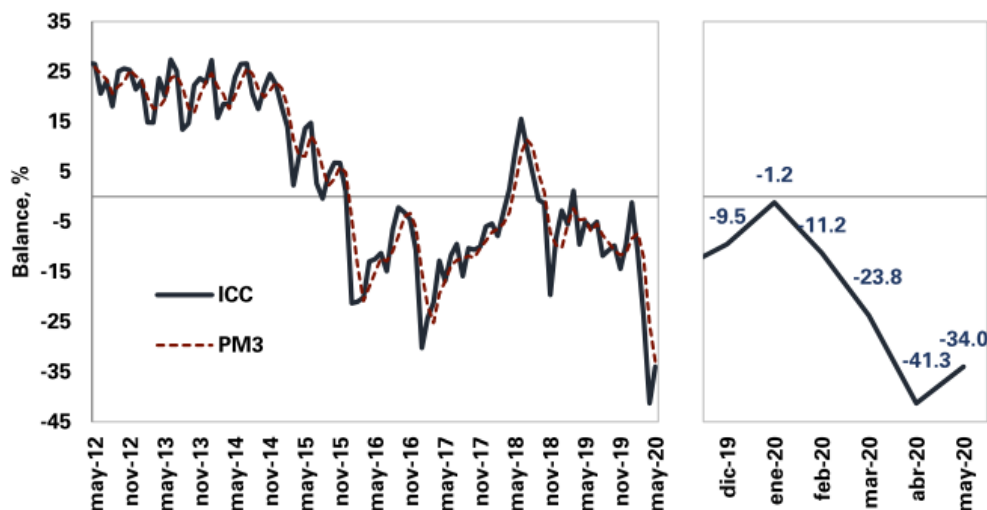
Figura 11. Evolución despachos nacionales de cemento gris Ene. 2018 – May. 2020.



Fuente. (DANE, 2020).

Los resultados presentados por (FEDESARROLLO, 2019), presentan comportamientos similares respecto al índice de confianza al consumidor, mostrando la mayor caída desde el año 2012, pero con un cambio en la tendencia a bajar desde el mes de mayo pasando de un -41.3% al -34% ver **Figura 12**, mes en que la producción de cemento gris a nivel nacional se reactivó.

Figura 12. Índice de confianza al consumidor (ICC) mayo 2020.



Fuente: Encuesta de Opinión del Consumidor (EOC) – Fedesarrollo

PM3: Promedio móvil 3 meses

Fuente. (DANE, 2020).

4. Diseño metodológico

Teniendo como base el tema de estudio desarrollado en el presente proyecto, el tipo de investigación más adecuado ha sido el cuantitativo, permitió establecer variables verificables por medio de una encuesta, y analizadas mediante estadística y análisis de datos (Hernández, et al, 2014). Se buscó objetividad, retratar la realidad, y se revisó la literatura que permitió identificar las variables significativas a medir (Josa, 2016). Además, se diseñó la propuesta de implementación, de un sistema de mantenimiento productivo total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, siguiendo las características del modelo cuantitativo aplicado al desarrollo de la investigación, donde se encontraron puntos en común con los objetivos del TPM y lograr el objetivo de determinar un diagnóstico preliminar para diseñar el plan de intervención (Morales & Silva, 2017).

El diseño de la propuesta de implementación de un sistema de TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, permitió evaluar el nivel de conocimientos de los colaboradores, respecto a la metodología TPM y su gestión del conocimiento. Por otro lado, generó cuestionamientos y expectativas. La investigación, se acercó a la realidad objetiva, fundamentada en el método cuantitativo y su desarrollo en la compañía en proceso de conformación, al estar en el primer año de operaciones. Se alentó a los colaboradores a enfrentar retos, pero con alto compromiso y retar los conocimientos actuales.

La selección del método cuantitativo para alcanzar el objetivo de la investigación permitió validar la propuesta de implementación, medir el estado del conocimiento y definir variables que puedan ser analizadas en conjunto (Hernández, et al, 2014), adicional, se logró una medición única, donde se evidencia el estado actual del conocimiento, sobre los pilares del mantenimiento productivo total TPM. La metodología permitió validar las características básicas necesarias, para generar un diseño, y aplicar la metodología del modelo TPM y definir un plan maestro de acciones. Para facilitar el cierre de brechas entre los objetivos del TPM y el diagnóstico inicial tal como se evidenció con autores como Adesta, et al, (2017); Candra, et al, (2017); Cuatrecasas & Torrell, (2010); Gupta, et al, (2015); Kart & Kut, (2015); Rahman, (2015); Shirose, (1997); Singh, et al, (2015); Tang, et al, (2016); Thanki, et al, (2016) y Wakchaure, et al, (2015).

Las variables que se analizaron en la encuesta se basaron en los pilares de la metodología TPM, se evaluó y validó los conocimientos referentes a cada uno, y se estableció el nivel inicial en donde se encuentra la población, para el desarrollo de esta investigación.

El modelo de investigación cuantitativa con enfoque descriptivo permitió responder las preguntas y objetivos, de la investigación no experimental transversal. Se tuvo como fin, la recolección de datos en un momento único, para el diagnóstico de la metodología TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S y se determinaron las variables para cada pilar de la metodología TPM, sin hacer variaciones para inducir a un resultado. La ventaja de este tipo de investigación está en que permitió abarcar en un solo grupo todos los niveles jerárquicos de la empresa. El diseño descriptivo permitió además tener un panorama para evaluar el nivel de conocimiento de las variables, definidas de forma numérica, permitiendo así, cuantificar y analizar los datos (Hernández, et al, 2014).

4.1. Población

La población objeto del presente estudio, fueron todos los trabajadores activos dependientes de la dirección de operaciones, con capacidades de lecto escritura en la planta de producción de cemento de la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. ubicada en Río Claro, Antioquia.

La técnica de recolección de la información utilizada ha sido la de encuesta, con diferentes preguntas de tipo nominal, multicotómicas, general y específico (Gutiérrez & Salazar, 2012), y técnicas en los pilares del TPM, para abordar el conocimiento y el estado de madurez de la empresa, ante el diseño y futura implementación de la metodología TPM (Valencia, 2014), se consolidó la información, se analizó y se cerró el ciclo con una entrevista personal o virtual, a la población objetivo, operadores mantenedores, jefes de turno y gerentes. Con el objetivo de validar, verificar y respaldar los resultados de la encuesta para el diseño de una propuesta de implementación de TPM.

4.2. Cálculo del tamaño de la muestra

Para la selección de la muestra se usó una distribución probabilística normal, con el fin de seleccionar cantidades representativas, que permitan generalizar los datos de la muestra en una población mayor, teniendo en cuenta la población objetivo, conformada por jefes de turno, gerentes y operadores mantenedores, siendo un total de 102 personas, involucradas directamente el proceso productivo y de mantenimiento. A partir de esta población se determina la muestra representativa (Hernández, et al, 2014).

En el cálculo de la muestra ver **Figura 13**, se tuvo en cuenta un margen de error del 5%, un nivel de confianza del 95% y una distribución de probabilidad normal, obteniendo una muestra de 48 encuestas para determinar el diagnóstico inicial, en la cual, cabe aclarar que una de las variables que la conforma, está representada por la probabilidad de éxito y fracaso, cuando no se tienen estudios previos se toman estas probabilidades en igualdad de proporciones 50% y 50% conforme a la recomendación de Gutiérrez & Salazar, (2012).

Figura 13. Ecuación de cálculo de muestra

$$n = \frac{N * Z^2 * P * Q}{D^2 * (N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

n = Numero de la muestra

N = Tamaño de la población

Z = Nivel de confianza

P = Probabilidad de éxito

Q = Probabilidad de fracaso

D = Precisión (Error máximo admisible en termino de proporción)

Fuente. (Gutiérrez & Salazar, 2012)

Adicionalmente, el error máximo admisible que se contempló para determinar el tamaño de muestra fue del 5%, en caso de requerir un mayor grado de precisión como 3%, el número de muestra será mayor. El criterio para seleccionar el valor de 5% es el

recomendado por Montgomery, (2013), para encuestas de diagnóstico inicial no requiere un grado de precisión alto.

El resumen de las variables de entrada y salida de la ecuación, que determinan el tamaño de la muestra se presentan en la **Tabla 3**, dónde, se puede observar la distribución de probabilidad de forma equitativa para el error y el éxito, la confiabilidad y el margen de error. Con los criterios anteriores, se pudo encontrar que la muestra requerida es de 48, por tanto, este fue el número de encuestas que se realizó.

Tabla 3. Resumen cálculo tamaño de muestra

Variables de Entradas	
Tamaño población (N)	102
Confiabilidad (Z)	95%
Significancia Alfa (α)	5%
Probabilidad éxito (p)	50%
Probabilidad error (q)	50%
Error (d)	5%
Probabilidad	Normal
Variables de salida (Muestra)	
muestra (n)	48

Fuente: Elaboración propia

4.3. Diagnóstico inicial

Se definió como instrumento de medición una encuesta, basada en preguntas cerradas que permitirá recolectar datos respecto a las variables definidas: no conoce, conoce, aplica y puede enseñar. La recopilación y análisis de los datos obtenidos fue la oportunidad para poder comparar, los objetivos de la metodología TPM con el estado inicial en la compañía, determinando brechas y estableciendo los planes de acción para cerrar esas diferencias (Hernández, et al, 2014). Los datos recolectados se utilizaron como mecanismo para definir la escala de aptitudes del personal, frente a los pilares de la metodología TPM. Los resultados anteriores se consolidaron en graficas de arañas, donde

se pudo analizar las brechas de conocimiento y se direcciono a los objetivos de la metodología TPM, presentada por Valencia, (2014).

4.3.1. *Recolección de datos*

Las fuentes de los datos recolectados fueron empleados directos de la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, los cuales pertenecen a los procesos de producción y mantenimiento. Los trabajadores diligenciaron la encuesta dejando registro físico con nombre, área y número de contacto, el método de recolección de los datos fue por correo electrónico o de forma personal, las personas diligenciaron la encuesta por el mismo medio que la recibieron, física o por e-mail, la encuesta suministrada se puede consultar en el [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..](#)

Las variables de respuesta planteadas a medir fueron:

- No Conoce: La persona no tuvo ningún conocimiento sobre las preguntas realizadas.
- Conoce: Sabe o ha escuchado de las herramientas o preguntas.
- Aplica: Conoce sobre lo preguntado y adicional las aplico anteriormente.
- Puede enseñar: Domina el tema y pueda trasmitir el conocimiento a otras personas.

Para cuantificar la encuesta según los criterios anteriormente mencionados, se debió registrar la encuesta como se muestra en **Tabla 4:**

Tabla 4. Instrumento de medición

Pregunta	No Conoce	Conoce	Aplica	Puede enseñar
Pregunta 1	1			
Pregunta 2		1	1	
Pregunta 3		1	1	1

Fuente. Elaboración Propia.

En cuanto a las definiciones de las respuestas de la encuesta, el número 1 corresponde a una respuesta positiva, y para una respuesta negativa se deja un espacio vacío. Se denominó la encuesta, diagnóstico de conocimientos sobre el TPM, con el fin de identificar el estado inicial frente a la implementación de una nueva metodología de mantenimiento, se planteó un grupo focal buscando articular conceptos técnicos y prácticos, en los procesos de mantenimiento y producción. Por lo tanto, se buscó identificar

el estado de madurez de la empresa respecto a la metodología TPM, basados en la muestra de 48 personas. Se determinó un tiempo de 15 días para la ejecución de todas las encuestas, utilizando recursos virtuales, como el correo electrónico, llamadas a celular y video.

La confiabilidad en el instrumento de medición (encuesta), fue dada por la selección y estandarización de los parámetros, evaluados transversalmente a los pilares de la metodología TPM, definiendo variables de respuesta claras. El instrumento, pasó por una prueba inicial de validación realizada a cinco personas, que respondieron de manera inicial y no presentaron dudas, ni encontraron ambigüedad en el cuestionario. La validez de la encuesta se desarrolló buscando tener variables definidas, que permitieran al encuestado definir con facilidad, su posición frente al conocimiento o no de las preguntas desarrolladas. La objetividad fue validada al no permitir que la población influyera en los resultados de la investigación.

4.3.2. *Procesamiento estadístico de datos*

Los resultados de la encuesta se soportaron en el análisis de los resultados a través de la realización, e interpretación de gráficas de radar en el software Microsoft Excel 19.02, también se usó el software de análisis estadístico Minitab 18.1.10, para validar los resultados. Obteniendo confiabilidad en los resultados y coherencia con la metodología TPM, se validó el grado de conocimiento de TPM en la empresa cementera, considerando que el trabajo de campo es adecuado. Los datos recolectados en la encuesta permitieron establecer planes de acción, y el diseño de una propuesta de implementación de TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S.

Las gráficas de radar fueron una herramienta gráfica útil, para determinar los puntos con mayores oportunidades de mejora y fortalezas del estado inicial de madurez de TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, facilitando la elaboración de los planes de acción para el diseño de la implementación del TPM.

5. Diagnóstico organizacional

Para determinar el estado inicial de la organización en la implementación de la metodología TPM, se realizó una encuesta a 48 de los colaboradores de la planta de Rio Claro, entre los cuales, se encuentra personal de producción y mantenimiento. La encuesta se separó en función de los aspectos generales y los 8 pilares de la metodología TPM. De cada pilar, se seleccionó un grupo de preguntas que permitió determinar el estado inicial de conocimiento sobre la metodología TPM que fue la base o estado inicial de conocimiento, sobre el cual se construirá el diseño de implementación de un sistema de TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S.

Para recopilar la información de las encuestas, estas, se divulgaron a través de correo electrónico o se entregaron personalmente para ser llenadas, por los colaboradores de participaron en la encuesta. Los datos fueron tabulados agrupando las respuestas en los conceptos: Conoce, No conoce, Aplica y Puede enseñar, las preguntas y el formato de la encuesta se puede ver en *Anexo 1*, cada pregunta, tiene una codificación única para poder realizar el seguimiento en los resultados de la encuesta, por ejemplo: PREG 1.2 corresponde a la pregunta 2 del pilar 1 de TPM dentro de la encuesta.

5.1. Procesamiento estadístico de datos

Los resultados de las encuestas se presentan desde lo general hacia lo particular, empezando por los resultados generales de la encuesta, luego se pasa a los resultados por pilares del TPM y finalmente, los resultados de cada pregunta por cada pilar. Se uso la nomenclatura utilizada en la encuesta, para mostrar los resultados de esta, ver nomenclatura en **Tabla 5**. Para el análisis estadístico y generación de gráficas, se utilizó el software Minitab versión 18.1, especializado en el análisis estadístico de datos facilitando llegar a conclusiones correctas, el margen de error de la encuesta y usado en el software fue 5%.

Tabla 5, Nomenclatura usada en gráficas

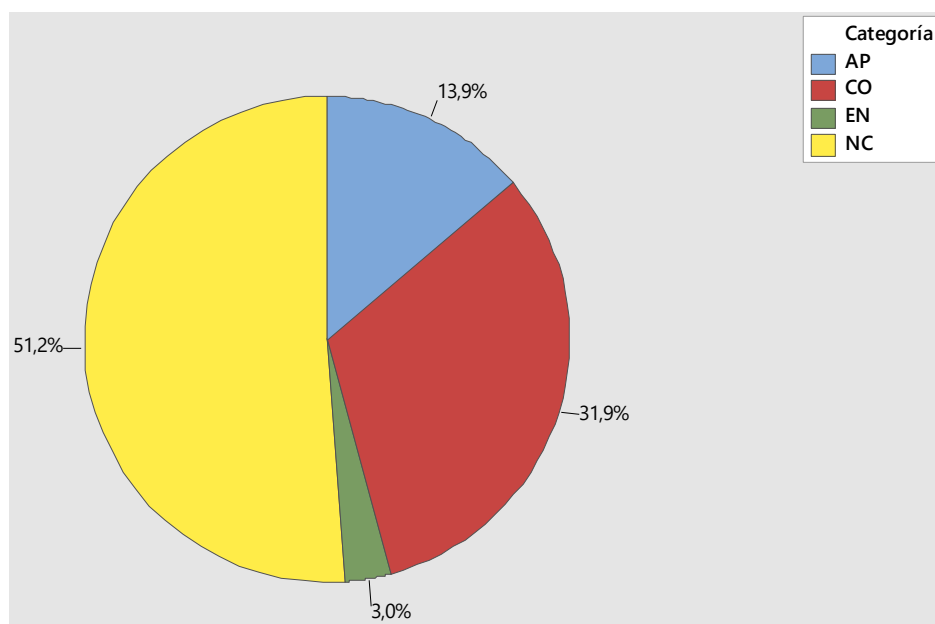
Respuesta	Nomenclatura
No conoce	NC
Conoce	CO

Aplica	AP
Enseña	EN

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de todas las encuestas sin agrupaciones por pilar o preguntas se muestran **Figura 14**, con el objetivo de poder identificar el grado general del nivel de conocimiento sobre la metodología TPM que existe en la compañía, encontrando que más de la mitad de los encuestados no conocen la metodología TPM.

Figura 14. Resultados encuesta de forma general

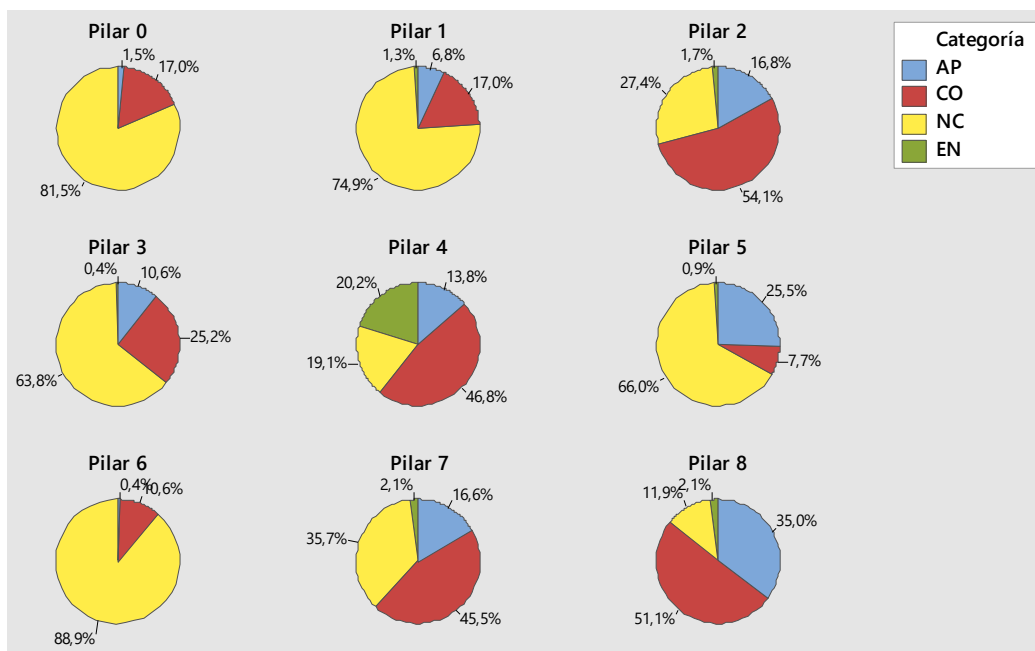


Fuente. Elaboración propia

Las preguntas de la encuesta se encontraban agrupadas por los 8 pilares del TPM y los conceptos generales como base, los resultados en función de cada pilar se pueden ver en **Figura 15**, encontrando que los pilares con mayor grado de conocimiento, cercano al 50%, por parte de los colaboradores se encuentran en el pilar 2 Mantenimiento autónomo, pilar 4 Polivalencia y desarrollo de habilidades, pilar 7 Mantenimiento de áreas de soporte el pilar 8 SST y medio ambiente. Por otra parte, los pilares con mayor

oportunidad de mejora, con un grado de desconocimiento mayor al 80% son el pilar 0 Aspectos generales y el pilar 6 Mantenimiento de la calidad.

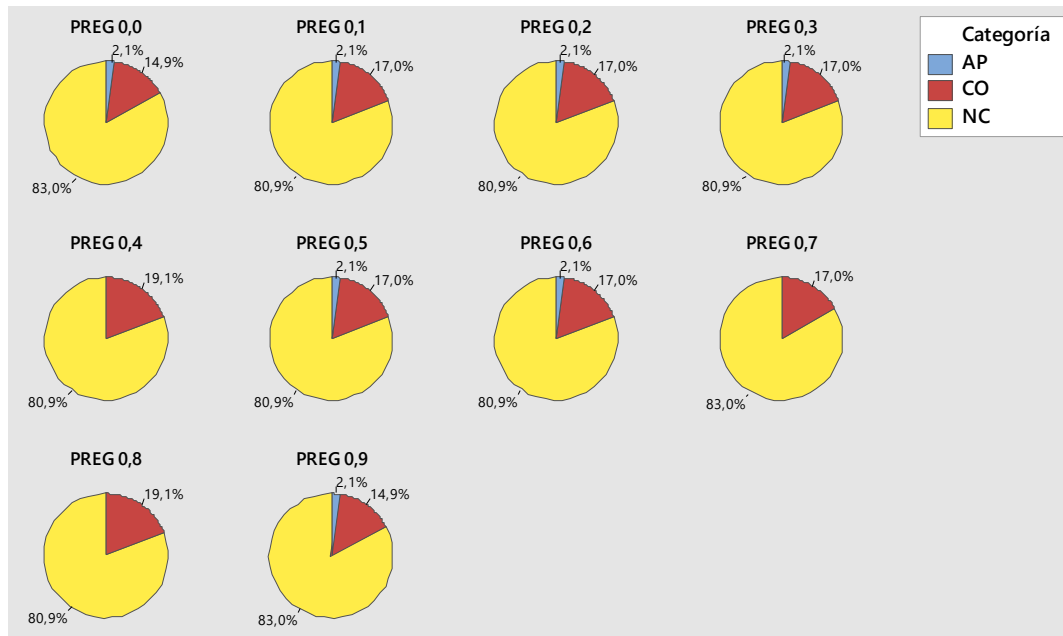
Figura 15. Resultados encuesta por pilares TPM



Fuente. Elaboración propia

En el pilar 0 Conceptos generales, se evaluaron 10 aspectos, encontrando que, el desconocimiento en todas las preguntas es superior al 80%, los resultados de pueden ver en la **Figura 16**. Los aspectos generales son la base de la implementación de la metodología TPM y conforme a los resultados es en donde se debe realizar mayor esfuerzo para poder implementar el TPM.

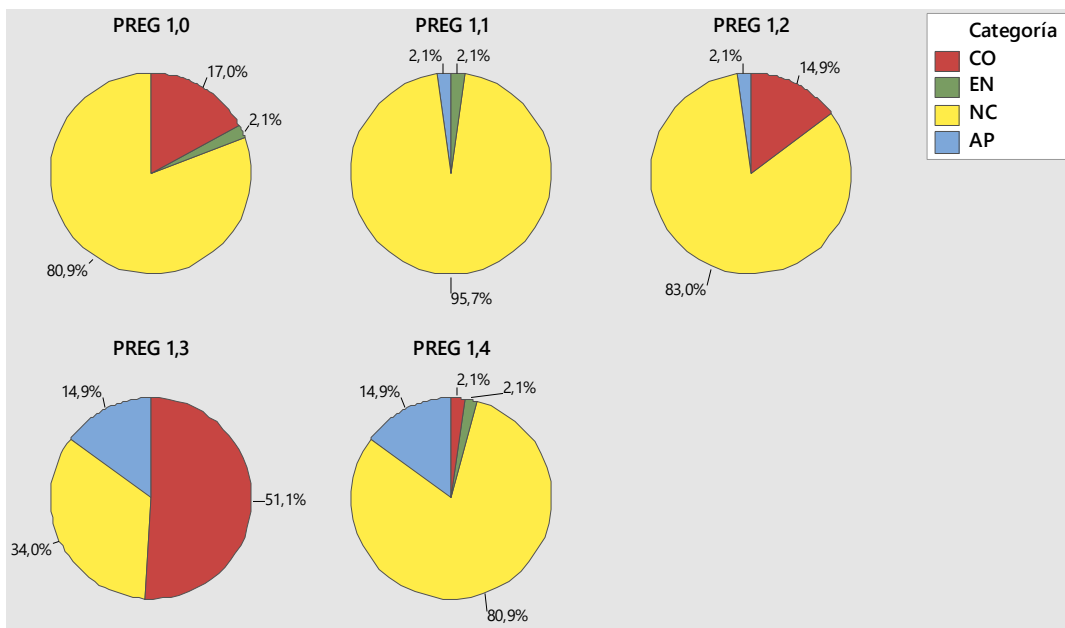
Figura 16. Resultados encuesta Pilar 0 Aspectos generales



Fuente. Elaboración propia

Los resultados para el pilar 1 Mejoras enfocadas, muestran un alto grado de desconocimiento, especialmente en la metodología de cero perdidas con una valoración del 97.7%, como se puede observar en **Figura 17**, por el contrario, se presenta una ventaja en la pregunta 1.3 referente a la detección y solución rápida de fallas donde los que conocen y aplican corresponde al 66%.

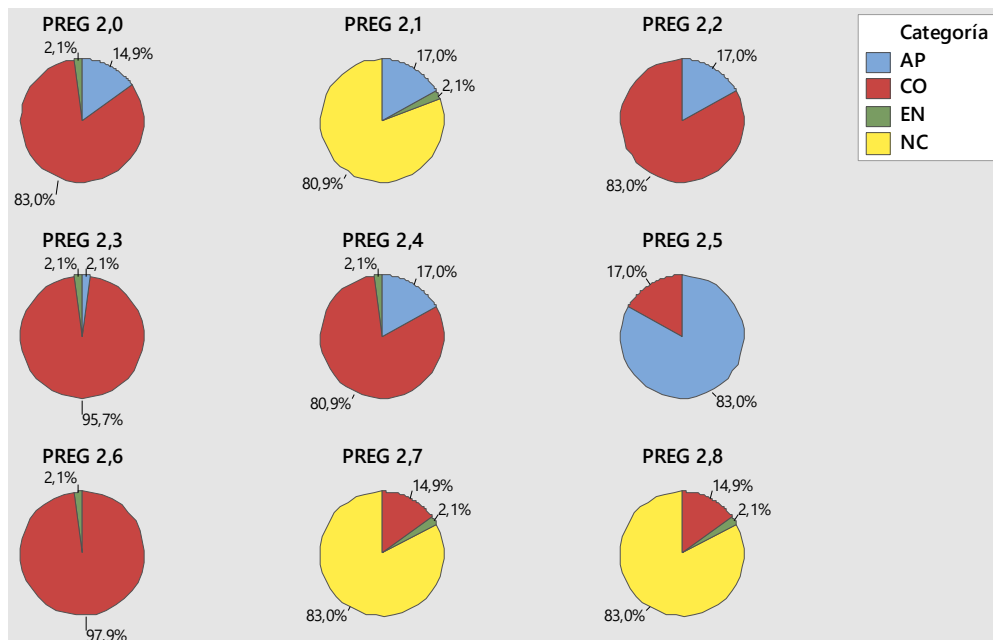
Figura 17. Resultados encuesta Pilar 1 Mejoras enfocadas



Fuente. Elaboración propia

El pilar 2 de mantenimiento autónomo es uno de los de mayor conocimiento por parte de los colaboradores de la compañía, teniendo como fortalezas los campos de conocimientos específicos de los equipos y variables de proceso, con 0% de desconocimiento ver **Figura 18**, pero con oportunidades de mejora importante alcanzando un nivel de desconocimiento mayor al 80%, en los ítems de estandarización de procesos y actividades (PREG 2.1), gestión visual (PREG 2.7) y auditoria del mantenimiento autónomo (PREG 2.8). Otro punto importante que resalta en este pilar es la aplicación de la lubricación en los equipos alcanza un 83%.

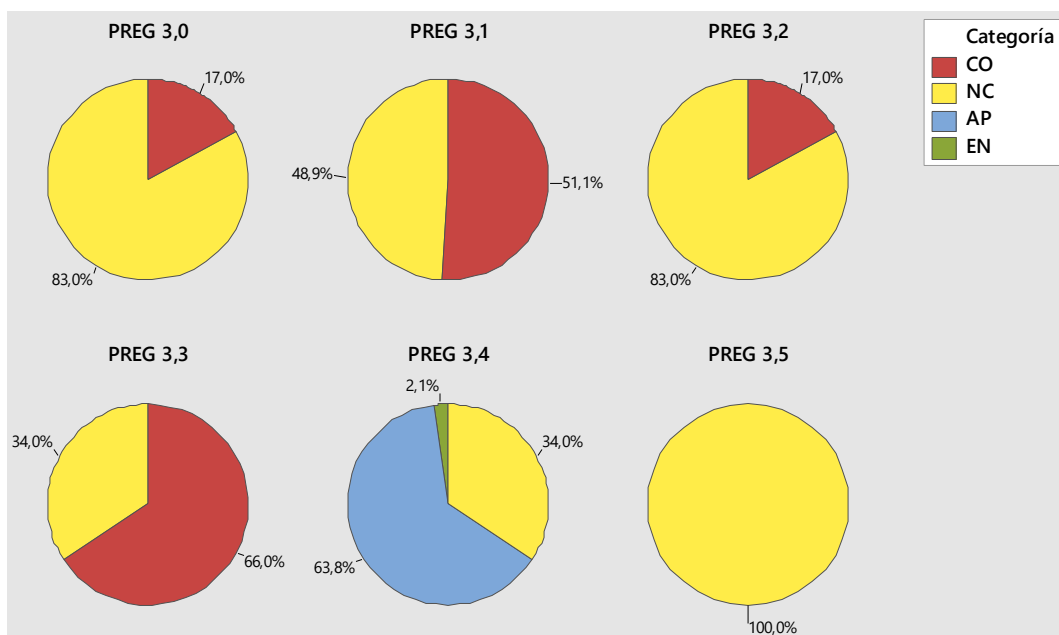
Figura 18. Resultados encuesta Pilar 2 Mantenimiento autónomo



Fuente. Elaboración propia

El pilar 3 mantenimiento planeado es uno con mayores oportunidades de mejora, presenta un desconocimiento del 63.8%, presentando un aspecto en donde la población de estudio contesto el 100% que no conoce los indicadores de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la planta (PREG 3.5) ver **Figura 19**, se presentan oportunidades de mejora en la comunicación de este indicador en los colaboradores de la planta. Además, se tiene un alto desconocimiento en los temas relacionados con los pasos de implementación del mantenimiento planeado y las políticas de mantenimiento (PREG 3.0 y PREG 3.2). Sin embargo, el 63.4% de los encuestados manifiestan aplicar el programa de mantenimiento semanal (PREG 3.4), y el 2.1% está en capacidad de enseñar.

Figura 19. Resultados encuesta Pilar 3 Mantenimiento planeado

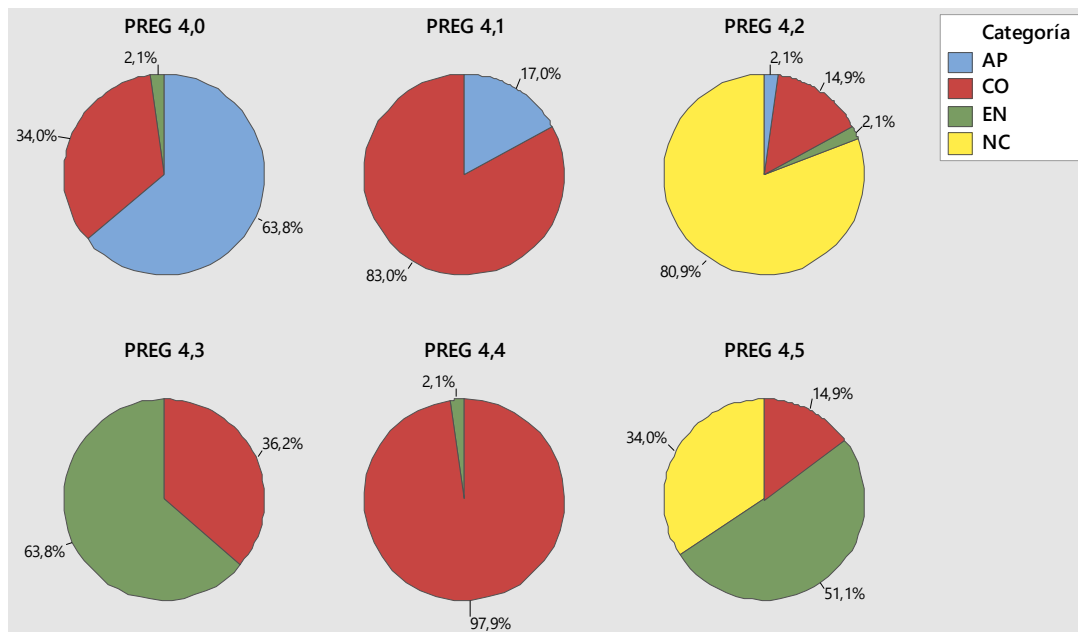


Fuente. Elaboración propia

Para el pilar 4 Polivalencia y desarrollo de habilidades el 46.8% de los encuestados lo conoce ver **Figura 15**, encontrando fortalezas en los ítems de campañas de limpieza y plan de comunicación para atender eventos presentes en el turno, correspondientes a PREG 4.1 y PREG 4.4; observando en la **Figura 20**, que para las preguntas anteriores hay 0% de desconocimiento y los colaboradores conocen y aplican o enseñan. De igual forma, los ítems de operación de equipos, conocimientos sobre procesos productivos y desarrollo de habilidades técnicas (PREG 4.0 PREG 4.3 y PREG 4.5) no hay desconocimiento.

El único aspecto con un desconocimiento del 80.9 % en este pilar, es el referente al procedimiento para reportar averías y como atenderlas PREG 4.2. Este pilar, se constituye en uno en los cuales se puede apalancar la implementación de la metodología TPM y replicar en otros pilares.

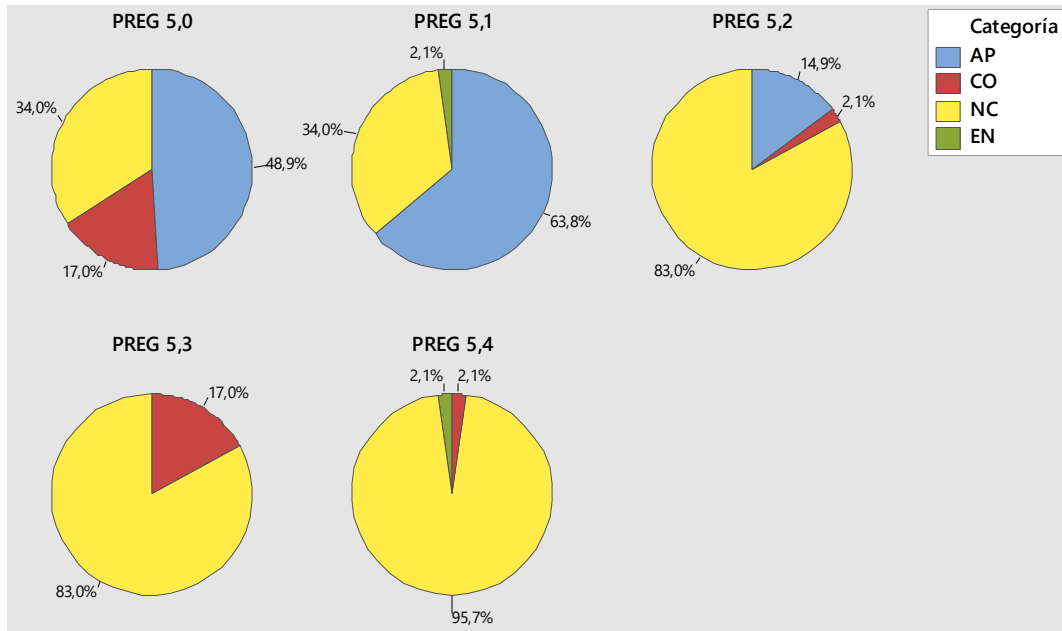
Figura 20. Resultados encuesta Pilar 4 Polivalencia y desarrollo de habilidades



Fuente. Elaboración propia

En el pilar 5 prevención del mantenimiento 3 de los 5 ítems evaluados presentan un grado de desconocimiento mayor al 80%, correspondientes a documentación de novedades en comisionamiento, base de datos de averías presentadas en el arranque y análisis del modo y efecto de fallas AMEF (PREG 5.2 PREG 5.3 y PREG 5.4) ver **Figura 21**. Por el contrario, se tiene fortaleza en los ítems correspondientes a consulta de manuales, planos y diagramas de flujo; donde el desconocimiento es del 34% (PREG 5.0 y PREG 5.1) y el porcentaje de aplicación está por encima del 48%.

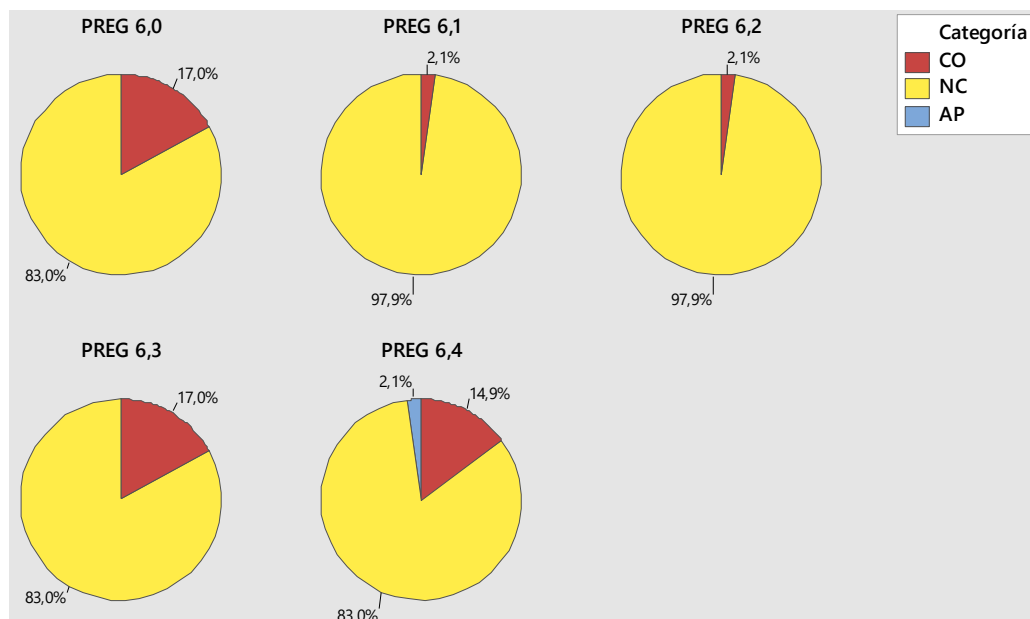
Figura 21. Resultados encuesta Pilar 5 Prevención del mantenimiento



Fuente. Elaboración propia

El pilar 6, Mantenimiento de la calidad es el de mayor grado de desconocimiento ver **Figura 15**, teniendo un desconocimiento general del 88,9%, siendo el pilar con mayores oportunidades de mejora en la actualidad. Al ver el detalle de las secciones evaluadas las 5 secciones tienen un grado de desconocimiento mayor al 83% ver **Figura 22**, los ítems que presentan un grado de conocimiento entre el 14% y 17% corresponden a los 10 pasos para implementación del TPM en calidad, estándar de operación en proceso y cero defectos (PREG 6.0, PREG 6.3 y PREG 6.4) son los puntos de apalancamiento para la implementación del pilar de mantenimiento de la calidad. Por otro lado, se encontró que sólo el 2.1% de la muestra analizada aplica conceptos del pilar del mantenimiento de la calidad.

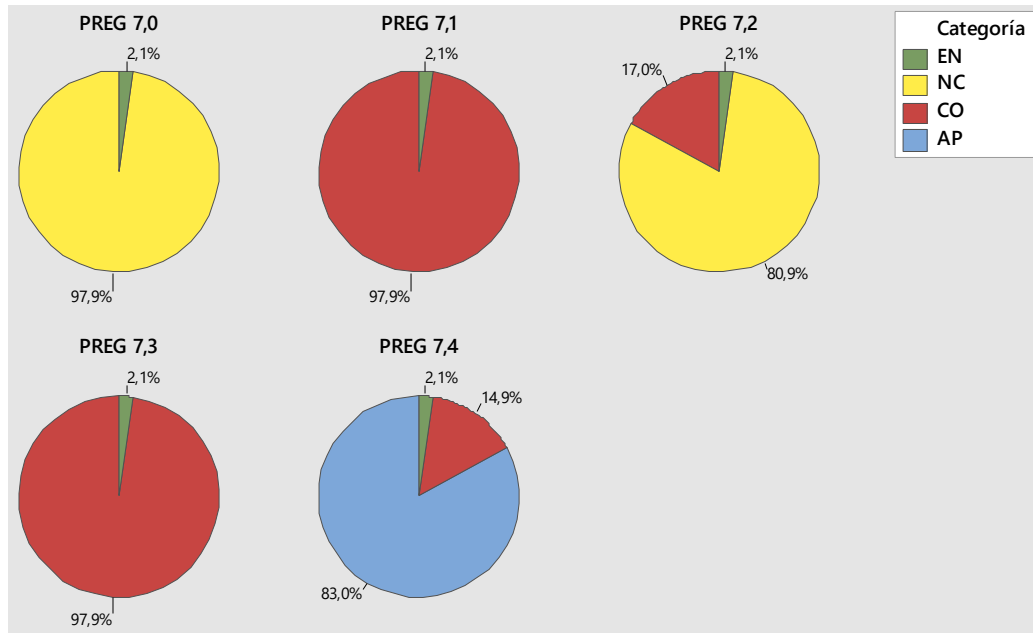
Figura 22. Resultados encuesta Pilar 6 Mantenimiento de la calidad



Fuente. Elaboración propia

El pilar 7 de mantenimiento de áreas de soporte 2 de las 5 evaluadas presentan un desconocimiento mayor al 80%, correspondiente al flujo de información para reporte de avisos de mantenimiento y costo de producción (PREG 7.0 y PREG 7.2), para los tres ítems restantes el desconocimiento es del 0%, correspondiente al canal de comunicación con mantenimiento, resultados de análisis de laboratorio y unidades producidas en el mes (PREG 7.1, PREG 7.3 y PREG 7.4) ver **Figura 23**. El pilar 7 también es una de las fortalezas que se encontró en la organización al tener un grado de desconocimiento del 5.7% ver **Figura 15**, convirtiéndose en uno de los pilares para apalancar la implementación de la metodología TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S.

Figura 23. Resultados encuesta Pilar 7 Mantenimiento de áreas de soporte

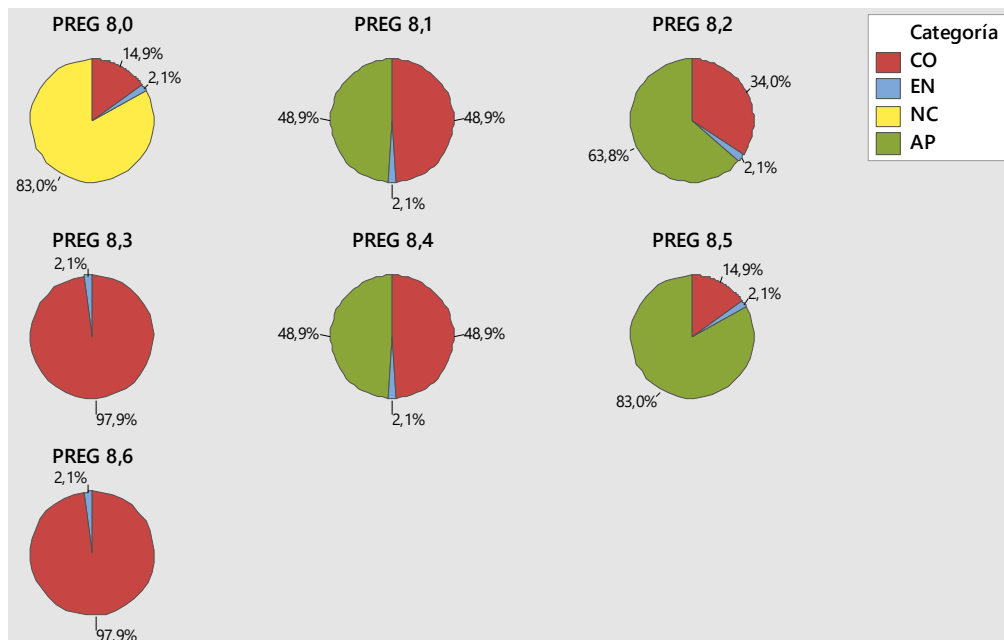


Fuente. Elaboración propia

El pilar 8 de SST y medio ambiente es el de menor grado de desconocimiento, de todos los 8 pilares del TPM, sólo en el ítem mapas de seguridad (PREG 8.0) presenta un grado de desconocimiento del 83% ver **Figura 24**, en los otros ítems evaluados el grado de desconocimiento es del 0%. Se tiene una oportunidad de mejora en la divulgación de los mapas de seguridad que se encuentran en la compañía para el conocimiento y entendimiento de los colaboradores.

Conforme a los resultados en la **Figura 14**, el pilar de SST y medio ambiente refleja el esfuerzo que ha realizado la compañía para implementar una cultura segura, y el compromiso de los colaboradores para mantener esta cultura, ya que sólo el 11.9% de los colaboradores no conoce este pilar y por tanto este es la principal fortaleza actual que tiene la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, para la implementación del TPM.

Figura 24. Resultados encuesta Pilar 8 SST y medio ambiente



Fuente. Elaboración propia

5.2. Análisis de datos

Los resultados tabulados de la encuesta son presentados en **Tabla 7**, están organizados en los 8 pilares de implementación de la metodología TPM y por cada ítem que fue evaluado, en cada uno de los 8 pilares. Además, se encuentran los resultados de cada ítem evaluado vs. la meta propuesta.

Los resultados de las encuestas para los ítems evaluados presentan valores discontinuos (variables discretas), por ejemplo, si no conoce obtiene 1, si conoce obtiene 2, si aplica obtiene 3 y finalmente si enseña tiene 4, como se puede ver en **Tabla 6**, sin embargo, al consolidar todos los resultados se obtiene valores continuos, resultado del promedio aritmético de todas las respuestas para el ítem evaluado. Por lo tanto, para la pregunta 0.0 se tiene una meta del 60% equivalente a 2.4 como valor numérico y se encontró un resultado de 1.19 ver **Tabla 7**, interpretándose de la siguiente manera, el resultado de la población estudia muestra que no todos conocen la definición de TPM y que sólo el 19% de los evaluados tiene cocimientos, aplica o enseña.

Tabla 6. Equivalencia entre respuestas, valor numérico y porcentual

Respuesta	Nomenclatura	Valor número	Valor porcentual
No conoce	NC	1	25%
Conoce	CO	2	50%
Aplica	AP	3	75%
Enseña	EN	4	100%

Fuente: Elaboración propia

Las metas para cada pregunta evaluada están en un mínimo de 2 o el 50% interpretando que el objetivo es que el 100% de la población evaluada conozca el tema que se está preguntado. En los resultados de la encuesta, sólo en 4 preguntas se pudo superar la meta establecida, correspondientes a los ítems de lubricación de equipos rotativas, conocimientos sobre proceso productivo, unidades producidas en el mes con sus metas y procedimientos de reporte de actos y condiciones inseguras, estos resultados se encuentran resaltados en color verde en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Resultados encuesta por pregunta

Pilar	Pregunta	Ítem	Meta	Resultado	Promedio pilar
0	Aspectos generales	0.0 Definición de TPM	2,40	1,19	1,20
		0.1 Metas y Objetivos del TPM	2,40	1,21	
		0.2 Los 12 pasos de implantación del TPM	2,40	1,21	
		0.3 Los Pilares del Mantenimiento Productivo Total	2,40	1,21	
		0.4 Las 16 grandes pérdidas en equipos de producción	2,40	1,19	
		0.5 Estructura de la Organización del TPM	2,40	1,21	
		0.6 Metodología de implementación del TPM	2,40	1,21	
		0.7 Ahorro de Costos del TPM	2,40	1,17	
		0.8 Relación del TPM con SEIS SIGMA	2,40	1,19	
		0.9 Relación del TPM con la productividad y con Lean Manufacturing	2,40	1,19	
1	Mejoras enfocadas	1.0 Grupos interfuncionales	2,40	1,23	1,34
		1.1 Método cero (Pérdidas, averías, pérdidas, accidentes)	2,40	1,11	
		1.2 Eficiencia global de equipos	2,40	1,19	
		1.3 Detección y Solución Rápida De Fallas	2,40	1,81	

	1.4	Análisis del Modo y Efecto de Fallas	2,40	1,38	
2	2.0	Planes de limpieza	2,40	2,19	1,93
	2.1	Estandarización de procesos y actividades	2,40	1,40	
	2.2	Listas de Chequeo preoperacionales	2,40	2,17	
	2.3	Conocimiento específico en los equipos	2,40	2,06	
	2.4	Listas de chequeo de equipos en operación	2,40	2,21	
	2.5	Lubricación de los equipos rotativos	2,40	2,83	
	2.6	Variables de proceso	2,40	2,04	
	2.7	Gestión Visual	2,40	1,21	
	2.8	Auditoría de cada paso del Mant. Autónomo	2,40	1,21	
3	3.0	Los 6 pasos para implantar el Mantenimiento Planificado	2,40	1,17	1,48
	3.1	Fallas más comunes por mes y plan de acción para la eliminación	2,40	1,51	
	3.2	Política de mantenimiento	2,40	1,17	
	3.3	Técnicas de mantenimiento Preventivo aplicado en planta	2,40	1,66	
	3.4	Programa de mantenimiento semanal	2,40	2,34	
	3.5	Indicadores de mantenimiento Centrado en Confiabilidad en la planta	2,40	1,00	
4	4.0	Capacitación en operación de los equipos	2,80	2,68	2,35
	4.1	Campañas de limpieza y sostenimiento de áreas	2,80	2,17	
	4.2	Procedimientos para reportar averías y como atenderlas	2,80	1,26	
	4.3	Conocimiento sobre el proceso productivo	2,80	3,28	
	4.4	Plan de comunicación para atender eventos presentados en el turno	2,80	2,04	
	4.5	Desarrollo de habilidades técnicas (Capacitaciones)	2,80	2,68	
5	5.0	Consulta de manuales de operación y mantenimiento	2,40	2,15	1,61
	5.1	Planos y diagramas de flujo	2,40	2,34	
	5.2	Documentación de novedades en el comisionamiento	2,40	1,32	
	5.3	Base de datos de averías presentadas en el arranque	2,40	1,17	
	5.4	Análisis del modo y efecto de fallas AMEF	2,40	1,09	
6	6.0	Los 10 pasos para implantar el TPM para la calidad	2,00	1,17	1,11

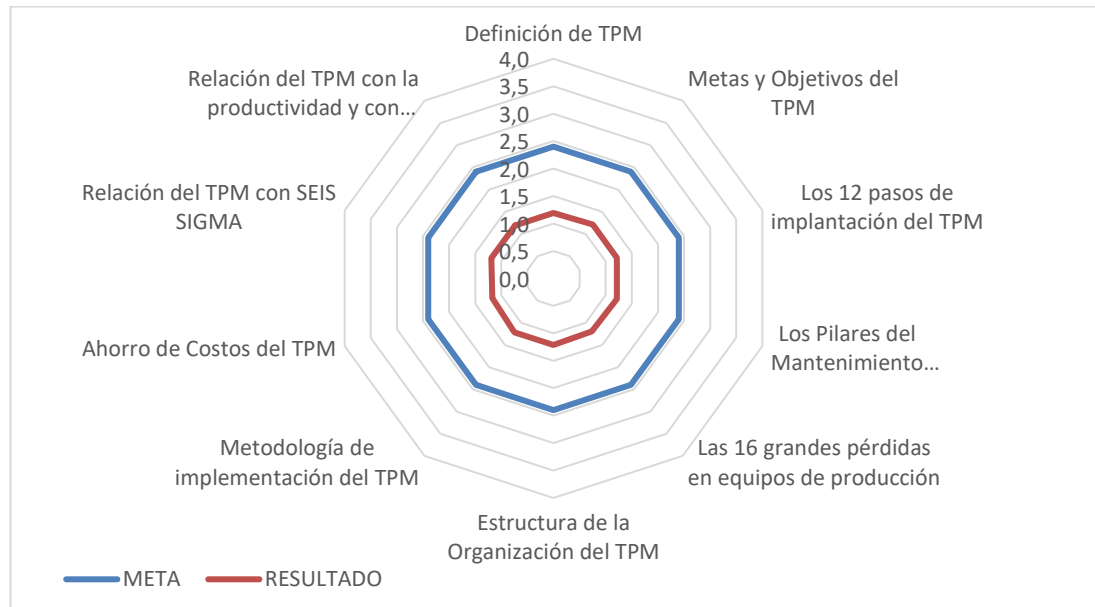
	6.1	Seis Sigma y TPM para la Calidad	2,00	1,02	
	6.2	Control del proceso mediante análisis de pruebas	2,00	1,02	
	6.3	Estándar de operación del proceso	2,00	1,17	
	6.4	Cero defectos: método de Shigeo Shingo y Poka Yoke	2,00	1,19	
7	7.0	Flujo de información para el reporte de avisos de mantenimiento	2,40	1,06	1,85
	7.1	Canal de comunicación con mantenimiento	2,40	2,04	
	7.2	Costo de producción y mantenimiento del cemento	2,40	1,23	
	7.3	Resultados de análisis de laboratorio	2,40	2,04	
	7.4	Unidades producidas en el mes y metas	2,40	2,87	
8	8.0	Mapas de seguridad	2,80	1,21	2,27
	8.1	Riesgos potenciales de los equipos	2,80	2,53	
	8.2	Conocimiento básico del equipo	2,80	2,68	
	8.3	Identifica las fuentes de contaminación	2,80	2,04	
	8.4	Realiza verificaciones de seguridad con periodicidad por áreas	2,80	2,53	
	8.5	Procedimientos de reporte de actos y/o condiciones inseguras	2,80	2,87	
	8.6	Controles visuales	2,80	2,04	

Fuente: Elaboración propia

Todos los pilares se encuentran por debajo de la meta razón por la cual es necesario establecer un plan de intervención, que será tratado más adelante en la **sección 6**. con el objetivo de cerrar las brechas entre la meta y los resultados encontrados.

A continuación, se presentan los diagramas de radar para cada uno de los 8 pilares de la metodología TPM, confrontando las metas deseadas con los resultados obtenidos en la encuesta. En el pilar 0, de aspectos generales mostrado en **Figura 25**, se puede observar que ninguno de los ítems evaluados para este pilar alcanza la meta establecida. Además, se muestra que el grado desconocimiento esta generalizado y en la misma proporción, razón por la cual se debe establecer un plan de acción de forma equitativa para los 10 ítems que conforman el pilar de aspectos generales.

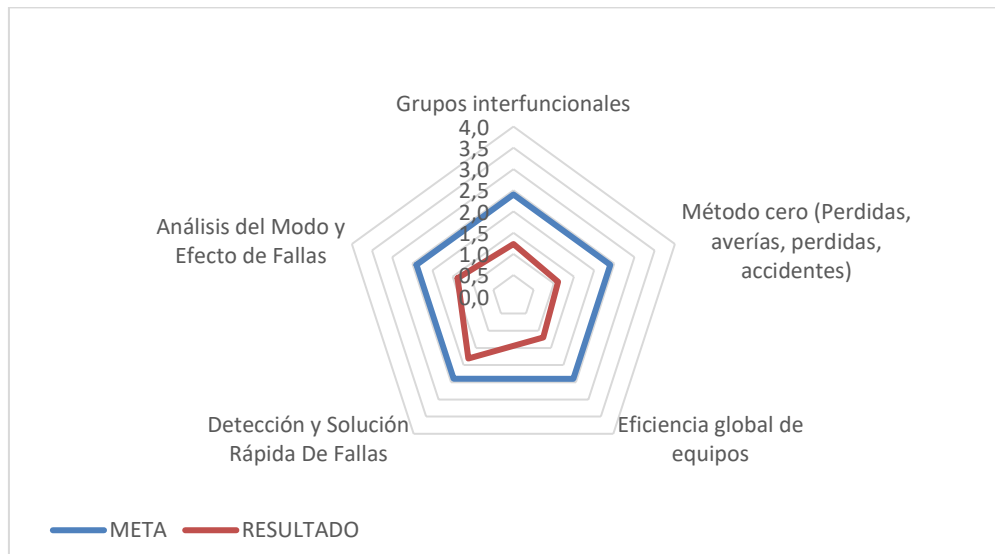
Figura 25. Gráfica de radar para aspectos generales



Fuente. Elaboración propia

En la **Figura 26** del del pilar 1 de mejoras enfocadas, muestra que, para ninguno de los 5 ítems evaluados para este pilar alcanza la meta, sin embargo, la detección y solución rápida de fallas es el que presenta un mejor desempeño, en donde el 81% de los encuestados tiene conocimientos, aplica o enseña.

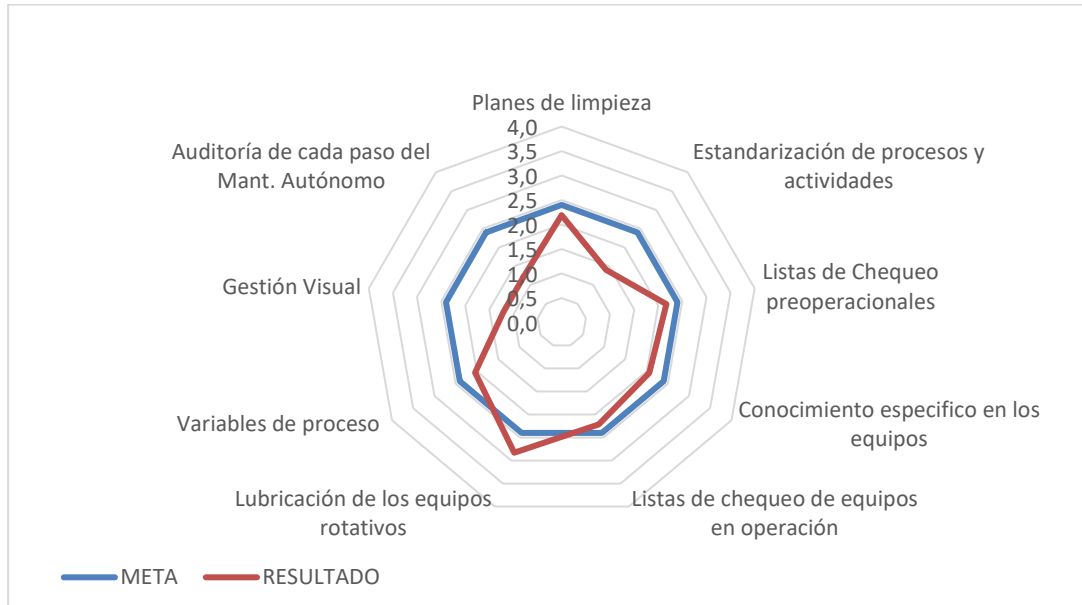
Figura 26. Gráfica de radar para mejoras enfocadas



Fuente. Elaboración propia

Para el pilar de mantenimiento autónomo representado en la **Figura 27**, es uno de los de mejor desempeño, en donde la lubricación de equipos rotativos está por encima de la meta, además los ítems lista de chequeo preoperacionales, conocimientos específicos de los equipos, lista de chequeo de los equipos en operación, variables de proceso y planes de limpieza están muy cerca de la meta establecida. Por lo tanto, sólo se tiene dos ítems de los nueve evaluados, en los que se debe trabajar con más énfasis, correspondientes gestión visual y estandarización de procesos y actividades.

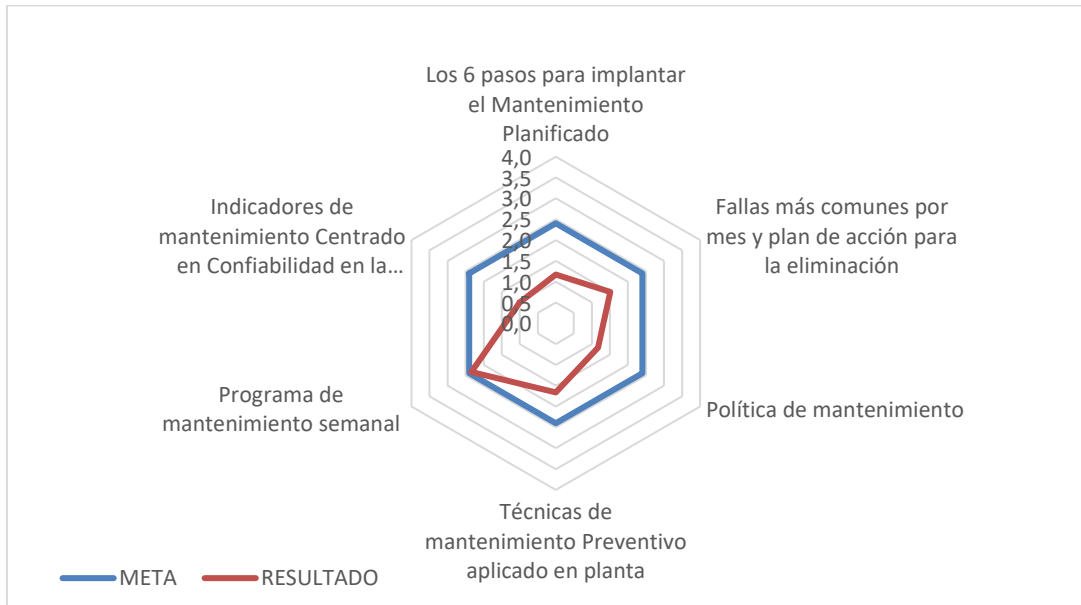
Figura 27. Gráfica de radar para mantenimiento autónomo



Fuente. Elaboración propia

Para el pilar de mantenimiento planeado, de los 6 ítems evaluados sólo en uno de ellos se está muy cerca del cumplimiento de la meta establecida, correspondiente a la programación del mantenimiento de la semana ver **Figura 28**. Por el contrario, el punto en el cual se debe hacer más énfasis se encuentra en los indicadores de mantenimiento centrado en la confiabilidad, con la puntuación más baja en donde todos los evaluados respondieron que no conocen el tema preguntado.

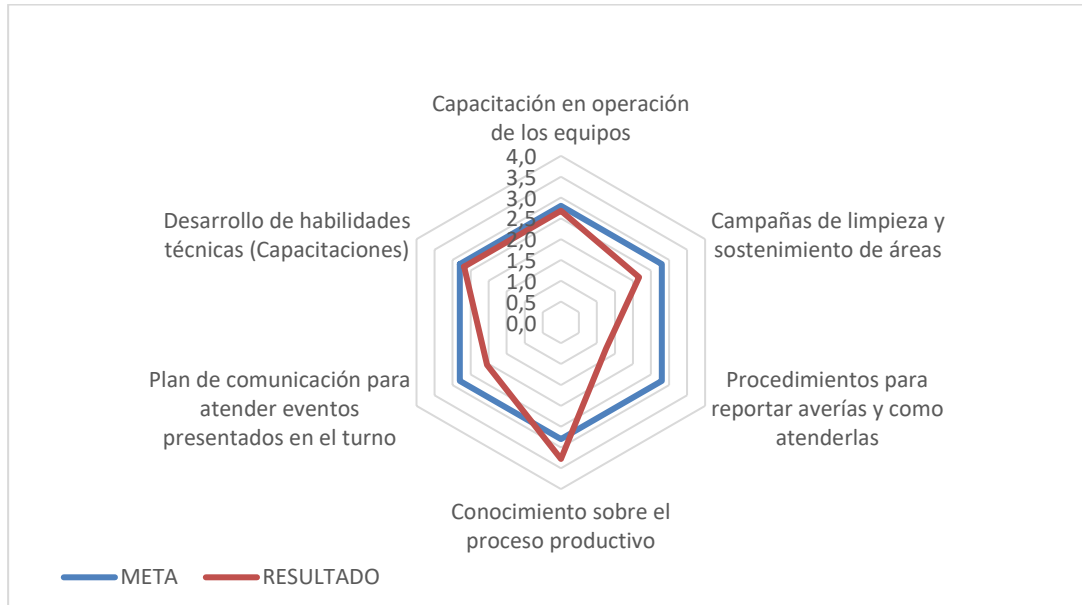
Figura 28. Gráfica de radar para mantenimiento planeado



Fuente. Elaboración propia

El pilar de polivalencia y desarrollo de habilidades, es uno de los mejor evaluados, y sirve como pilar de muestra, de los seis puntos evaluados se supera la meta en conocimiento sobre proceso productivo, y se está muy cerca de la meta en desarrollo de habilidades técnicas y capacitación en operación de los equipos, para los ítems, plan de comunicación para atender los eventos presentados en el turno y campañas de limpieza el 100% de los encuestados respondió que al menos se conoce el tema ver **Figura 29**. Finalmente, en donde se tiene mayor oportunidad de mejora está en el procedimiento para atender averías y como reportarlas, siendo el más alejado de la meta.

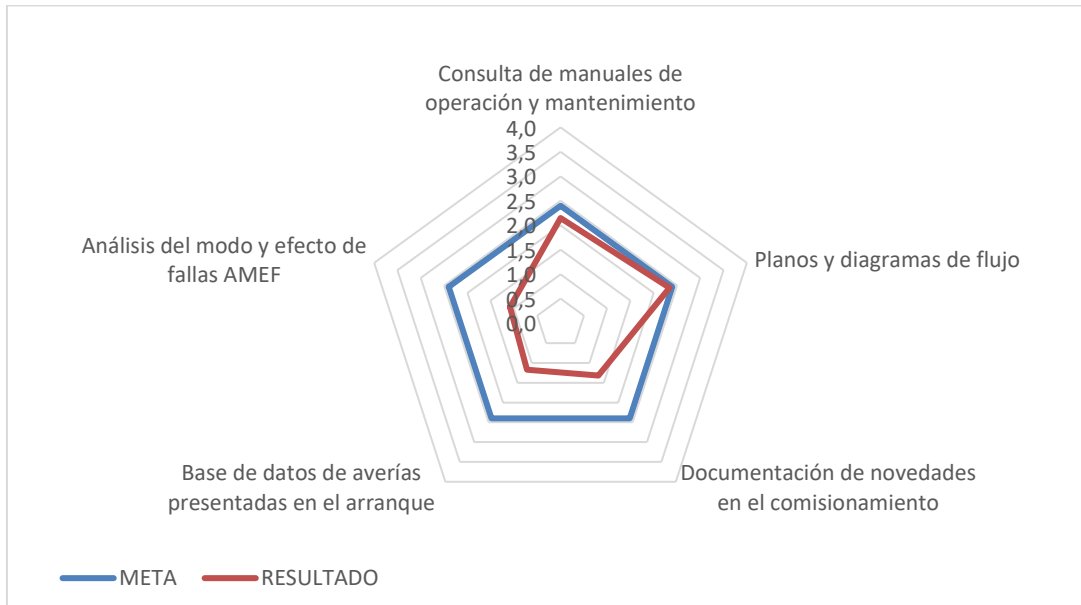
Figura 29. Gráfica de radar para polivalencia y desarrollo de habilidades



Fuente. Elaboración propia

Para el pilar de prevención del mantenimiento mostrado en **Figura 30**, se evaluaron 5 ítems de los cuales en dos de ellos se está muy cerca de la meta, en consulta de manuales de operación, planos y diagramas de flujo. Los ítems que tienen mayor oportunidad de mejora son en análisis de modo y efecto de falla AMEF, donde 95.4% de los encuestados no conoce el tema. Por consiguiente, este pilar es uno de los que más se puede desarrollar para la implementación de la metodología TPM.

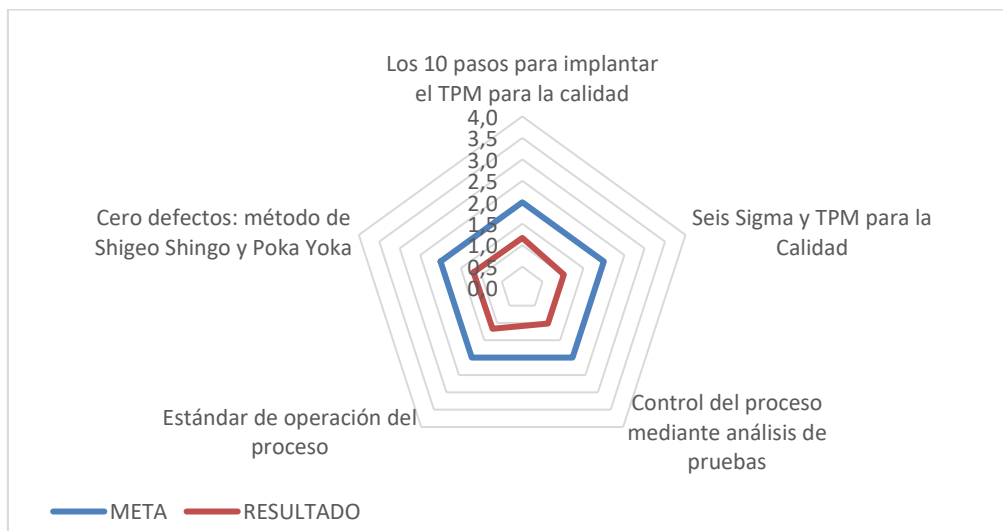
Figura 30. Gráfica de radar para prevención del mantenimiento



Fuente. Elaboración propia

El pilar 6 de mantenimiento de la calidad es el que más se encuentra alejado de las metas para la implementación ver **Figura 31**, ninguno de los cinco ítems evaluados alcanza la meta ni se acerca a ella, es el de menor evaluación con un valor de 1.11 correspondiente a un grado de desconocimiento del 88.9 %. Este pilar también es donde se deben concentrar los esfuerzos para mejorar su desempeño.

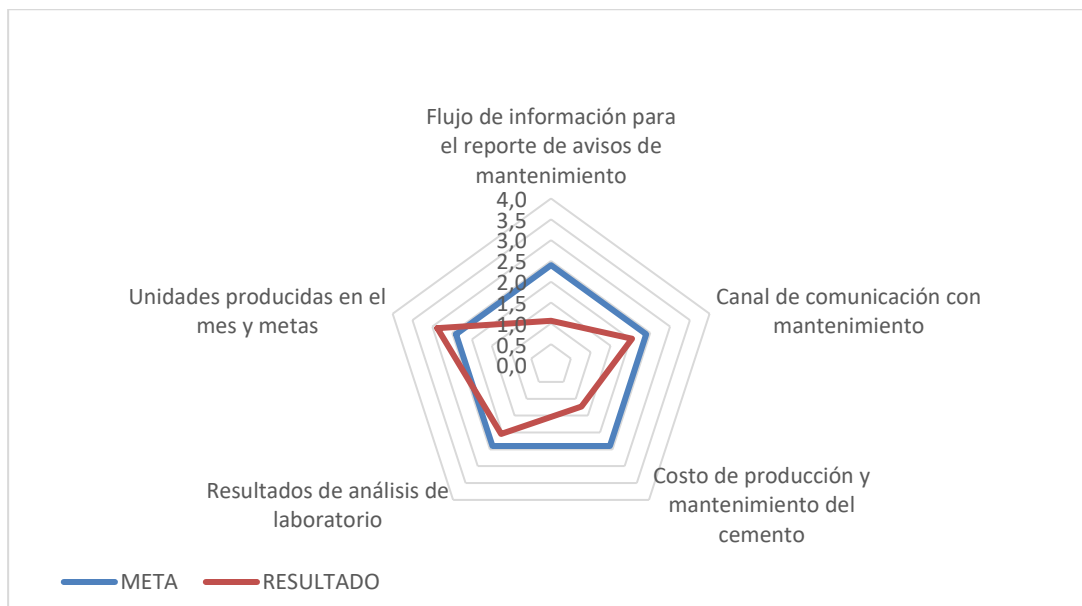
Figura 31. Gráfica de radar para mantenimiento de la calidad



Fuente. Elaboración propia

En cuanto al mantenimiento de las áreas de soporte ver **Figura 32**, se presenta un ítem en donde se supera la meta en unidades producidas en el mes, además el canal de comunicación con mantenimiento y los resultados de laboratorio se encuentran muy cerca de la meta, y sólo dos de los cinco puntos encuestados son los de menor desempeño correspondientes al flujo de información para reporte de avisos y costo de producción y mantenimiento.

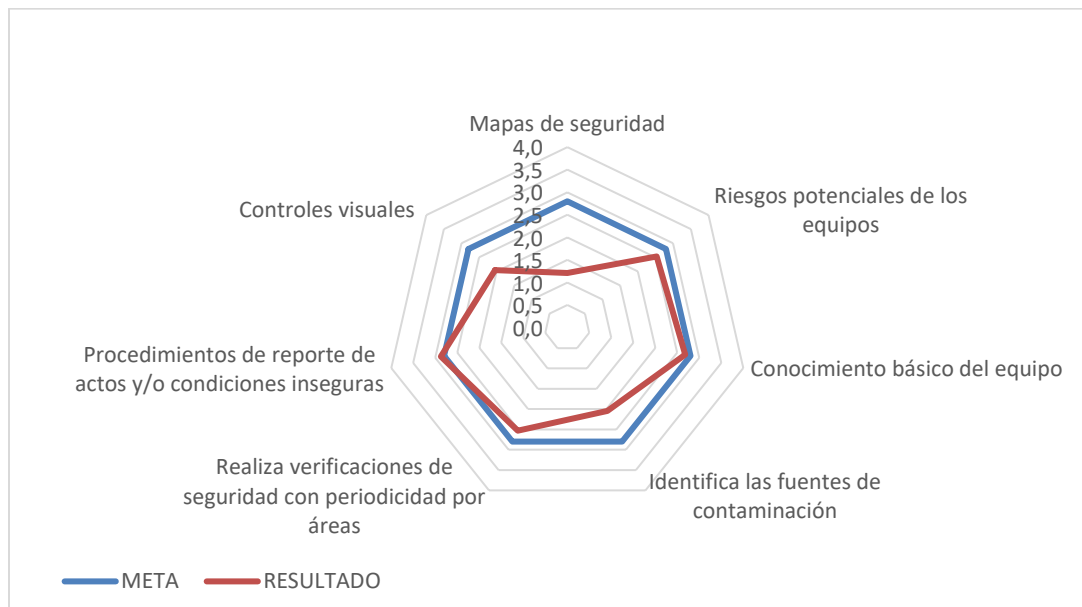
Figura 32. Gráfica de radar para mantenimiento áreas de soporte



Fuente. Elaboración propia

Finalmente, el pilar 8 de SST y medio ambiente, es el segundo mejor evaluado después del pilar de polivalencia y desarrollo de habilidades, siendo otro pilar de muestra para la implementación de la metodología TPM. De los siete ítems evaluados se supera la meta en procedimientos de reporte de actos y condiciones inseguras, se está muy cerca de la meta en verificaciones de seguridad, conocimiento básico del equipo y riesgos potenciales de los equipos ver **Figura 33**. Las áreas con mayor oportunidad de mejora se encuentran en la identificación de fuentes de contaminación y mapas de seguridad, siendo las más alejadas de la meta.

Figura 33. Gráfica de radar para seguridad salud en el trabajo y medio ambiente



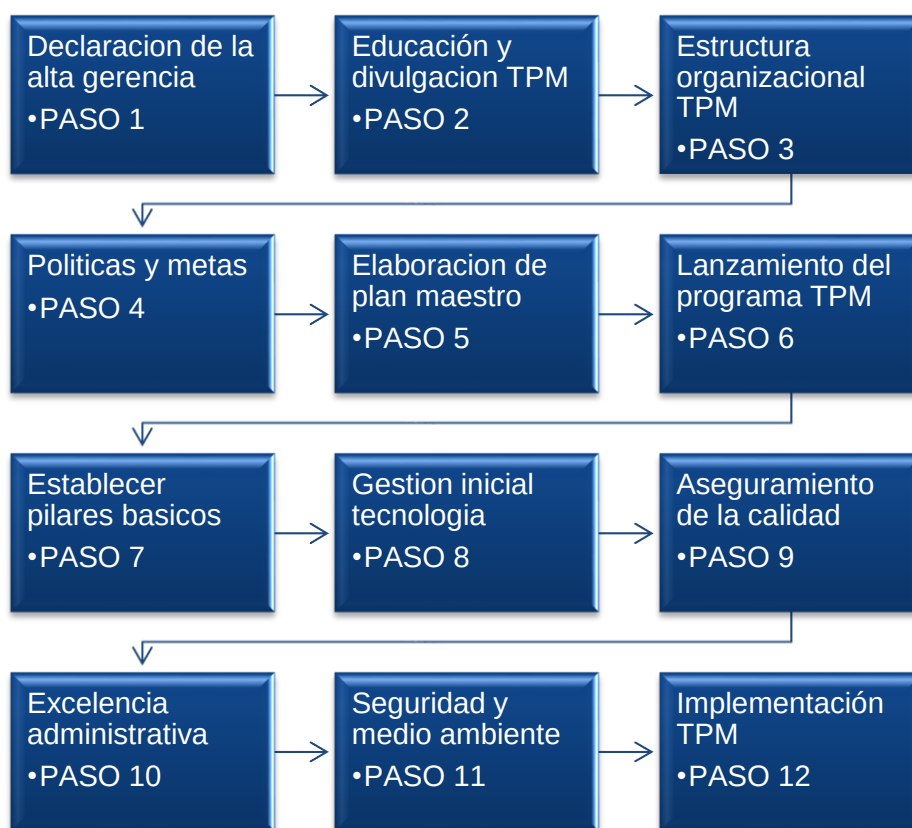
Fuente. Elaboración propia

Las gráficas de radar anteriores muestran los ítems de cada pilar donde se tiene fortalezas y oportunidades de mejora para la implementación de la metodología de TPM. Conforme a las brechas detectadas entre las metas y los resultados se elabora un plan de intervención para reducir estas diferencias y poder alcanzar las metas mínimas que permitan implementar y sostener el TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S.

6. Plan de intervención

Después del diagnóstico organizacional y procesamiento de los datos, se crea un plan de intervención para implementar el Mantenimiento Productivo Total TPM en la Empresa Colombiana de Cemento S.A.S, el cual, está conformado por 12 pasos secuenciales y lógicos para el éxito del proyecto. Cada paso tiene como requisito el paso anterior y se muestran en la **Figura 34**, con el objetivo de cerrar las brechas entre el diagnóstico inicial y las metas definidas para cada etapa.

Figura 34. Pasos plan de intervención TPM

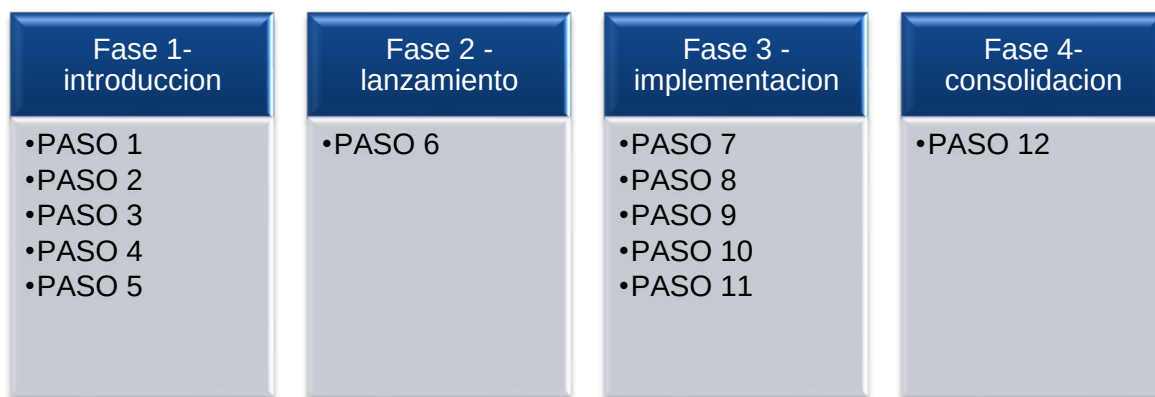


Fuente: Elaboración propia

6.1. Fases de implementación

Para el desarrollo de cada uno de los pasos se plantea realizarlo en cuatro fases principales, ver **Figura 35** buscando llevar el contenido de una forma lógica y secuencial para lograr el éxito, en la consolidación del diseño de la propuesta de implementación de TPM.

Figura 35. Fases de implementación



Fuente: Elaboración propia

6.1.1. Introducción

Conformada por los pasos 1 a 6, contiene la estrategia del plan de implementación estableciendo el proceder en cada uno de los pilares del TPM, determinando el plan de intervención. La declaración de la alta gerencia es la forma como se valida el compromiso de la compañía, haciendo extensivo el mensaje a su equipo a cargo. Además, se deben tener en cuenta las inversiones que se requieren para la inversión.

El plan de formación introductoria y campaña de divulgación de la metodología TPM, se hará extensivo en todos los niveles de la compañía. En la etapa inicial del proyecto, se espera la dedicación, compromiso y esfuerzo para alcanzar los objetivos y metas planteados. Para el desarrollo de la etapa de formación, ver **Tabla 8**, se planea realizar capacitaciones como se muestra a continuación.

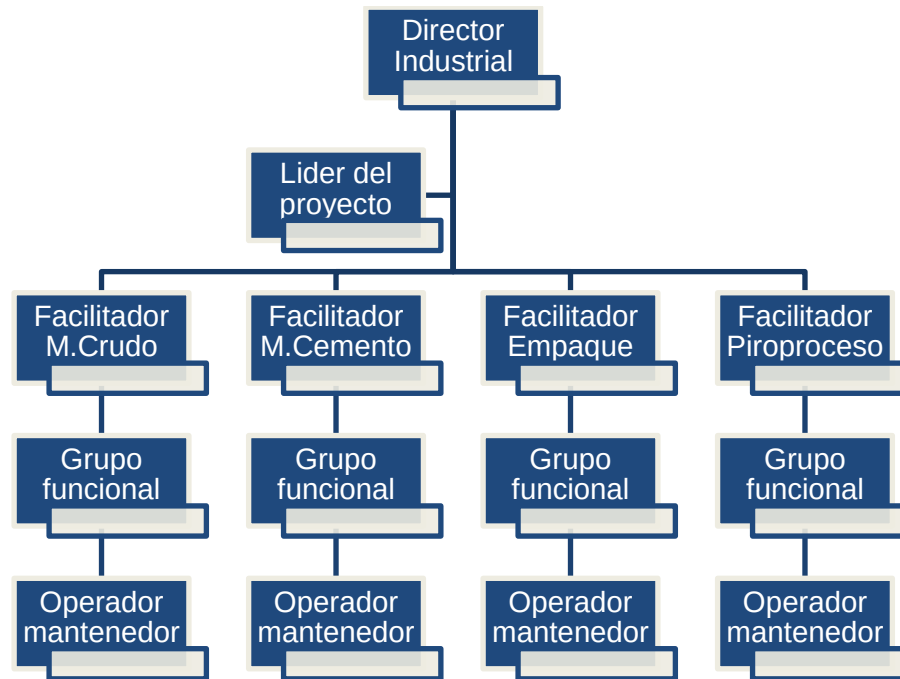
Tabla 8. Plan de capacitaciones

ACTIVIDADES	RESPONSABLE	RECURSOS	FRECUENCIA
Capacitación sobre conceptos básicos del TPM	Líder del proyecto	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Única
Charlas semanales de sensibilización frente al TPM	Facilitadores	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Semanal
Entrenamiento a personal de operación y mantenimiento sobre técnicas utilizadas en el TPM	Facilitadores	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Semestral
Entrenamiento y certificación a facilitadores sobre análisis de modos de falla	Líder del proyecto	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Única
Capacitación y socialización sobre 5S	Líder del proyecto	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Anual
Programa de estándares de limpieza, lubricación e inspección	Líder del proyecto	Manuales, instructivos, equipos de computo	Única
Capacitación sobre tribología y certificación	Líder del proyecto	Contratación de capacitación, evaluación, auditorio.	Anual
Entrenamiento 5'S	Operador mantenedor	Contratación de capacitación, evaluación, auditorio.	Anual
Entrenamiento Lean Manufacturing	Líderes grupo funcional	Contratación de capacitación, evaluación, auditorio.	Anual
Capacitación sobre equipos y operación	Grupo funcional	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Anual
Definición de plan de capacitaciones	Líder de proyecto	Contratación consultoría	Semestral
Definición plan de entrenamiento y desarrollo del personal	RRHH	Contratación consultoría	Anual

Fuente: Elaboración propia.

Para la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM, se plantea una estructura organizacional de tipo jerárquico ver **Figura 36**, enfocada en el liderazgo, capacidad de toma de decisión y conformación de equipos de trabajo.

Figura 36. Estructura jerárquica



Fuente: Elaboración propia

Para la implementación, es necesario declarar políticas al interior de la compañía, que estén alineadas con los objetivos del modelo TPM y permitan garantizar el éxito de la implementación, estas políticas son:

- Promover el desarrollo del talento humano: mediante un proceso de capacitación que permita evaluar la evolución del personal, mejorando las competencias de los colaboradores como fuente principal de desarrollo de la organización.
- Disminuir las pérdidas de todo tipo: acorde con las metas del sistema TPM, maximizando la efectividad de los equipos y eliminando el desperdicio.
- Optimizar el mantenimiento: buscando que los operadores mantenedores se conviertan en los dueños de equipos, adoptando de esta forma un sentido de pertenencia. Además de mejorar el entendimiento de las funciones del equipo, para las cuales fue diseñado, ser capaces de realizar intervenciones menores como inspecciones, ajustes, limpiezas y lubricación.
- Minimizar los tiempos de paro: los operadores mantenedores tendrán el conocimiento, entrenamiento y herramientas necesarias para iniciar una atención básica, en el momento de requerirla.

- Garantizar la calidad del producto: se contará con personas idóneas, contarán con procedimientos de operación estándar, con controles plenamente identificados.
- Estandarización de procedimientos de intervenciones: aportando a la reducción de los incidentes o accidentes, desarrollando una alta percepción al riesgo, los operadores mantenedores estarán en la capacidad de realizar análisis seguros, que aportarán a la cultura del auto cuidado.
- Trabajo en equipo: Generando equipos multidisciplinarios entre las especialidades de producción, mantenimiento y calidad. Complementándose y desarrollando habilidades conjuntas.

La aplicación de las anteriores políticas traerá beneficios de reducción de costos, reducción de tiempos de atención, reparación y reporte de averías. Además, se deben establecer metas, ver **Tabla 9**, para cada uno de los pilares del sistema de TPM que buscan un objetivo claro.

Tabla 9. Metas pilares TPM

PILAR	OBJETIVO	META
Aspectos gerenciales	Dominar conceptos básicos de la metodología para ser aplicados de forma transversal y sostenible.	60%
Mejoras enfocadas	Eliminación de todo tipo de pérdidas plenamente cuantificadas y clasificadas por su magnitud.	60%
Mantenimiento Autónomo	Establecer condiciones óptimas del equipo, con la participación directa del operador mantenedor.	60%
Mantenimiento planeado	Mantener el equipo y el proceso en condición óptima al menor costo.	60%
Polivalencia y desarrollo de habilidades	Desarrollar de la capacidad individual y grupal que permita diagnosticar, corregir y mejorar rápidamente el estado de un equipo.	60%
Prevención del mantenimiento	Reducir drásticamente el período entre la idea aprobada del nuevo producto hasta su producción masiva, logrando un arranque vertical, rápido, libre de dificultades y correcto desde su inicio.	60%

Mantenimiento de la calidad	Actividades diseñadas para identificar y prevenir defectos de calidad en el producto, cada defecto debe asociarse a un instrumento o mecanismo de medición y definir su frecuencia de uso.	40%
Mantenimiento de áreas soporte	Eliminar las pérdidas de información entre los procesos de producción y administrativos, entender las labores de soporte como un proceso.	60%
Seguridad, salud y medio ambiente	Mejoramiento productivo, humano, tecnológico, seguridad, higiene, ambiente, óptimos diseños de las máquinas y sistemas productivos.	70%

Fuente: Elaboración propia

6.1.2. *Elaboración de plan maestro*

La etapa de elaboración del plan maestro está conformada por las fases 2 (Lanzamiento) y la fase 3 (implementación), para desarrollar el plan maestro se deben seguir una serie de actividades ver **Tabla 10**, que permitan poder completar la implementación de manera exitosa, esta serie de actividades son las que se ejecutan en los pasos 7 a 11 correspondientes a la fase de implementación.

La etapa de lanzamiento es un evento que se realiza ante el mayor número de colaboradores de la compañía, marcando un hito para la compañía y dirigiendo la compañía hacia un objetivo común de mejora continua, mostrando el compromiso de la alta gerencia para poder culminar la implementación de manera exitosa.

Tabla 10. Actividades de implementación

ACTIVIDADES	RESPONSABLE	RECURSOS	FRECUENCIA
Socialización del árbol de perdidas por equipo	Líder del proyecto	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Semestral
Entrenamiento a personal de producción y mantenimiento sobre análisis de modos de falla	Facilitadores	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Anual
Implementar caza fallas, en los equipos por áreas, para consulta de los operadores mantenedores	Facilitadores	Folleto, documentos	Única
Reunión semanal de grupos funcionales por área, para analizar fallas, averías, perdidas.	Grupo funcional	Auditorio, informe AMEF, evidencias	Semanal

Validación de paros por turnos en cada área.	Facilitadores	Standup meeting	Diario
Identificación de rutas de inspección y limpieza	Grupo funcional	Manuales, instructivos, equipos de computo	Única
Elaboración de procedimientos de operación y mantenimiento	Grupo funcional	Manuales, instructivos, equipos de computo	Única
Validación e implementación de check list preoperacionales	Líder del proyecto	Manuales, instructivos, equipos de computo	Única
Implementación de check list de equipos en operación	Grupo funcional	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Única
Rutas de inspección por áreas con equipos en operación	Operador mantenedor	Instrumentos, rutas impresas, EPPS	Semanal
Reporte de inspecciones a equipos y operacionales	Operador mantenedor	SAP	Diario
Implementación de check list de equipos detenidos	Grupo funcional	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Única
Rutas de inspección por áreas con equipos detenidos	Operador mantenedor	Instrumentos, rutas impresas, EPPS	Semanal
Ruta de lubricación	Operador mantenedor	Instrumentos, rutas impresas, EPPS	Semanal
Reporte de rutas de lubricación y novedades	Grupo funcional	SAP	Diario
Rotular equipos, identificar puntos de lubricación con características técnicas de grasa y cantidades, identificar variables de operación.	Líder del proyecto	Contratación de fabricación.	Única
Auditorias de mantenimiento autónomo	Líder del proyecto	Documento de evaluación	Trimestral
Definición de actividades correctivas por producción	Líder del proyecto	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Única
Divulgación del plan de mantenimiento	Líder del proyecto	Tablero TPM	Semanal
Cumplimiento de actividades correctivas	Grupo funcional	Tablero TPM	Semanal
Cumplimiento de actividades preventivas	Grupo funcional	Tablero TPM	Semanal
Capacitación y certificación a personal especializado en técnicas predictivas	Líder del proyecto	Contratación de capacitación, evaluación, auditorio.	Anual

Consolidación de las actividades preventivas	Grupo funcional	Manuales, instructivos, equipos de computo	Anual
Socialización de los indicadores de operación y mantenimiento	Líder del proyecto	Tablero TPM	Semanal
Consolidar data de equipos	Grupo funcional	Diagramas de flujo	Única
Desarrollo de plan de gestión de la información	Líder del proyecto	Consultoría	Única
Evaluación y desarrollo de habilidades blandas	Grupo funcional	Evaluación y plan de desarrollo	Anual
Elaboración de matriz energética de la planta	Líder de proyecto	Base de datos	Único
Balances de masa por áreas	Grupo funcional	Base de datos	Mensual
Creación de estándar de trabajos de mantenimiento y operación	Grupo funcional	Manuales, instructivos, equipos de computo	Anual
Punch list de recepción de equipos con acciones correctivas	Grupo funcional	Base de datos	Único
Consolidación de actividades ejecutadas en la puesta a punto por equipo	Grupo funcional	SAP	Único
Diseño plan de muestreo de productos en cada uno de los procesos	Líder de proyecto	Manuales, instructivos, equipos de computo	Único
Entrenamiento a el personal sobre pruebas de laboratorio	Grupo funcional	Manuales, instructivos, equipos de computo	Anual
Definición de parámetros de calidad de los productos	Líder de proyecto	Plan maestro	Único
Plan para manejo de reprocesos por material no conforme	Grupo funcional	Plan maestro	Anual
Procedimientos de operación	Grupo funcional	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Anual
Validación de los perfiles de cargos y análisis de carga de trabajo	Líder de proyecto - RRHH	Consultoría	Anual
Socialización de planes de comunicación estratégica	Líder de proyecto	Consultoría	Trimestral
Implementación de tablero de indicadores	Grupo funcional	Plan maestro	Anual
Plan de reuniones con áreas de soporte para ajuste en tiempo y prioridad	Líder de proyecto	Consultoría	Trimestral
Plan uso racional de agua y energías	Grupo funcional	Plan maestro	Anual
Cálculo de huella hídrica	Líder de proyecto	Plan maestro	Anual
Campaña uso eficiente de recursos	Grupo funcional	Plan maestro	Anual
Cálculo de huella de carbono	Líder de proyecto	Plan maestro	Anual
Plan de compensación	Líder de proyecto	Plan maestro	Anual
Plan sobre control de emisiones	Líder de proyecto	Plan maestro	Anual
Divulgación de planes y resultados	Grupo funcional	Tablero TPM	Mensual
Desarrollo de plan post consumo de compras	Líder de proyecto	Plan maestro	Trimestral
Plan de reutilización de residuos	Líder de proyecto	Plan maestro	Anual

Auditorías internas	Líder de proyecto	Plan maestro	Semestral
---------------------	-------------------	--------------	-----------

Fuente: Elaboración propia

6.2. Pilares para implementación

Para el diseño de la implementación del sistema de TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. es necesario implementar 12 pilares ver **Figura 2**, estos serán los encargados de dar el soporte a la filosofía TPM, estos pilares abarcan los distintos procesos de la compañía y no son exclusivos de los procesos de producción y mantenimiento. Por lo tanto, el proceso de implementación es un esfuerzo conjunto de toda la compañía (Valencia, 2014), a continuación, se presenta la estrategia para la implementación de los doce pilares iniciando con los aspectos generales.

6.2.1. Aspectos generales

Los aspectos generales son la base de los 12 pilares del sistema TPM que se quiere implementar, su objetivo se basa en dominar los conceptos básicos de la metodología para ser aplicados de forma transversal y sostenible en toda la compañía. Se parte de los resultados de la encuesta para determinar cuál es el estado actual de la compañía (Llontop, 2018), siendo este, el diagnóstico inicial, luego, se fija una meta y se determina la brecha o hallazgos a cerrar. Para conseguir este objetivo en la **Tabla 11**, se plantean las actividades, responsables recursos e indicadores necesarios para alcanzar la meta establecida.

Tabla 11. Estrategia implementación pilar Aspectos Generales

Meta	Resultado	Brecha	Actividades	Responsable	Recursos	Frecuencia	Plazo	Indicadores
60%	30%	30%	Declaración oficial de la alta dirección	Director industrial	Auditorio	Única	3 trimestre 2020	N/A
			Capacitación sobre conceptos básicos del TPM	Líder del proyecto	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Única	3 trimestre 2020	100% del personal operativo
			Charlas semanales de sensibilización frente al TPM	Facilitadores	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Semanal	3 trimestre 2021	100% del personal operativo

	Entrenamiento a personal de operación y mantenimiento sobre técnicas utilizadas en el TPM	Facilitadores	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Semestral	3 trimestre 2021	100% del personal operativo
	Promoción del TPM con actividades en la máquina, línea, área piloto (distribución de materiales, hands-on, entrenamiento en la maquina piloto)	Facilitadores	Centro de destrezas	Semestral	3 trimestre 2021	100% del personal operativo
	Conformación de subcomités integrados por pilares	Líder del proyecto	Auditorio, acta de conformación	Única	3 trimestre 2020	100% de los pilares

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Mejoras enfocadas

Los autores Barkat, et al, (2019); Cuatrecasas & Torrell, (2010); Manihalla, et al, (2019); Rahman, (2015); Shirose, (1997); y Yoshida, (1990); difieren de orden en el cual inician los pilares del sistema de TPM, pero si existe consenso respecto a la cantidad de los pilares, ocho en total. El pilar de las mejoras enfocadas busca eliminar todo tipo de perdidas plenamente cuantificadas y clasificadas (Aashish & Ananth, 2019), se establece un plan de acción, cronograma, frecuencia e indicadores descritos en la **Tabla 12**, garantizando tener un ciclo de mejora continua que siempre permita identificar oportunidades de mejorar reduciendo o eliminando las perdidas.

En este pilar, es necesario realizar la capacitación, formación y entrenamiento en herramientas de mejora continua, que permitan la creación de grupos funcionales para el análisis de los modos de falla de los equipos, identificando las causas raíz, que permitan reducir o eliminar la recurrencia de las fallas.

Tabla 12. Estrategia implementación pilar Mejoras enfocadas

Meta	Resultado	Brecha	Actividades	Responsable	Recursos	Frecuencia	Plazo	Indicadores
60%	34%	26%	Conformación de grupos funcionales por áreas de producción	Facilitadores	Auditorio, acta de conformación	Única	3 trimestre 2020	N/A
			Implementación y socialización de la estrategia básica a emplear	Líder del proyecto	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Anual	3 trimestre 2020	100% del personal operativo
			Socialización del árbol de pérdidas por equipo	Líder del proyecto	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Semestral	3 trimestre 2020	100% del personal operativo
			Entrenamiento a personal de operación y mantenimiento sobre análisis de modos de falla	Facilitadores	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Anual	1 trimestre 2021	100% del personal operativo
			Entrenamiento y certificación a facilitadores sobre análisis de modos de falla	Líder del proyecto	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Única	1 trimestre 2021	100% de los facilitadores
			Implementar caza fallas de los equipos por áreas para consulta de los operadores	Facilitadores	Folletos, documentos	Única	1 trimestre 2021	100% de las áreas
			Reunión semanal de grupos funcionales por área para analizar fallas, averías, pérdidas.	Grupo funcional	Auditorio, informe AMEF, evidencias	Semanal	1 trimestre 2021	100% de las áreas
			Divulgación de eficiencia operacional de las áreas.	Líder del proyecto	Tablero TPM	Mensual	1 trimestre 2021	100% de las áreas
			Divulgación de Pareto de fallas por áreas.	Líder del proyecto	Tablero TPM	Mensual	1 trimestre 2021	100% de las áreas
			Validación de paros por turnos en cada área.	Facilitadores	Standup meeting	Diario	1 trimestre 2021	100% de los paros
			Divulgación del diagrama de comunicación de mantenimiento y	Líder del proyecto	Auditorio	Anual	3 trimestre 2020	100% del personal operativo

producción para el
reporte de averías.

Fuente: Elaboración propia

6.2.3. Mantenimiento autónomo

Este pilar permite la integración de los procesos de mantenimiento y producción, para establecer las condiciones óptimas del equipo dentro del proceso productivo, con la participación directa del operador mantenedor del área (Adesta & Prabowo, 2018). Cambiando el antiguo concepto de que el operador es el encargado de la producción y el mantenedor de las reparaciones, por la inclusión de ambos, operador y mantenedor para mantener las condiciones óptimas de operación del equipo dentro del proceso productivo.

Cada pilar está acompañado de un plan de acción para conseguir su implementación y poder soportar la metodología TPM en la **Tabla 13**, se presentan las acciones necesarias, responsables y recursos para la implementación de este pilar dentro de la Empresa colombiana de cementos S.A. S.

Tabla 13. Estrategia implementación pilar Mantenimiento Autónomo

Meta	Resultado	Brecha	Actividades	Responsable	Recursos	Frecuencia	Plazo	Indicadores
60%	48%	12%	Identificación de rutas de inspección y limpieza	Grupo funcional	Manuales, instructivos, equipos de computo	Única	3 trimestre 2020	100% de las áreas
			Elaboración de procedimientos de operación y mantenimiento	Grupo funcional	Manuales, instructivos, equipos de computo	Única	3 trimestre 2020	100% de los equipos principales
			Divulgación de procedimientos de operación y mantenimiento	Grupo funcional	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Anual	3 trimestre 2020	100% de los procedimientos
			Validación e implementación de check list preoperacionales	Líder del proyecto	Manuales, instructivos, equipos de computo	Única	1 trimestre 2021	100% de las áreas
			Capacitación y socialización sobre 5S	Líder del proyecto	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Anual	3 trimestre 2020	100% del personal operativo
			Programa de estándares de limpieza, lubricación e inspección	Líder del proyecto	Manuales, instructivos, equipos de computo	Única	3 trimestre 2020	100% de las áreas

	Implementación de check list de equipos en operación	Grupo funcional	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Única	1 trimestre 2021	100% de los equipos principales
	Rutas de inspección por áreas con equipos en operación	Operador mantenedor	Instrumentos, rutas impresas, EPPS	Semanal	1 trimestre 2021	100% de las áreas
	Reporte de inspecciones a equipos y operacionales	Operador mantenedor	SAP	Diario	1 trimestre 2021	100% de las áreas
	Implementación de check list de equipos detenidos	Grupo funcional	Presentación, evaluación, proyector, auditorio	Única	1 trimestre 2021	100% de los equipos principales
	Rutas de inspección por áreas con equipos detenidos	Operador mantenedor	Instrumentos, rutas impresas, EPPS	Semanal	1 trimestre 2021	100% de las áreas
	Capacitación sobre tribología y certificación	Líder del proyecto	Contratación de capacitación, evaluación, auditorio.	Anual	3 trimestre 2020	100% del personal operativo
	Ruta de lubricación	Operador mantenedor	Instrumentos, rutas impresas, EPPS	Semanal	1 trimestre 2021	100% de las áreas
	Reporte de rutas de lubricación y novedades	Grupo funcional	SAP	Diario	1 trimestre 2021	100% de las áreas
	Rotular equipos, identificar puntos de lubricación con características técnicas de grasa y cantidades, identificar variables de operación.	Líder del proyecto	Contratación de fabricación.	Única	3 trimestre 2020	60 % de los equipos rotativos
	Auditorías de mantenimiento autónomo	Líder del proyecto	Documento de evaluación	Trimestral	1 trimestre 2021	100% Auditados

Fuente: Elaboración propia

6.2.4. Mantenimiento planeado

El mantenimiento planificado busca mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas al menos costo posible (Malviya, 2015), para conseguirlos se establecen planes programados a los equipos por semanas, mes y un paro mayor de planta para correcciones

mayores por desgaste de los equipos, en los cuales se requiere que los equipos se encuentren detenidos.

Las acciones del mantenimiento planeados incluyen mantenimientos correctivos, preventivos, rutinas de mediciones, ajustes a los equipos metas e indicadores que permitan evaluar el seguimiento del mantenimiento planeado en el tiempo. El detalle de todas las actividades del plan de acción se puede consultar en la **Tabla 14**, que se encuentra a continuación.

Tabla 14. Estrategia implementación pilar Mantenimiento Planeado

Meta	Resultado	Brecha	Actividades	Responsable	Recursos	Frecuencia	Plazo	Indicadores
60%	37%	23%	Definición de actividades correctivas por producción	Líder del proyecto	Tablero TPM	Única	1 trimestre 2021	100% del personal
			Divulgación del plan de mantenimiento	Líder del proyecto	Tablero TPM	Semanal	1 trimestre 2021	100% del personal
			Cumplimiento de actividades correctivas	Grupo funcional	Tablero TPM	Semanal	1 trimestre 2021	70 % actividades
			Cumplimiento de actividades preventivas	Grupo funcional	Tablero TPM	Semanal	1 trimestre 2021	90% actividades
			Capacitación y certificación a personal especializado en técnicas predictivas	Líder del proyecto	Contratación de capacitación, evaluación, auditorio.	Anual	3 trimestre 2020	100% del personal especializado
			Consolidación de las actividades preventivas	Grupo funcional	Manuales, instructivos, equipos de computo	Anual	3 trimestre 2020	100% de las áreas
			Plan de mediciones y ajuste de los equipos	Grupo funcional	Manuales, instructivos, equipos de computo	Anual	3 trimestre 2020	100% de las áreas
			Definición de comité de planeación de intervenciones	Líder del proyecto	Sala de reuniones	Semanal	1 trimestre 2021	N/A
			Socialización del indicador de operación y mantenimiento	Líder del proyecto	Tablero TPM	Semanal	1 trimestre 2021	100% del personal operativo

	Plan de seguimiento a equipos y variables en alerta	Grupo funcional	Tablero TPM	Semanal	1 trimestre 2021	N/A
	Consolidar data de equipos	Grupo funcional	Diagramas de flujo	Única	3 trimestre 2020	100% de las áreas
	Definir método y análisis de criticidad de los equipos instalados	Grupo funcional		Anual	3 trimestre 2020	100% de las áreas
	Reporte de novedades en los equipos	Operador mantenedor	SAP	Diario	1 trimestre 2021	100% de averías idntificadas
	Desarrollo de plan de gestión de la información	Líder del proyecto		Única	3 trimestre 2020	N/A
	Estrategia para el monitoreo de condiciones	Líder del proyecto		Única	3 trimestre 2020	100% equipos críticos
	Definir indicadores internos y externos de mantenimiento	Líder del proyecto		Única	3 trimestre 2020	N/A

Fuente: Elaboración propia

6.2.5. *Polivalencia y desarrollo de habilidades*

La polivalencia y desarrollo de habilidades es un pilar que esta intrínseco en los otros pilares de la metodología TPM, debido a que en todos los pilares se busca que los colaboradores desarrollen nuevas habilidades que permitan mejorar el rendimiento de los equipos y el proceso (Joseph, et al, 2019). A través de procesos de capacitación, formación y entrenamiento, siguiendo metodologías de observación, hace acompañado, hace sólo y finalmente está en la capacidad de enseñar.

El objetivo principal de este pilar es desarrollar la capacidad individual y grupal del equipo de trabajo, que permita diagnosticar, corregir y mejorar rápidamente el estado de un equipo o proceso. Para conseguir esta meta se establece una estrategia conformada por una serie de actividades que pueden ser consultadas en la **Tabla 15**, se detallan responsables recursos y frecuencias.

Tabla 15. Estrategia implementación pilar Polivalencia y desarrollo de habilidades

Meta	Resultado	Brecha	Actividades	Responsable	Recursos	Frecuencia	Plazo	Indicadores
70%	59%	11%	Entrenamiento 5'S	Operador mantenedor	Contratación de capacitación, evaluación, auditorio.	Anual	3 trimestre 2020	100% de las personas
			Entrenamiento Lean Manufacturing	Líderes grupo funcional	Contratación de capacitación, evaluación, auditorio.	Anual	3 trimestre 2020	100% de las personas
			Capacitación sobre equipos y operación	Grupo funcional	Contratación de capacitación, evaluación, auditorio.	Anual	3 trimestre 2020	100% de las personas
			Evaluación y desarrollo de habilidades blandas	Grupo funcional	Profesiograma, matriz de competencias, evaluación del cargo	Anual	3 trimestre 2020	100% de las personas
			Declaración de actividades autónomas y operativas	Líder de proyecto	Plan maestro, listas de inspección, política de mantenimiento	Única	1 trimestre 2021	100% de las áreas
			Protocolo de atención de emergencias	Líder de proyecto	Política de mantenimiento	Única	1 trimestre 2021	N/A

Fuente: Elaboración propia

6.2.6. Prevención del mantenimiento

La prevención del mantenimiento tiene como objetivo principal reducir drásticamente el periodo entre la idea aprobada y el nuevo producto, hasta su producción masiva, logrando un arranque rápido, libre de dificultades y correcto desde su inicio (Garza, et al, 2018). Teniendo en cuenta las lecciones aprendidas de otras líneas, implementando tecnologías que permitan reducir los desperdicios desde el inicio de las operaciones y con procesos más eficientes energéticamente.

Las acciones que se deben tomar para conseguir esta meta se presentan en la **Tabla 16**, enfocadas en optimización de energía, balances de materia y procedimientos de puesta a punta de equipos. Las acciones deben ser medidas y evaluadas por lo cual se debe tener indicadores y evidencia.

Tabla 16. Estrategia implementación pilar Prevención del mantenimiento

Meta	Resultado	Brecha	Actividades	Responsable	Recursos	Frecuencia	Plazo	Indicadores
60%	40%	20%	Elaboración de matriz energética de la planta	Líder de proyecto	Base de datos	Único	1 trimestre 2021	N/A
			Balances de masa por áreas	Grupo funcional	Base de datos	Mensual	1 trimestre 2021	N/A
			Creación de estándar de trabajos de mantenimiento y operación	Grupo funcional		Anual	1 trimestre 2021	N/A
			Punch list de recepción de equipos con acciones correctivas	Grupo funcional	Base de datos	Único	3 trimestre 2020	100% de los equipos
			Consolidación de actividades ejecutadas en la puesta a punto por equipo	Grupo funcional	SAP	Único	3 trimestre 2020	100% de los equipos

Fuente: Elaboración propia

6.2.7. Mantenimiento de la calidad

El objetivo principal del mantenimiento de la calidad es identificar y prevenir los defectos por calidad en el producto, para cada defecto se asocia un instrumento o mecanismo de medición y frecuencia de uso (Kumar, et al, 2018), con el fin de que, cada defecto de calidad sea medido de la misma forma a través de métodos validados en laboratorio en campo. Para conseguir el objetivo de este pilar es necesario establecer un plan de acción que se muestra en **Tabla 17**, con una serie de actividades secuenciales, responsables y recursos para garantizar la implementación de este pilar.

El mantenimiento de la calidad no solo aplica a los métodos aplicados en el laboratorio, sino que también se integra con el proceso para identificar las causas que generan las desviaciones de calidad y permitan optimizar el proceso, identificando las

causas raíz que generan las no conformidades de calidad. Para conseguir esto el proceso de calidad se debe integrar con los procesos de producción y mantenimiento.

Tabla 17. Estrategia implementación pilar Mantenimiento de la calidad

Meta	Resultado	Brecha	Actividades	Responsable	Recursos	Frecuencia	Plazo	Indicadores
50%	28%	22%	Diseño plan de muestreo de productos en cada uno de los procesos	Líder de proyecto	Plan de calidad	Único	3 trimestre 2020	100% de los puntos
			Entrenamiento a el personal sobre pruebas de laboratorio	Grupo funcional	Contratación de capacitación, evaluación, auditorio.	Anual	3 trimestre 2020	100% de las personas
			Definición de parámetros de calidad de los productos	Líder de proyecto	NTC 121	Único	3 trimestre 2020	100% de los puntos
			plan para manejo de reprocesos por material no conforme	Grupo funcional	Plan de calidad	Anual	3 trimestre 2020	100% de los materiales
			Procedimientos de operación	Grupo funcional	Manuales, instructivos, equipos de computo	Anual	3 trimestre 2020	100% de las áreas

Fuente: Elaboración propia

6.2.8. Mantenimiento de áreas de soporte

Se entiende como áreas de soporte, los procesos de la compañía diferentes de producción, mantenimiento y calidad, que de una u otra forma, dan soporte a los productos finales. Entre estos procesos se encuentran los administrativos, financieros logísticos y tecnológicos. El objetivo de este pilar es eliminar las pérdidas de información entre los procesos de producción y administrativos, los cuales se entienden como procesos (Morales & Silva, 2017).

La estrategia para la implementación de este pilar esta consignada en la **Tabla 18**, donde se detallan las actividades necesarias, recursos e indicadores para garantizar el cumplimiento del objetivo del pilar. A cada actividad se debe realizar una evaluación y un seguimiento a través de indicadores para garantizar el cumplimiento de esta, en caso de presentarse incumplimientos se deben realizar ajuste para garantizar que se cumpla la actividad.

Tabla 18. Estrategia implementación pilar Mantenimiento áreas de soporte

Meta	Resultado	Brecha	Actividades	Responsable	Recursos	Frecuencia	Plazo	Indicadores
60%	46%	14%	Validación de los perfiles de cargos y análisis de carga de trabajo	Líder de proyecto - RRHH	Profesiograma, matriz de competencias, evaluación del cargo	ANUAL	3 trimestre 2020	100% de las personas
			Socialización de planes de comunicación estratégica	Líder de proyecto	Auditorio	ANUAL	3 trimestre 2020	100% del personal operativo
			Implementación de tablero de indicadores	Grupo funcional	Tablero TPM	SEMANAL	1 trimestre 2021	N/A
			Plan de reuniones con áreas de soporte para ajuste en tiempo y prioridad	Líder de proyecto	Plan de comunicación, tablero TPM	MENSUAL	1 trimestre 2021	100% de las semanas
			Definición de plan de capacitaciones	Líder de proyecto	Plan maestro	ANUAL	1 trimestre 2021	100% del personal operativo
			Definición plan de entrenamiento y desarrollo del personal	RRHH	Plan maestro	ANUAL	1 trimestre 2021	100% del personal operativo

Fuente: Elaboración propia

6.2.9. Seguridad y Salud en el Trabajo - Medio Ambiente

El objetivo del pilar de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) con medio ambiente es el mejoramiento productivo, humano y tecnológico de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo, higiene y ambiente (Azid, et al, 2019), con diseños óptimos de máquinas y sistemas productivos, minimizando así, el riesgo para los colaboradores y los impactos negativos al medio ambiente.

El plan de acción para la implementación de este pilar se encuentra en la **Tabla 19**, detallando los pasos a seguir para su correcta implementación y duración durante el tiempo, siendo el uno de los pilares que soporte el sistema TPM.

Tabla 19. Estrategia implementación pilar SST y Medio Ambiente

Meta	Resultado	Brecha	Actividades	Responsable	Recursos	Frecuencia	Plazo	Indicadores
70%	57%	13%	Plan uso racional de agua y energías	Líder de proyecto	Contratación consultoría	Único	2 trimestre 2021	100% recursos utilizados en el proceso
			Cálculo de huella hídrica	Grupo funcional	Contratación consultoría	Único	2 trimestre 2021	N/A
			Campaña uso eficiente de recursos	Grupo funcional	Contratación consultoría	Anual	2 trimestre 2021	100% recursos utilizados en el proceso
			Cálculo de huella de carbono	Grupo funcional	Contratación consultoría	Anual	2 trimestre 2021	N/A
			Plan de compensación	Grupo funcional	Contratación consultoría	Único	2 trimestre 2021	N/A
			Plan sobre control de emisiones	Grupo funcional	Contratación consultoría	Único	2 trimestre 2021	100% fuentes emisoras
			Divulgación de planes y resultados	Grupo funcional	Tablero TPM	Mensual	2 trimestre 2021	100% del personal operativo
			Desarrollo de plan post consumo de compras	Grupo funcional	Contratación consultoría	Único	2 trimestre 2021	70% de los materiales comprados
			Plan de reutilización de residuos	Grupo funcional	Contratación consultoría	Anual	2 trimestre 2021	100% de los residuos
			Auditorías internas	Líder del proyecto	Información del pilar	Semestral	3 trimestre 2021	100% de auditorías

Fuente: Elaboración propia

7. Plan de implementación

Para un adecuado control de tiempos y costos en la implementación del sistema de Mantenimiento Productivo Total TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, se presentan a continuación el mapa general de implementación en términos de actividades y tiempos y el análisis de costos de este en términos de rentabilidad, como se indica en Project Management Institute, Inc, (2017), el cronograma se convierte en una herramienta de monitoreo ideal para una buena gestión en la implementación de un proyecto en la organización que alineada a la línea base de costos dispone de una visión clara para la medición del desempeño del proceso.

7.1. Mapa general de implementación

Para el Mapa general de implementación y de acuerdo con (Project Management Institute, Inc, 2017), como paquete de trabajo se listan en la **Tabla 20**, todas las actividades definidas para el sistema de Mantenimiento Productivo Total TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, que sirven para la consolidación del Cronograma de implementación específico y como se muestra en la **Figura 37**.

Tabla 20. Diseño de la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Río Claro - Antioquia

Nivel	Código WBS	Paquete de trabajo / Entregable
1	0	ASPECTOS GERENCIALES
2	0.1	Declaración oficial de la alta dirección
2	0.2	Capacitación sobre conceptos básicos del TPM
2	0.3	Charlas semanales de sensibilización frente al TPM
2	0.4	Entrenamiento a personal de operación y mantenimiento sobre técnicas utilizadas en el TPM

		Promoción del TPM con actividades en la máquina, línea, área piloto (distribución de materiales, hands-on, entrenamiento en la maquina piloto)
2	0.5	
2	0.6	Conformación de subcomités integrados por pilares
1	1	MEJORAS ENFOCADAS
2	1.1	Conformación de grupos funcionales por áreas de producción
2	1.2	Implementación y socialización de la estrategia básica a emplear
2	1.3	Socialización del árbol de perdidas por equipo
2	1.4	Entrenamiento a personal de operación y mantenimiento sobre análisis de modos de falla
2	1.5	Entrenamiento y certificación a facilitadores sobre análisis de modos de falla
2	1.6	Implementar caza fallas de los equipos por áreas para consulta de los operadores
2	1.7	Reunión semanal de grupos funcionales por área para analizar fallas, averías, perdidas.
2	1.8	Divulgación de eficiencia operacional de las áreas.
2	1.9	Divulgación de Pareto de fallas por áreas.
2	1.10	Validación de paros por turnos en cada área.
2	1.11	Divulgación del diagrama de comunicación de mantenimiento y producción para el reporte de averías.
1	2	MANTENIMIENTO AUTÓNOMO
2	2.1	Identificación de rutas de inspección y limpieza
2	2.2	Elaboración de procedimientos de operación y mantenimiento
2	2.3	Divulgación de procedimientos de operación y mantenimiento
2	2.4	Validación e implementación de check list preoperacionales
2	2.5	Capacitación y socialización sobre 5S
2	2.6	Programa de estándares de limpieza, lubricación e inspección
2	2.7	Implementación de check list de equipos en operación
2	2.8	Rutas de inspección por áreas con equipos en operación
2	2.9	Reporte de inspecciones a equipos y operacionales
2	2.10	Implementación de check list de equipos detenidos
2	2.11	Rutas de inspección por áreas con equipos detenidos
2	2.12	Capacitación sobre tribología y certificación
2	2.13	Ruta de lubricación
2	2.14	Reporte de rutas de lubricación y novedades
2	2.15	Rotular equipos, identificar puntos de lubricación con características técnicas de grasa y cantidades, identificar variables de operación.
2	2.16	Auditorias de mantenimiento autónomo

1	3	MANTENIMIENTO PLANEADO
2	3.1	Definición de actividades correctivas por producción
2	3.2	Divulgación del plan de mantenimiento
2	3.3	Cumplimiento de actividades correctivas
2	3.4	Cumplimiento de actividades preventivas
2	3.5	Capacitación y certificación a personal especializado en técnicas predictivas
2	3.6	Consolidación de las actividades preventivas
2	3.7	Plan de mediciones y ajuste de los equipos
2	3.8	Definición de comité de planeación de intervenciones
2	3.9	Socialización de los indicadores de operación y mantenimiento
2	3.10	Plan de seguimiento a equipos y variables en alerta
2	3.11	Consolidar data de equipos
2	3.12	Definir método y análisis de criticidad de los equipos instalados
2	3.13	Reporte de novedades en los equipos
2	3.14	Desarrollo de plan de gestión de la información
2	3.15	Estrategia para el monitoreo de condiciones
2	3.16	Definir indicadores internos y externos de mantenimiento
1	4	POLIVALENCIA Y DESARROLLO DE ACTIVIDADES
2	4.1	Entrenamiento 5'S
2	4.2	Entrenamiento lean manufacturing
2	4.3	Capacitación sobre equipos y operación
2	4.4	Evaluación y desarrollo de habilidades blandas
2	4.5	Declaración de actividades autónomas y operativas
2	4.6	Protocolo de atención de emergencias
1	5	PREVENCIÓN DEL MANTENIMIENTO
2	5.1	Elaboración de matriz energética de la planta
2	5.2	Balances de masa por áreas
2	5.3	Creación de estándar de trabajos de mantenimiento y operación
2	5.4	Punch list de recepción de equipos con acciones correctivas
2	5.5	Consolidación de actividades ejecutadas en la puesta a punto por equipo
1	6	MANTENIMIENTO DE LA CALIDAD
2	6.1	Diseño plan de muestreo de productos en cada uno de los procesos
2	6.2	Entrenamiento a el personal sobre pruebas de laboratorio
2	6.3	Definición de parámetros de calidad de los productos
2	6.4	Plan para manejo de reprocesos por material no conforme

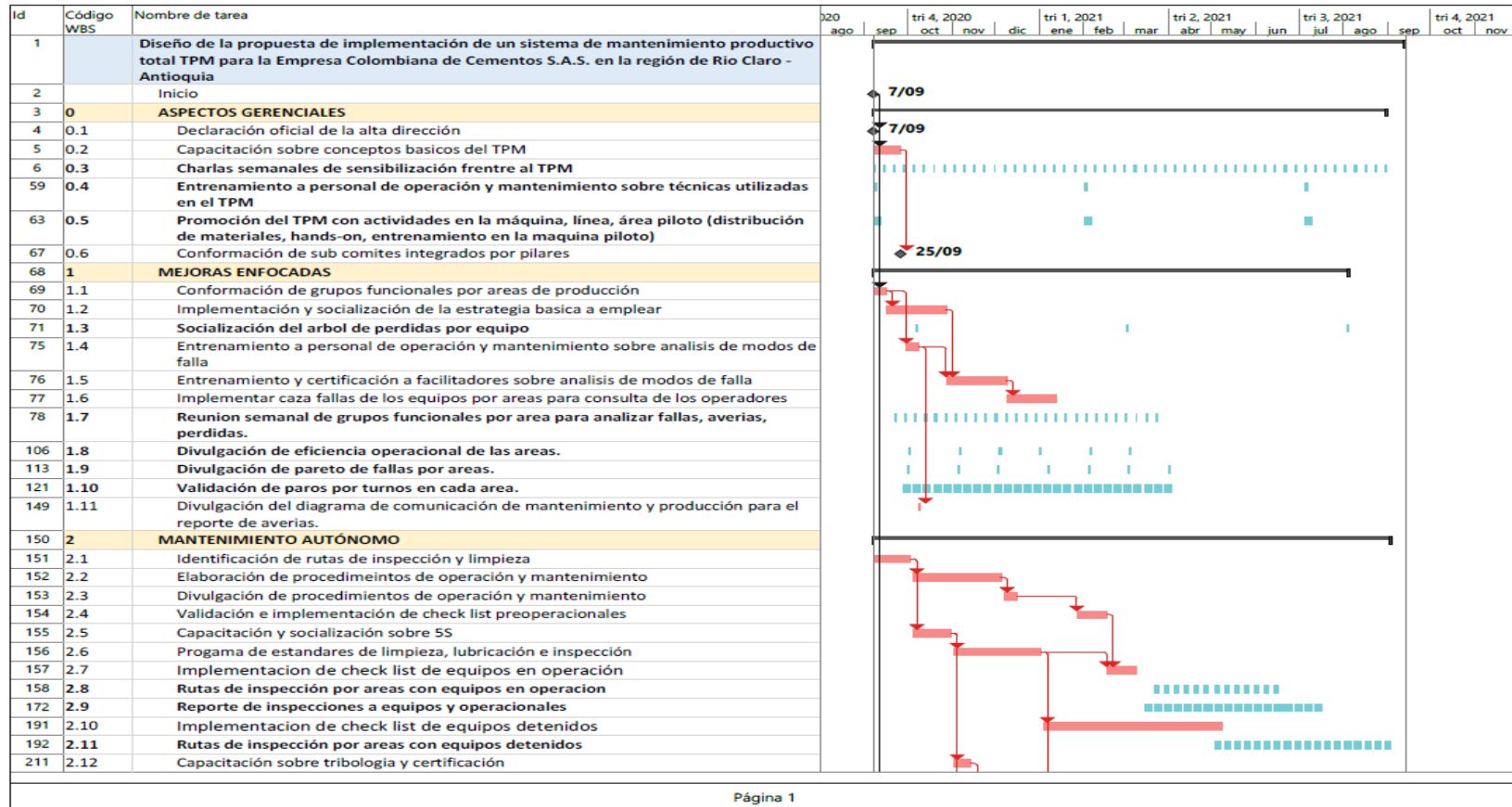
2	6.5	Procedimientos de operación
1	7	MANTENIMIENTO DE AREAS DE SOPORTE
		Validación de los perfiles de cargos y análisis de carga de trabajo
2	7.1	
2	7.2	Socialización de planes de comunicación estratégica
2	7.3	Implementación de tablero de indicadores
		Plan de reuniones con áreas de soporte para ajuste en tiempo y prioridad
2	7.4	
2	7.5	Definición de plan de capacitaciones
2	7.6	Definición plan de entrenamiento y desarrollo del personal
1	8	SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE
2	8.1	Plan uso racional de agua y energías
2	8.2	Cálculo de huella hídrica
2	8.3	Campaña uso eficiente de recursos
2	8.4	Cálculo de huella de carbono
2	8.5	Plan de compensación
2	8.6	Plan sobre control de emisiones
2	8.7	Divulgación de planes y resultados
2	8.8	Desarrollo de plan post consumo de compras
2	8.9	Plan de reutilización de residuos
2	8.10	Auditorías internas

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con EDT/WBS Work Breakdown Structure, de Project Management Institute, Inc, (2017)

Diseño de la propuesta de implementación de un sistema de Mantenimiento Productivo Total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Rio Claro - Antioquia

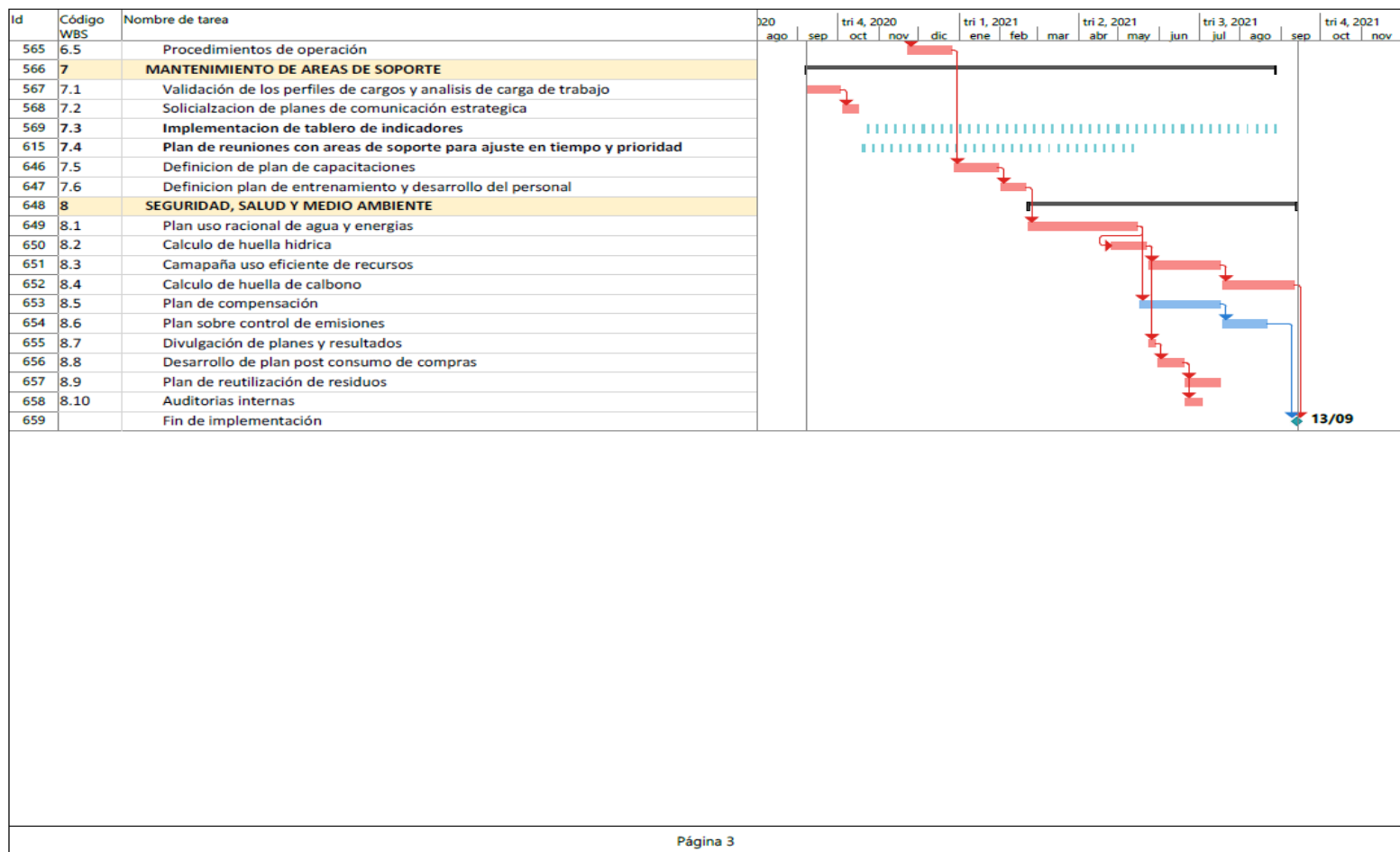


Figura 37. Cronograma de la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Rio Claro - Antioquia



Página 2

Diseño de la propuesta de implementación de un sistema de Mantenimiento Productivo Total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Rio Claro - Antioquia



Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior, se hace énfasis en un lapso de cumplimiento en la implementación del sistema para el año 2021, llevando a cabalidad el desarrollo de cada una de las actividades programadas.

7.2. Análisis de costos e impacto de implementación

Los costos de mantenimiento sin un TPM implementado en la organización se resumen en:

- Costos de limpieza de áreas con personal externo
- Reparaciones constantes en equipos
- Cambio de partes o componentes en manera repetida

Para el primer año de operación de la planta de la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, se estima un costo de mantenimiento de \$399.900.501 por fase, con un promedio de disponibilidad del 86%.

La compañía accionista CORONA ha estimado una inversión de \$225.000.000 para el presente proyecto y de acuerdo con el histórico de la implementación de la metodología en otras plantas, incluyendo:

- Capacitaciones de personal
- Entregamiento de facilitadores y líderes
- Capacitaciones en proceso y mantenimiento

Por lo anterior, y para el análisis de impacto se realiza el cálculo de la tasa interna de retorno TIR a partir de datos ilustrativos y representativos por la confidencialidad de la información y correspondientes a la inversión inicial, los ingresos, costos y gastos, como se muestra en la **Tabla 21**, incluye la distribución a 5 años como periodo para la implementación, los costos de mantenimiento y el flujo neto anual, como se muestra en la **Tabla 22**.

Tabla 21. Datos iniciales para cálculo de TIR, implementación del sistema TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Río Claro – Antioquia

Nombre de Proyecto: Sistema TPM Empresa Colombiana de Cementos S.A.S.	Inicio	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Inversión COP	- 225.000.000					
WACC anual	12%					

COP	Inicio	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Inversión	- 225.000.000	-	-	-	-	-
Ingresos		2.475.000.000	405.000.000	420.000.000	750.000.000	750.000.000
Costos de mantenimientos		2.178.000.000	352.350.000	357.000.000	622.500.000	622.500.000
Otros gastos		74.250.000	12.150.000	12.600.000	22.500.000	22.500.000
Flujo mensual		222.750.000	40.500.000	50.400.000	105.000.000	105.000.000
Valor caja	- 225.000.000	- 2.250.000	38.250.000	88.650.000	193.650.000	298.650.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Valores de referencia flujo de caja

Para cálculos:	MCOP	Caja
Inversión Inicial	- 225.000.000	- 225.000.000
Año 1	- 2.250.000	- 227.250.000
Año 2	38.250.000	- 189.000.000
Año 3	88.650.000	- 100.350.000
Año 4	193.650.000	93.300.000
Año 5	298.650.000	391.950.000

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de la TIR como se muestra en la **Tabla 23**, da como resultado un valor de 28%, que para el presente caso el proyecto de inversión es aceptado. La Tasa Interna de Retorno obtenida es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.

Tabla 23. Cálculo TIR

Valor Actual de los Flujos	\$ 393.353.223,19
Valor Actual de las Inversiones (diferentes a la inicial)	\$ 0,00
Valor Presente Neto	\$ 168.353.223,19
TIR	28%

Últ.per con FA (-)	1
Abso Últ FA (-)	2.250.000
Vr Flujo caja per sgte	38.250.000

Fuente: Elaboración propia

A manera de conclusión, en el primer año de implementación del TPM, se plantea una mejora en la eficiencia global del equipo, mejora que permite la optimización sobre todo en temas de eficiencia energética y una reducción en el costo de \$ 4.000/ton en el primer año, incluida la de los costos de mantenimiento por averías. En el primer año la mejora a nivel total es muy representativa porque se optimiza el total de la producción, mientras que, en los años siguientes es por el delta en las producciones. Esta implementación permite la reducción en costos por mantenimiento no programados.

Conclusiones

El sistema de Mantenimiento Productivo Total, TPM, es una herramienta de mejora continua hacia un alto impacto en la reducción de las fallas de los equipos en organizaciones como la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, para ser implementada desde el inicio de sus operaciones.

La revisión bibliográfica de los últimos 5 años para la elaboración del marco teórico conceptual, sobre el mantenimiento productivo total TPM, muestra que existen cuatro herramientas base de mejora continua, las 5S, Lean Manufacturing, Six Sigma y AMEF, para soportar los 8 pilares que deben ser implementados, en los doce pasos secuenciales generales, y adaptados a la compañía.

De acuerdo a los resultados del diagnóstico inicial realizado, para el diseño de implementación de TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, y elaboración de un plan de intervención, se pudo establecer que, el modelo se ajusta a los programas de capacitación, formación y desarrollo de habilidades blandas al personal operativo, esto, para afrontar la implementación de técnicas a lo largo del proceso productivo, garantizando que los colaboradores estén alineados a la estrategia y la ruta del cumplimiento de los objetivos.

La evaluación del estado actual de la organización frente al nivel de conocimiento sobre la metodología TPM, se realizó con la aplicación de una encuesta, que incluyó además de los aspectos generales, los ocho pilares de la metodología TPM, permitiendo determinar por cada uno, fortalezas y grados de desconocimiento, como base fundamental para las estrategias necesarias en la implementación.

El diagnóstico de la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, para el diseño de implementación de la metodología TPM, mostró dos pilares con grandes fortalezas, el pilar relacionado con la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) y medio ambiente, con un 11.9% de grado de desconocimiento, y el pilar de polivalencia y desarrollo de habilidades, con un

grado de desconocimiento del 19.1%; siendo éstos, aprovechables para apalancar la implementación de la metodología y replicar en otros pilares.

Como modelos para el diseño de implementación de la metodología TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, se encontraron los pilares de mantenimiento autónomo y mantenimiento de área de soporte, con un grado de desconocimiento por parte de los trabajadores del 27.4% y del 35.7% respectivamente; esta condición se toma, dado que, sólo dos ítems están lejos de la meta.

Los pilares con mayor oportunidad de mejora fueron los de aspectos generales (pilar 1), con un grado de desconocimiento de 81.5% y de mantenimiento de la calidad (pilar 6) con un grado de desconocimiento de 88.9%, esta situación permitió concentrar los esfuerzos en el plan de intervención para mejorar su desempeño.

Para cerrar las brechas encontradas entre las metas de los pilares de la metodología TPM y el diagnóstico inicial, se propuso un plan de acción con 81 actividades, para ser implementado en un periodo de 1 año, con plazos máximos de 3 meses y frecuencias conforme a la necesidad de la tarea, e indicadores para realizar auditorías de seguimiento y control.

Para mejorar la efectividad en el proceso de implementación de la metodología TPM, se planteó una estructura organizacional de tipo jerárquico, enfocada en el liderazgo, capacidad de toma de decisión y conformación de equipos de trabajo, esta condición transmite compromiso por parte de los trabajadores hacia el proceso y la organización.

El plan de acción diseñado para la implementación de la metodología TPM, contempla la realización de otra evaluación después de terminado el proceso, esto permite acciones de seguimiento y medición, para conocer el grado de avance respecto al diagnóstico inicial, identificar oportunidades de mejora y fortalezas, que permitan tener un ciclo de mejora continua de la metodología TPM.

Como Plan de Implementación del sistema TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, se diseña el cronograma de actividades de implementación, tomando

como guía la metodología de Project Management Institute, Inc, (2017) para los años 2020 y 2021, dando información de control para la gerencia organizacional.

El análisis de costos de implementación del sistema TPM en la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S, frente a los costos de mantenimiento, permitieron una TIR del 28%, siendo una gran oportunidad de tipo financiera demostrado en el valor de ahorro por implementación de la metodología.

Referencias

- Aashish, C., & Ananth, J. (2019). Study On The Production Process And Quality Assurance In Radiant Industry. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 605-610. doi:<https://doi.org/10.24247/ijmperdfeb201958>
- Adesta, E., & Prabowo, H. (2018). Total Productive Maintenance (TPM) Implementation Based on Lean Manufacturing Tools in Indonesian Manufacturing Industries. *International Journal of Engineering & Technology*, 156-159. doi:<https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.7.16261>
- Adesta, E., Prabowo, H., & Agusman, D. (2017). Evaluating 8 pillars of Total Productive Maintenance (TPM) implementation and their contribution to manufacturing performance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Kuala Lumpur, Malaysia: ICAMME. doi:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/290/1/012024>
- Arenas, Y. (2011). Trabajo de grado. *Diseño e implementación de un sistema de mantenimiento autónomo en la línea de mecanizado juntas fijas para Dana Transejes Colombia*. Universidad Industrial de Santander.
- Azid, N., Shamsudin, S., Yusoff, M., & Samat, H. (2019). Conceptual Analysis and Survey of Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability Centered Maintenance (RCM) Relationship. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/530/1/012050
- Barkat, A., Kenai, S., Menadi, B., & Soualhi, H. (2019). Effects of local metakaolin addition on rheological and mechanical performance of self-compacting limestone cement concrete. *Journal of Adhesion Science and Technology*. doi:10.1080/01694243.2019.1571737
- Baynal, K., Sarı, T., & Akpınar, B. (2018). Risk management in automotive manufacturing process based on FMEA and grey relational analysis: A case study. *Advances in Production Engineering And Management*. doi:<https://doi.org/10.14743/apem2018.1.274>

- Burawat, P. (2019). Productivity improvement of carton manufacturing industry by implementation of lean six sigma, ECRS, work study, and 5S: A case study of ABC co., ltd. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 7(4), 785 - 793.
- Candra, N., Susilawati, A., Herisiswanto, & Setiady, W. (2017). Implementation of Total Productive Maintenance (TPM) to Improve Sheeter Machine Performance. *8th International Conference on Mechanical and Manufacturing Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/201713500028>
- Cementos Molins. (2019). *Cementos Molins*. Obtenido de Quienes somos: <https://www.cemolins.es/es/grupo-ciments-molins/quienes-somos>
- Chen, P., Fortuny, J., Lujan, I., & Ruiz, P. (2019). Sustainable manufacturing: Exploring antecedents and influence of Total Productive Maintenance and lean manufacturing. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(11), 1 - 16. doi:<https://doi.org/10.1177/1687814019889736>
- Chlebus, E., Helman, J., Olejarczyk, M., & Rosienkiewicz, M. (2015). A new approach on implementing TPM in a mine – A case study. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.acme.2015.07.002>
- Clavijo, L., & Rodriguez, M. (2003). Propuesta mantenimiento autónomo tpm e implementación de “limpieza e inspección” en línea no. 3 meals de colombia s.a. Bogotá: Universidad de la Sabana.
- Corona. (2019). *Empresa Corona*. Obtenido de Quienes somos: <https://empresa.corona.co/nuestra-compania/quienes-somos>
- Cruz, J. (2010). *Manual para la implementación sostenible de las 5s*. Santo Domingo, República Dominicana: INFOTEP.
- Cuatrecasas, L., & Torrell, F. (2010). *TPM en un entorno Lean Management: Estrategia competitiva*. Profit.
- CW Group. (2018). *Colombia cement market Market report*. Obtenido de Retrieved from: www.cwgrp.com/research
- DANE. (enero de 2019). *Estadísticas de Cemento Gris*. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento_gris/Bol_cemen_gris_ene19.pdf

- DANE. (mayo de 2020). Estadísticas de Cemento Gris. Bogotá, Colombia. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento_gris/Bol_cemen_gris_may20.pdf
- ECONOMIPEDIA. (2017). Obtenido de Tasa Interna de Retorno: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- Eka, N., Susilawati, A., Herisiswanto, & Setiady, W. (2017). Implementation of Total Productive Maintenance (TPM) to Improve Sheeter Machine Performance. *8th International Conference on Mechanical and Manufacturing Engineering 2017 (ICME'17)* (págs. 1 - 11). MATEC Web of Conferences 135, 00028 (2017). doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/201713500028>
- Estupiñan, S. (2017). Trabajo de grado. *Diseño del plan de mantenimiento preventivo enfocado a TPM para la compañía de montajes diseño y construcción C.M.D. SAS*. Duitama, Boyacá: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Fam, S., Loh, S., Haslinda, M., Yanto, H., Sui, L., & Yieng, D. (2018). Overall Equipment Efficiency (OEE) Enhancement in Manufacture of Electronic Components & Boards Industry through Total Productive Maintenance Practices. *Malaysia Technical Universities Conference on Engineering and Technology* (pág. 5). Malaysia: MATEC. doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/201815005037>
- FEDESARROLLO. (febrero de 2019). *Encuesta de Opinión del Consumidor*. Obtenido de https://www.fedesarrollo.org.co/sites/default/files/encuestas_documentos/beoc_febrero_2019_-_jsc.pdf
- Garcia, S. (2003). *Organización y gestion integral del mantenimiento*. Madrid España: Ediciones Díaz de Santos S.A.
- Garza, J., Kumar, V., Chaikittisilp, S., & Hua, K. (2018). The effect of lean methods and tools on the environmental performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Economics*, 170-180. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.03.030>
- González, C., Domingo, R., & Sebastián, M. (2013). *Técnicas de mejora de la calidad*. Madrid: Cuadernos UNED.
- Guariente, P., Antonioli, I., Pinto, L., Pereira, T., & Silva, F. (2017). Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer. *Procedia Manufacturing*, 1128-1134. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.174>
- Gupta, P., Vardhan, S., & Al Haque, S. (2015). Study of success factors of TPM implementation in Indian industry towards operational excellence: An overview.

- International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*. Dubai: IEEE Xplore. doi:10.1109/IEOM.2015.7093740
- Gutiérrez, H. (2014). *Calidad Total y Productividad*. México D.F: McGrawHill.
- Gutiérrez, H., & Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (3 ed.). México D.F.: Mc Graw Hill.
- Hama, J., & Hama, O. (2017). Ethical and psychological factors in 5S and total productive maintenance. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 444–475. doi:<https://doi.org/10.3926/jiem.2313>
- Hernández, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed.). México D.F.: Mc Graw Hill. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Hernández-Sampieri, R. F.-C.-L. (2014). *En Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.
- Josa, J. (2016). Cómo hacer tu trabajo de investigación. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ZYqpl4GxIMY>
- Joseph, J., Mathew, A., & Kanoor, A. (2019). Aerospace Industry - A Case Study.
- Kart, Ö., & Kut, A. (2015). An implementation of real time total productive maintenance software. *International Conference on Information Society (i-Society 2014)*. IEEE Xplore. doi:10.1109/i-Society.2014.7009054
- Kawalec, M., Pacana, A., & Rewilak, J. (2018). *Improvement of Implementation of The 5s Method Using The Simplified Fmea Method*.
- Krachangchan , K., & Thawesaengskulthai, N. (2018). Loss time reduction for improve Overall Equipment Effectiveness (OEE). *5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*. Singapur. doi:10.1109/IEA.2018.8387132
- Kumar, P., Maiti, J., & Gunasekaran, A. (2018). Impact of quality management systems on firm performance. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 1034–1059. doi:<https://doi.org/10.1108/IJQRM-02-2017-0030>
- Llontop, L. (2018). Trabajo de grado. *Propuesta de implementación de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en el área de extracción de jugo trapiche para medir el impacto de la productividad de la Agroindustria Pomalca S.A.A.* Chiclayo, Perú: Universidad católica santo toribio de mogrovejo. Obtenido de

- http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1426/1/TM_LlontopMendozaLucio.pdf
- Lluch, P. (Febrero de 2019a). Proyecto TORRE. *Reporte Mensual Febrero 2019*. Rio Claro, Antioquia.
- Lluch, P. (Marzo de 2019b). *Proyecto TORRE Reporte Mensual*. Rio Claro, Antioquia.
- Malviya, P. (2015). The Impact of Total Productive Maintenance (TPM) on Manufacturing Performance. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 233 - 234.
- Manihalla, P., Gopal, R., Rao, S., & Javaraiah, R. (2019). A survey on factors affecting total productive maintenance (TPM) in service industries. *AIP Conference Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1063/1.5092940>
- Montgomery, D. (2013). *Diseño y analisis de experimentos-montgomery*. México D.F.: Limusa Wiley.
- Mora, A. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor.
- Morales , J., & Silva, R. (2017). Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1013–1026. doi:<https://doi.org/10.1007/s00170-017-0052-4>
- Morales, J., & Rodríguez, R. (2018). Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 170-180. doi:<https://doi.org/10.1007/s00170-017-0052-4>
- Nguyen, T., Shu, M., & Hsu, B. (2016). Extended FMEA for Sustainable Manufacturing: An Empirical Study in the Non-Woven Fabrics Industry. *Sustainability*. doi:<https://doi.org/10.3390/su8090939>
- NPC. (2005). *Step-by-Step Implementation*. Obtenido de <http://www.npc.org.my>
- Prabowo, H., & Adesta, E. (2019). A study of total productive maintenance (TPM) and lean manufacturing tools and their impact on manufacturing performance. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7(6), 39–43.
- Prashanth, M., Ramachandra, C., Srinivas, T., & Raghavendra, M. (2018). A Study on Usage of Total Productive Maintenance (TPM) in Selected SMEs. *Materials Science and Engineering* (págs. 2 - 9). IOP Publishing Ltd. doi:10.1088/1757-899X/376/1/012117

- Presidencia de la República. (marzo de 2020). Decreto 457. *Por el cual se imparten instrucciones en virtud de la emergencia sanitaria generada por la pandemia del Coronavirus COVID-19 y el mantenimiento del orden público*. Bogotá, Colombia.
- Project Management Institute, Inc. (2017). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK) / Project Management Institute* (6 ed.). (I. Project Management Institute, Ed.) Pennsylvania: Project Management Institute, Inc. Obtenido de <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGPMBKP02/guide-project-management/guide-project-management>
- Puerto, O. (2009). Trabajo de grado. *Propuesta de un modelo para la implementación del mantenimiento productivo total TPM de primer nivel con aplicación en la industria manufacturera*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Rahman, C. (2015). Assessment of total productive maintenance implementation in a semiautomated manufacturing company through downtime and mean downtime analysis. En IEEE (Ed.), *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*. doi:10.1109/IEOM.2015.7093762
- Ros, A. (2010). Mantenimiento Industrial. *Tecnología de Máquinas*.
- Ros, A. (2013). Total Productive Maintenance TPM. Cartagena, Colombia.
- Sánchez, D., & Lozada, J. (2013). Estructuración del mantenimiento productivo total (TPM) como herramienta de mejoramiento continuo en la línea de inyección de aluminio fabrica de motores y ventiladores Siemens S.A.
- Santoyo, F., Murguía, D., López, A., & Santoyo, E. (2013). Comportamiento y organización. Implementación del sistema de gestión de la calidad 5S'S. *Revista Diversitas - Perspectivas En Psicología*, 9(2), 361 - 371.
- Shirose, K. (1997). *TPM : total productive maintenance : new implementation program in fabrication and assembly industries*. Tokio Japón: Japan Institute of Plant Maintenance.
- Singh, K., Singh, A., & Ahuja, I. (2015). An evaluation of transfusion of TQM-TPM implementation initiative in an Indian manufacturing industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 134–153. doi:<https://doi.org/10.1108/JQME-04-2013-0017>
- Suzuki, T. (1995). *TPM en industrias de proceso*. Madrid España: Suzuki.

- Tang, S., Ng, T., Chong, W., & Chen, K. (2016). Case Study on Lean Manufacturing System Implementation in Batch Printing Industry Malaysia. *3rd International Conference on Manufacturing and Industrial Technologies*. Malaysia. doi:<https://doi.org/10.1051/matecconf/20167005002>
- Tavares, L. (1999). *Administración Moderna de Mantenimiento*. Sao Paulo: Novo Polo Publicaciones.
- Thanki, S., Govindan, K., & Thakkar, J. (2016). An investigation on lean-green implementation practices in Indian SMEs using analytical hierarchy process (AHP) approach. *Journal of Cleaner Production*, 135, 284 - 298. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.105>
- Tsai, S., Zhou, J., Gao, Y., Wang, J., Li, G., Zheng, Y., . . . Xu, W. (2017). Combining FMEA with DEMATEL models to solve production process problems. *PLoS ONE*, 1 - 15. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183634>
- Valencia, E. (2014). Tesis de maestría. *Diseño de un plan de mejora enfocado al área de llenado de la compañía XYZ mediante la aplicación de herramientas de lean manufacturing*. Bogotá: Universidad ICESI. Obtenido de <http://biblioteca2.icesi.edu.co/cgi-olimp?oid=272630>
- Wakchaure, V., Kallurkar, S., Nandurkar, K., & Gadalla, M. (2015). A conceptual framework for effective implementation of integrated manufacturing practices. *ASME 2015 International Manufacturing Science and Engineering Conference*. MSEC. doi:<https://doi.org/10.1115/MSEC20159277>
- Yoshida, K. (1990). *Training for Tpm: A Manufacturing Success Story*. Tokio : Nachi-Fujikoshi Corporation.
- Zhai, Y., & Zhang, J. (2017). Applying TPM on Production Line of Huanwei. *13th Global Congress on Manufacturing and Management (GCMM 2016)* (págs. 1 - 4). MATEC Web Conf. doi:<https://doi.org/10.1051/matecconf/201710002035>

Anexos

Anexo 1. Formato de encuesta

PREG	Descripción	No conoc e	Conoc e	Aplica	Puede enseñar
	Aspectos gerenciales				
0.0	Definición de TPM				
0.1	Metas y Objetivos del TPM				
0.2	Los 12 pasos de implantación del TPM				
0.3	Los Pilares del Mantenimiento Productivo Total				
0.4	Las 16 grandes pérdidas en equipos de producción				
0.5	Estructura de la Organización del TPM				
0.6	Metodología de implementación del TPM				
0.7	Ahorro de Costos del TPM				
0.8	Relación del TPM con SEIS SIGMA				
0.9	Relación del TPM con la productividad y con Lean Manufacturing				
	Mejora enfocada				
1.0	Grupos interfuncionales				
1.1	Método cero (Pérdidas, averías, pérdidas, accidentes)				
1.2	Eficiencia global de equipos				
1.3	Detección y Solución Rápida De Fallas				
1.4	Análisis del Modo y Efecto de Fallas				
	Mantenimiento autónomo				
2.0	Planes de limpieza				
2.1	Estandarización de procesos y actividades				
2.2	Listas de Chequeo preoperacionales				
2.3	Conocimiento específico en los equipos				
2.4	Listas de chequeo de equipos en operación				
2.5	Lubricación de los equipos rotativos				
2.6	Variables de proceso				
2.7	Gestión Visual				
2.8	Auditoría de cada paso del Mant. Autónomo				
	Mantenimiento planeado				
3.0	Los 6 pasos para implantar el Mantenimiento Planificado				

3.1	Fallas más comunes por mes y plan de acción para la eliminación				
3.2	Política de mantenimiento				
3.3	Técnicas de mantenimiento Preventivo aplicado en planta				
3.4	Programa de mantenimiento semanal				
3.5	Indicadores de mantenimiento Centrado en Confiabilidad en la planta				
	Polivalencia y desarrollo de habilidades				
4.0	Capacitación en operación de los equipos				
4.1	Campañas de limpieza y sostenimiento de áreas				
4.2	Procedimientos para reportar averías y como atenderlas				
4.3	Conocimiento sobre el proceso productivo				
4.4	Plan de comunicación para atender eventos presentados en el turno				
4.5	Desarrollo de habilidades técnicas (Capacitaciones)				
	Prevención del mantenimiento				
5.0	Consulta de manuales de operación y mantenimiento				
5.1	Planos y diagramas de flujo				
5.2	Documentación de novedades en el comisionamiento				
5.3	Base de datos de averías presentadas en el arranque				
5.4	Análisis del modo y efecto de fallas AMEF				
	Mantenimiento de la calidad				
6.0	Los 10 pasos para implantar el TPM para la calidad				
6.1	Seis Sigma y TPM para la Calidad				
6.2	Control del proceso mediante análisis de pruebas				
6.3	Estándar de operación del proceso				
6.4	Cero defectos: método de Shigeo Shingo y Poka Yoke				
	Mantenimiento de áreas soporte				
7.0	Flujo de información para el reporte de avisos de mantenimiento				
7.1	Canal de comunicación con mantenimiento				
7.2	Costo de producción y mantenimiento del cemento				
7.3	Resultados de análisis de laboratorio				
7.4	Unidades producidas en el mes y metas				
	Seguridad, salud y medio ambiente				
8.0	Mapas de seguridad				
8.1	Riesgos potenciales de los equipos				
8.2	Conocimiento básico del equipo				
8.3	Identifica las fuentes de contaminación				
8.4	Realiza verificaciones de seguridad con periodicidad por áreas				

8.5	Procedimientos de reporte de actos y/o condiciones inseguras				
8.6	Controles visuales				

Fuente. Elaboración propia